

DER REZENTE KLIMAWANDEL

Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe und Peter C. Werner,
Potsdam

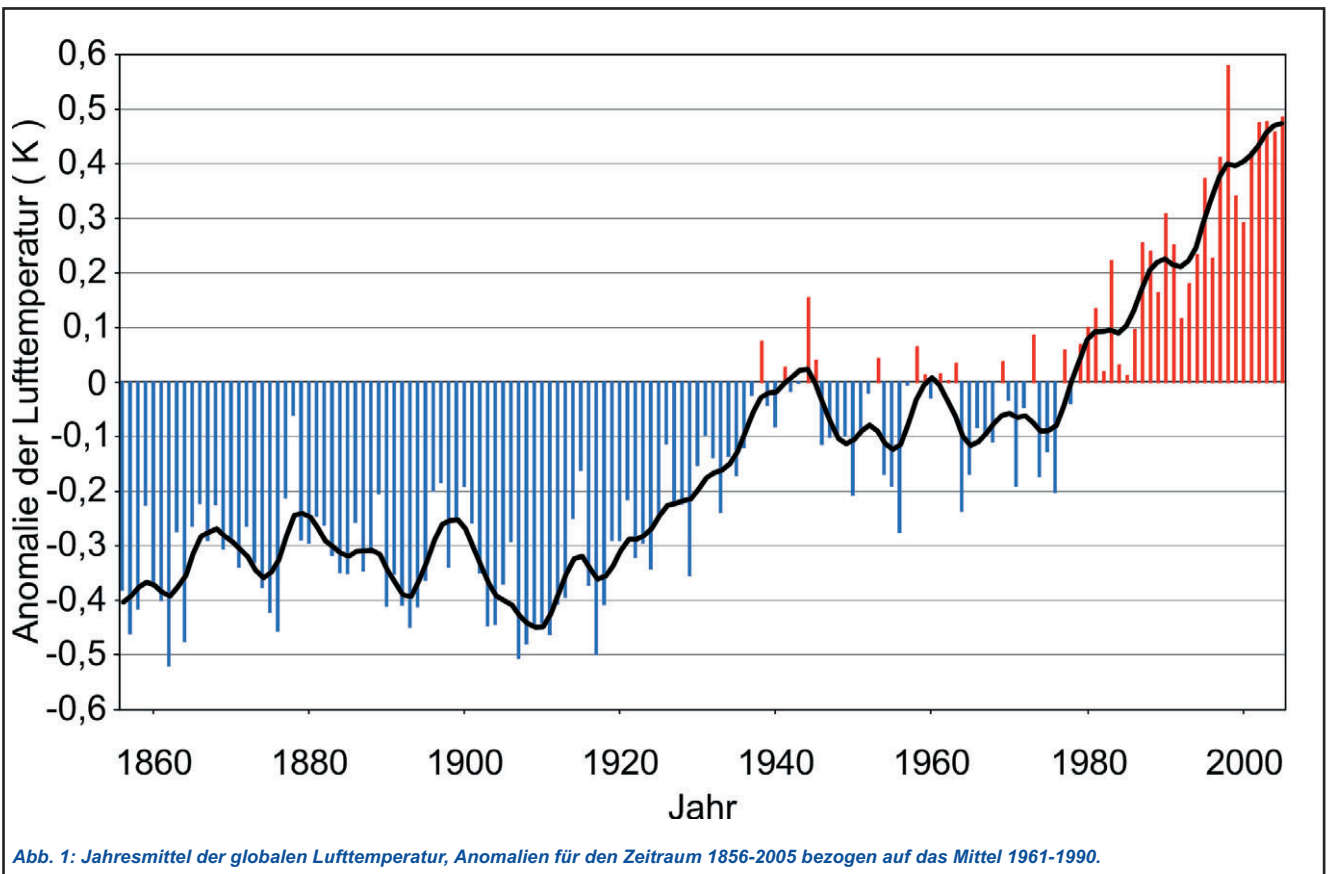
1. Einleitung

Unter Klima versteht man die raum-zeitliche Gesamtheit der möglichen momentanen Zustände der Atmosphäre unter Berücksichtigung des Maßstabes der zugrunde liegenden Prozesse. Das heißt, dass zum Beispiel die oft zitierte Entwicklung der globalen Mitteltemperatur (s. Abb. 1) allein nicht ausreicht, um das Spektrum der tatsächlich ablaufenden Klima-Veränderungen zu beschreiben. Man muss, um das Klima und seine Veränderungen möglichst vollständig zu erfassen, verschiedene meteorologische Größen bzw. daraus abgeleitete Parameter in die Betrachtungen einbeziehen. In der Regel werden dazu Temperatur- und Niederschlagsparameter eingesetzt und deren Klimatologie bewertet. In den Anfängen der Klimaforschung wurde das Klima selbst als quasi-konstante Größe angesehen, die nur geringe Schwankungen auf großen Zeitskalen aufweisen sollte.

Entsprechend dieser Grundaussage wurden zum Beispiel Klimaklassifikationen entwickelt, bei denen Tatsachenmaterial (Messungen) in ein bestimmtes Ordnungssystem eingeordnet wurden. (Liebscher, 1978). Die Festlegung von Klimatypen erfüllte zwar die Bedingung einer komplexen Betrachtungsweise des Klimas, berücksichtigte aber nicht, dass das Klima, entgegen der damaligen Lehrmeinung, einen instationären Prozess darstellt. Das heißt, dass auch die zeitliche Entwicklung in die Analysen einbezogen werden muss (Fraedrich et al., 2001). Diese Vorgehensweise wird auch in den folgenden Untersuchungen unter Einbeziehung moderner statistischer Verfahren verfolgt.

2. Methodik

Das übliche Vorgehen bei einer Klimaklassifikation besteht darin, Einzelklimate nach geeigneten Gesichtspunkten zu typisieren, um dann deren Verbreitung in einer Region oder auch auf der ganzen Erdoberfläche festzustellen. Ein Beispiel für dieses Vorgehen ist die auch noch heute häufig eingesetzte Klimaklassifikation nach Köppen (Hupfer, 1991). Dieses Verfahren ist grundsätzlich subjektiv, da zuerst die Kriterien für einen

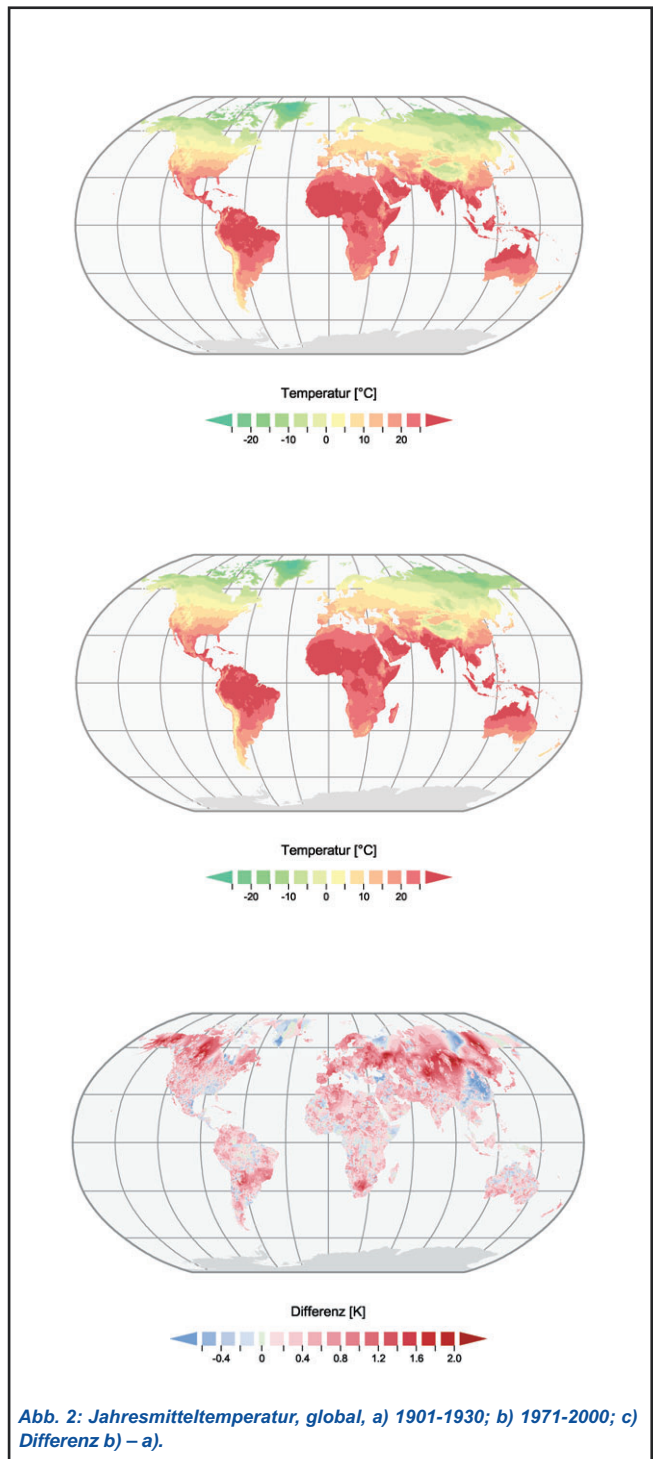


Klimatyp festgelegt werden, und dann für diesen Typ das Gebiet in der Region oder auf der Erdoberfläche abgegrenzt wird. Mittlerweile ist man in der Lage die Klimaklassifikation zu objektivieren. Ursache dafür ist zum einen die vorhandene Datengrundlage, zum anderen aber auch Möglichkeit der Anwendung moderner statistischer Verfahren, die in der Regel mit einem sehr hohen Rechenaufwand verbunden sind. Dabei wird das bisher übliche Klassifikationsprinzip umgekehrt: Zuerst werden mittels einer (objektiven) statistischen Methode die Klimatypen in der Region oder auch global festgelegt. Danach kann man dann anhand der für jeden Klimatyp vorhandenen Informationen (Daten) Grenzwerte, Schwellenwerte etc. festlegen.

Auf dieser Idee basiert die folgende Methodik. Das hier verwendete statistische Verfahren gehört zur Gruppe der multivariaten statistischen Methoden. Mit ihnen kann man Datensätze statistisch analysieren, die aus mehr als einem Parameter bestehen. Eine häufig eingesetzte Methode ist die Cluster-Analyse (*Gerstengarbe, et al., 1999*), die es ermöglicht, typische Muster sichtbar zu machen. Diese Muster entsprechen in der vorliegenden Untersuchung den Klimatypen. Das Verfahren erlaubt es bei gleichzeitiger Optimierung der Anzahl der Klimatypen, diese sauber (statistisch gesichert) voneinander zu trennen. Dadurch wird es möglich, Regionen als Klimatypen zu definieren, die jeweils durch ähnliche Temperatur- und Niederschlagsparameter charakterisiert sind. Dies ist, wie bereits erwähnt, eine objektive Vorgehensweise, da die einen Klimatyp beschreibenden Charakteristika erst nach der Typbestimmung festgelegt werden.

3. Globale Klimaänderungen

Um die genannten Verfahren anwenden zu können, werden möglichst viele Daten benötigt. Diese wiederum erhält man durch den Aufbau und die Pflege eines weltweiten Stationsmessnetzes. Seit etwa 150 Jahren gibt es genügend Messungen, um die zeitliche Entwicklung der globalen Temperatur bestimmen zu können. Eine räumlich detailliertere Darstellung der Temperatur und anderer meteorologischer Größen, insbesondere auf den Kontinenten mit Ausnahme der Antarktis, ist etwa ab Beginn des 20. Jahrhunderts möglich. Zur Beschreibung des Klimas im großräumigen Maßstab muss die zeitliche Skala entsprechend gewählt werden. Die Meteorologische Weltorganisation hat dafür einen Zeitraum von 30 Jahren festgelegt. Deshalb wurden im Rahmen dieser Untersuchungen für die Temperatur die 30jährigen Mittelwerte einmal für 1901/1930 (Abb. 2a) und einmal für 1971/2000 (Abb. 2b) berechnet.



Es ist mittlerweile allgemein bekannt, dass es eine globale Erwärmung gibt. Sie beginnt, wie aus Abbildung 1 zu ersehen ist, um 1910 mit einem deutlichen Anstieg der Temperatur bis in die 40er Jahre des vorigen Jahrhunderts. Danach ist bis in die Mitte der 70er Jahre kein Trend zu beobachten. Seit dieser Zeit nimmt die Temperatur wieder deutlich zu. Nicht abgeschätzt wer-

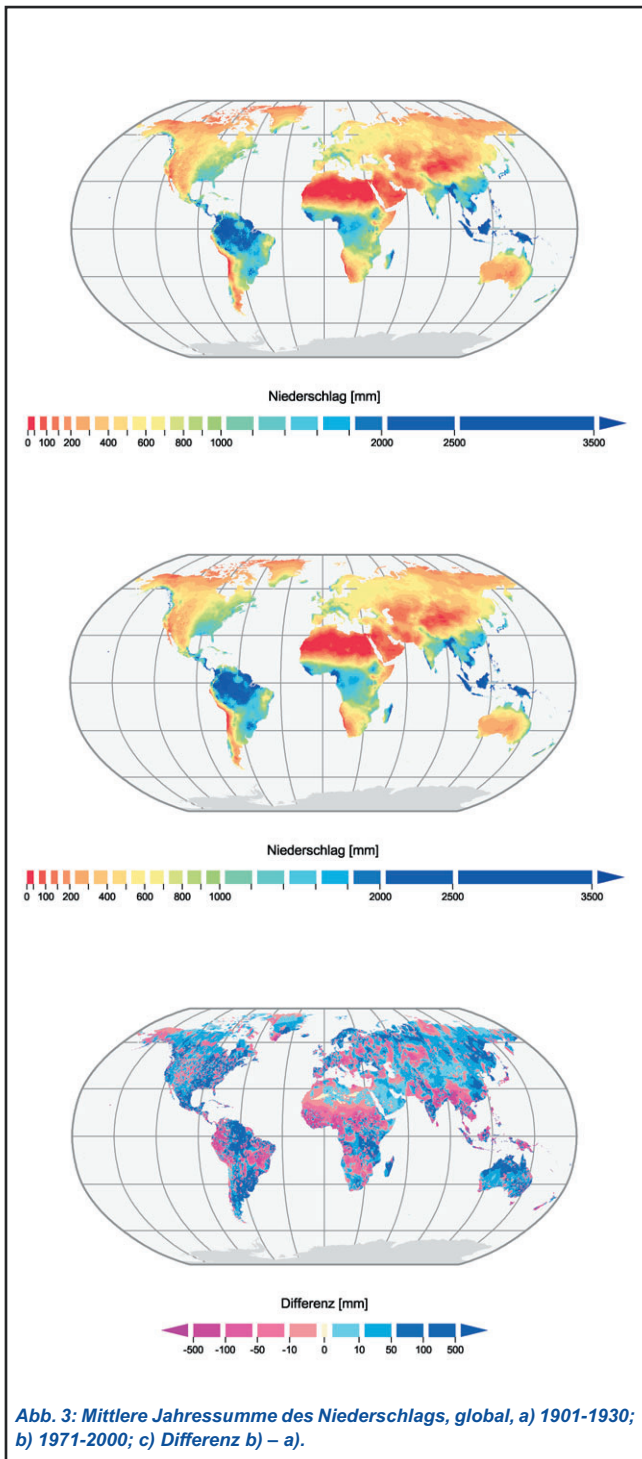
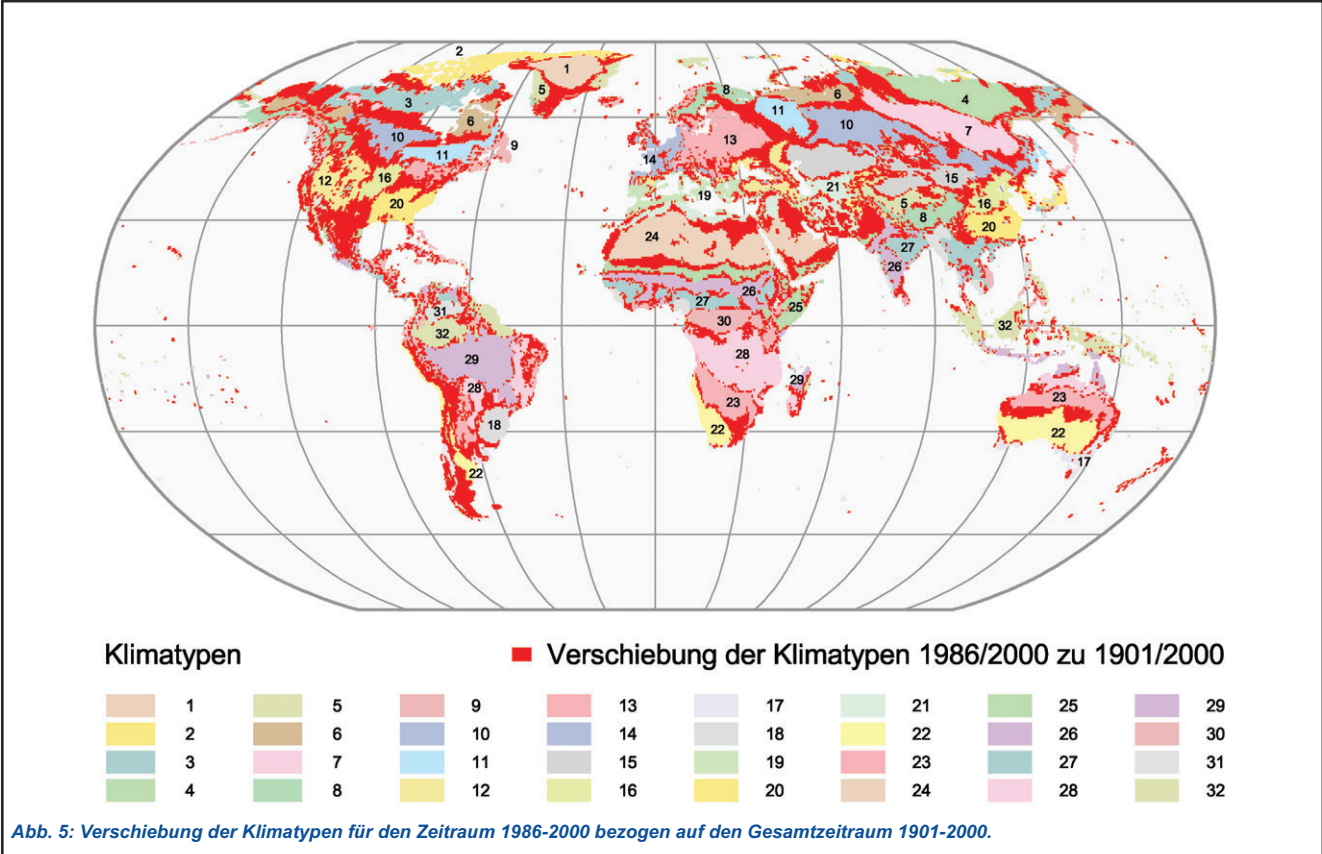
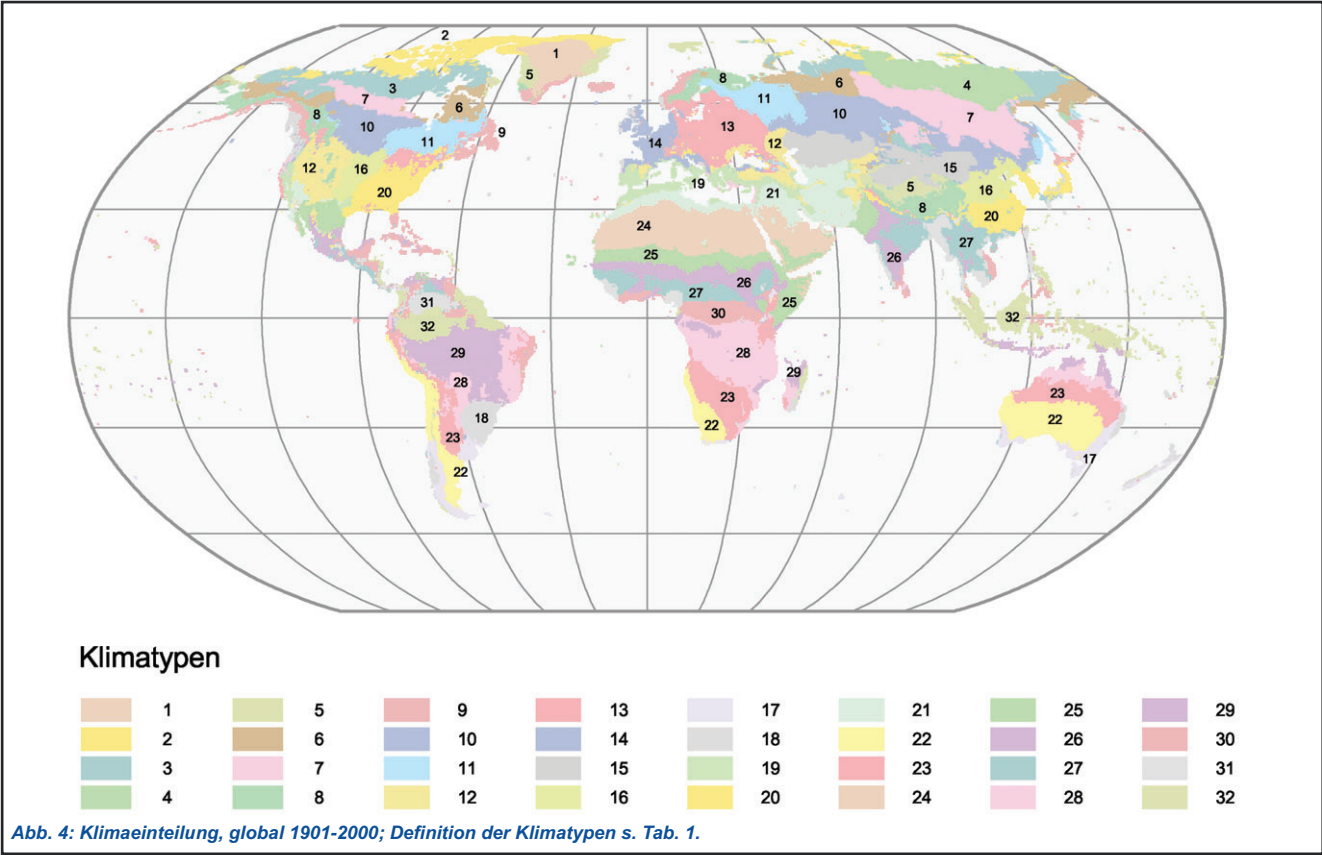


Abb. 3: Mittlere Jahressumme des Niederschlags, global, a) 1901-1930; b) 1971-2000; c) Differenz b) – a).

den kann aus dieser Entwicklung, wie sich das Klima in den einzelnen Regionen der Erde in dieser Zeit verhalten hat. Beim Vergleich der Abbildungen 2a und 2b sind auf Grund des räumlichen Maßstabes und der gewählten Temperaturklassen keine Unterschiede zu erkennen. Was zu sehen ist, ist die bekannte globale Temperaturverteilung mit den höchsten Werten in den

Tropen und den niedrigsten in den Nordpolargebieten. Von Interesse ist aber die Temperaturentwicklung innerhalb der letzten 100 Jahre. Hier kommt man zu einer Aussage, wenn man die Differenz zwischen den beiden Zeiträumen 1971/2000 – 1901/1930 bildet. Das Ergebnis ist in Abbildung 2c dargestellt. Wie auf Grund der Temperaturentwicklung (s.a. Abbildung 1) zu erwarten ist, trat in den meisten Regionen eine Erwärmung auf, die deutlich stärker ausfällt als die wesentlich geringeren Temperaturabnahmen in den wenigen Abkühlungsgebieten.

Mit der somit nachgewiesenen globalen Erwärmung stellt sich die Frage nach der Entwicklung der Niederschlagsverhältnisse. Diese ist von besonderem Interesse, da das Wasser die Grundlage allen Lebens auf den Kontinenten ist. Aus diesem Grund wurden genau wie bei der Temperatur Niederschlagskarten der mittleren Jahressummen für die ersten und letzten 30 Jahre des vorigen Jahrhunderts erstellt (Abb. 3a u. 3b). Man erkennt die sehr niederschlagsreichen Zonen um den Äquator herum und in den Monsunregionen Asiens, die mittlere Niederschlagsverhältnisse aufweisenden gemäßigten Zonen sowie die niederschlagsarmen Wüsten-, Steppen- und Tundragebiete. Auf Grund des Maßstabes ist es ähnlich wie bei der Temperatur schwer, größere Unterschiede im Niederschlagsverhalten zwischen beiden Zeiträumen auszumachen. Hier hilft wieder die Differenzkarte (Abb. 3c) weiter. Wegen der steigenden Lufttemperatur ist die Atmosphäre in der Lage, mehr Wasserdampf aufzunehmen. Außerdem wird mehr Wasser verdunstet, da sich die Land- und Wasserflächen ebenfalls erwärmen. Es ist also generell in der globalen Summe mit mehr Niederschlag zu rechnen. Über Land beträgt dieser Anstieg 11 mm innerhalb der letzten 100 Jahre. Über den Ozeanen liegt dieser sicher höher, kann aber nicht exakt angegeben werden, da dazu die nötigen gemessenen Daten fehlen. Betrachtet man die Abbildung 3c so kann festgestellt werden, dass die blauen Flächen (Niederschlagszunahme) tatsächlich einen deutlich größeren Anteil aufweisen als die roten Flächen (Niederschlagsabnahme). Bei der Interpretation der Änderung ist allerdings Vorsicht geboten. So beträgt die Niederschlagszunahme in einigen Teilen der Sahara (blaue Fläche) weniger als 10 mm in der Jahressumme, hat also keinerlei klimatische Wirkung. Ebenfalls ohne größere klimatische Wirkung ist der Niederschlagsrückgang in Teilen Indiens und Südasiens, weil die Abnahme, (z.T. bis zu 500 mm) von einem sehr hohen allgemeinen Niederschlagsniveau aus zu betrachten ist. Ein klimawirksamer Rückgang des Niederschlags, der auch schon Auswirkungen auf die wirtschaftlichen und sozialen Strukturen hat, findet man u.a. in den Regionen



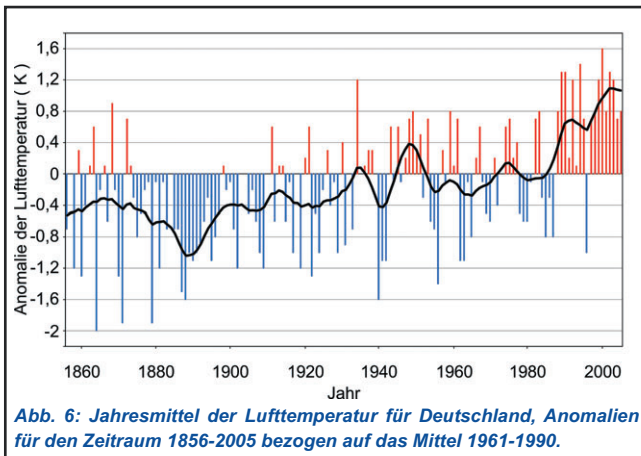
Parameter	Sehr kalt	Kalt	Kühl	Gemäßigt	Warm	Heiß
Temperatur (°C)	Sehr kalt	Kalt	Kühl	Gemäßigt	Warm	Heiß
Jahresmittel	< -10.0	< -5.0	< 5.0	< 12.0	< 22.0	> 22.0
Sommermittel	< 0.0	< 8.0	< 12.0	< 20.0	< 26.0	> 26.0
Wintermittel	< -20.0	< -5.0	< 0.0	< 10.0	< 20.0	> 20.0
Amplitude	Sehr klein	Klein	Mittel	Groß	Sehr groß	Extrem groß
	< 5.0	< 10.0	< 20.0	< 30.0	< 40.0	> 40.0
Niederschlag (mm)	Sehr trocken	Trocken	Gemäßigt trocken	Gemäßigt feucht	Feucht	Sehr feucht
Jahressumme	< 50	< 300	< 600	< 1000	< 2000	> 2000
Sommersumme	< 60	< 200	< 300	< 500	< 1000	> 1000
Wintersumme	< 10	< 50	< 100	< 150	< 350	> 350

Klimatyp	Temperatur				Niederschlag		
	Jahresmittel	Sommermittel	Wintermittel	Amplitude	Jahressumme	Sommersumme	Wintersumme
1	Sehr kalt	Sehr kalt	Sehr kalt	Groß	Gem. trocken	Trocken	Gem. trocken
2	Sehr kalt	Kalt	Sehr kalt	Sehr groß	Trocken	Sehr trocken	Trocken
3	Sehr kalt	Kalt	Sehr kalt	Sehr groß	Trocken	Trocken	Trocken
4	Sehr kalt	Kühl	Sehr kalt	Extr. groß	Trocken	Trocken	Trocken
5	Kalt	Kalt	Kalt	Groß	Trocken	Trocken	Gem. trocken
6	Kalt	Kühl	Sehr kalt	Sehr groß	Gem. trocken	Trocken	Gem. trocken
7	Kalt	Gemäßigt	Sehr kalt	Extr. groß	Gem. trocken	Gem. trocken	Trocken
8	Kühl	Kühl	Kalt	Groß	Gem. trocken	Gem. trocken	Gem. trocken
9	Kühl	Kühl	Kalt	Mittel	Feucht	Gem. trocken	Feucht
10	Kühl	Gemäßigt	Kalt	Sehr groß	Gem. trocken	Trocken	Gem. trocken
11	Kühl	Gemäßigt	Kalt	Sehr groß	Gem. feucht	Gem. trocken	Gem. feucht
12	Gemäßigt	Gemäßigt	Kühl	Groß	Gem. trocken	Trocken	Gem. trocken
13	Gemäßigt	Gemäßigt	Kühl	Groß	Gem. feucht	Gem. trocken	Gem. feucht
14	Gemäßigt	Gemäßigt	Gemäßigt	Mittel	Gem. feucht	Trocken	Feucht
15	Gemäßigt	Warm	Kalt	Sehr groß	Trocken	Sehr trocken	Trocken
16	Gemäßigt	Warm	Kühl	Groß	Gem. feucht	Gem. trocken	Trocken
17	Gemäßigt	Gemäßigt	Gemäßigt	Mittel	Gem. feucht	Trocken	Feucht
18	Warm	Gemäßigt	Warm	Mittel	Feucht	Gem. feucht	Feucht
19	Warm	Warm	Gemäßigt	Mittel	Gem. trocken	Sehr trocken	Feucht
20	Warm	Warm	Gemäßigt	Groß	Feucht	Gem. feucht	Feucht
21	Warm	Heiß	Gemäßigt	Groß	Trocken	Sehr trocken	Gem. trocken
22	Warm	Warm	Warm	Mittel	Trocken	Trocken	Gem. trocken
23	Warm	Warm	Warm	Mittel	Gem. trocken	Gem. trocken	Trocken
24	Heiß	Heiß	Warm	Mittel	Sehr trocken	Sehr trocken	Sehr trocken
25	Heiß	Ganzjährig heiß		Mittel	Trocken	Trocken	Trocken
26	Heiß	Ganzjährig heiß		Klein	Gem. feucht	Gem. feucht	Trocken
27	Heiß	Ganzjährig heiß		Klein	Feucht	Feucht	Trocken
28	Heiß	Ganzjährig heiß		Klein	Feucht	Gem. feucht	Trocken
29	Heiß	Ganzjährig heiß		Sehr klein	Feucht	Feucht	Gem. feucht
30	Heiß	Ganzjährig heiß		Sehr klein	Feucht	Gem. feucht	Feucht
31	Heiß	Ganzjährig heiß		Klein	Sehr feucht	Sehr feucht	Gem. feucht
32	Heiß	Ganzjährig heiß		Sehr klein	Sehr feucht	Feucht	Sehr feucht

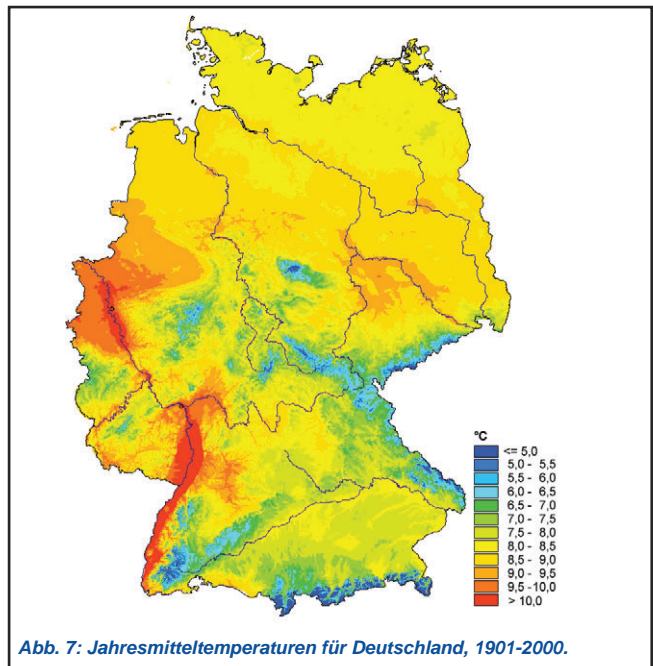
Tab. 1: Charakteristik der Klimatypen für die globale Klimaeinteilung 1901-2000.

rund um das Mittelmeer, in der Sahelzone, in Teilen des südlichen Afrikas und im Nordosten Brasiliens. Mit dem Nachweis der Änderungen der Temperatur und des Niederschlags stellt sich die Frage, inwieweit diese zu Verschiebungen der Klimazonen führen.

Entsprechend der oben angeführten Methodik wurden 32 Klimatypen für die Erde bestimmt, deren mittlere Lage im 20. Jahrhundert aus Abbildung 4 ersichtlich ist. Die Charakterisierung der zur Beschreibung eingesetzten meteorologischen Parameter ist aus Tabelle 1



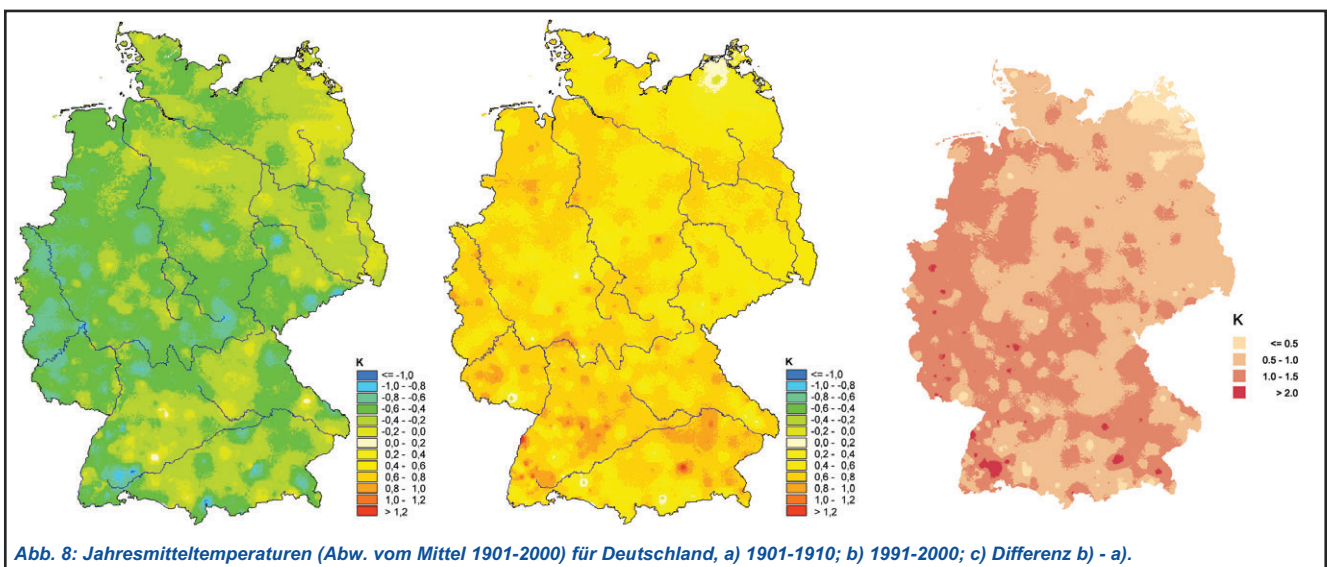
zu entnehmen. Um einen Klimatyp zu charakterisieren, benötigt man Beobachtungsdaten über mindestens 15 Jahre. Deshalb wurden die Klimatypen nochmals bestimmt, diesmal aber für den Zeitraum 1986/2000. Da wo die Klimatypen des Gesamtzeitraumes nicht deckungsgleich mit denen des Teilzeitraumes sind, hat eine Klimatypänderung stattgefunden. Die roten Flächen in Abbildung 5 weisen diese Regionen aus. Diese Änderungen entsprechen rund 5% der Gesamtkontinentalfläche. (Es ist zu beachten, dass die nicht flächentreue Darstellung in Abbildung 5 eine größere Änderung vortäuscht, als sie tatsächlich stattgefunden hat.) Diese Änderung ist, bezogen auf den nur kurzen Teilzeitraum, dennoch beträchtlich. Für einzelne Klimatypen fallen diese Änderungen sogar noch deutlicher aus. Zum Beispiel haben im Teilzeitraum 1986/2000 die Wüstengebiete um ca. 240 km² pro Tag zugenommen, die Tundragebiete dagegen haben sich um 325 km² pro Tag verringert.

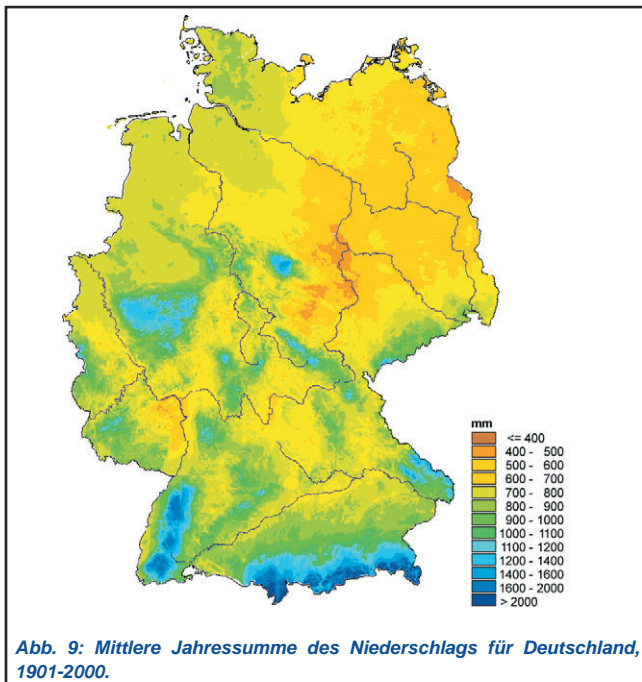


Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die Klimaänderungen in den letzten Jahrzehnten global ein beträchtliches Ausmaß angenommen haben.

4. Klimaänderungen in Deutschland

Im vorhergehenden Kapitel konnte gezeigt werden, dass die Klimaentwicklung regional unterschiedlich verläuft. Deshalb wird im Folgenden Deutschland diesbezüglich speziell betrachtet, wobei methodisch in gleicher Weise vorgegangen wird. Der Zeitverlauf für das Jahresmittel der Lufttemperatur





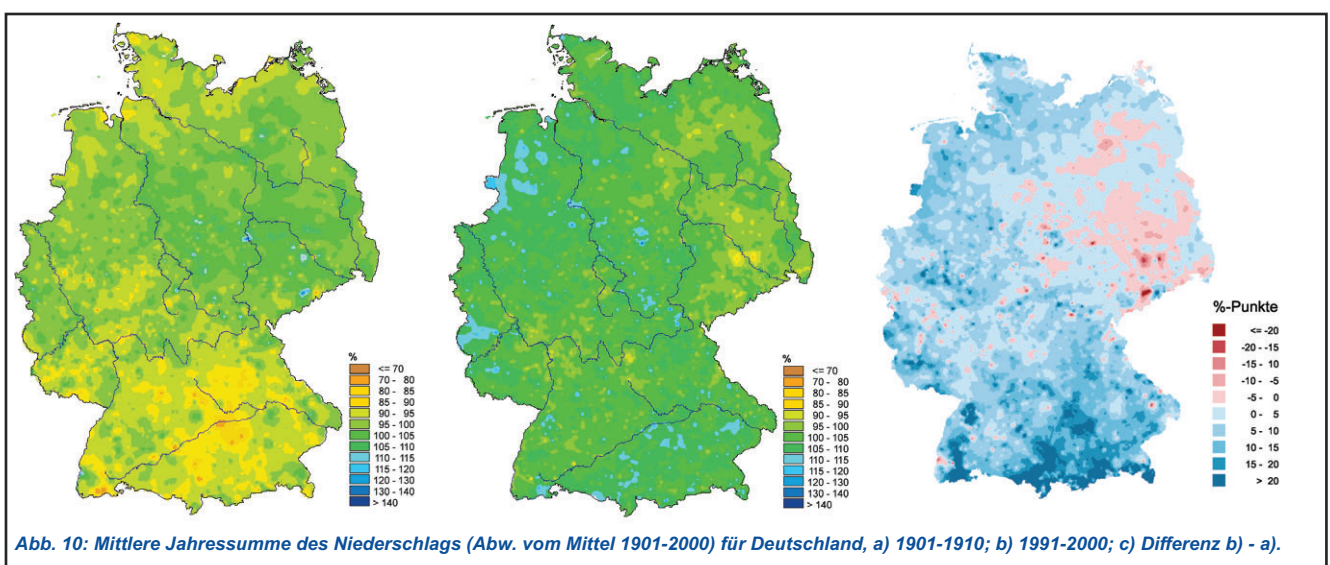
in Deutschland ist in Abbildung 6 dargestellt. Obwohl dieser Verlauf dem der globalen Mitteltemperatur ähnlich ist, weist er doch eine wesentlich unruhigere Struktur auf. Außerdem reicht die Schwankungsbreite von -2.0K bis $+1.6\text{K}$ und eine klare dreiperiodische Unterteilung wie im globalen Fall ist nicht erkennbar. Zur Interpretation der räumlichen Struktur von Temperatur und Niederschlag wurden Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes herangezogen (Müller-Westermeier und Kreis, 2001). Bei der Temperatur zeigt sich im Mittel über die 100 Jahre die allseits bekannte und im wesentlichen durch die Orographie bedingte

Struktur (Abb. 7). Man erkennt die Küstenregionen einschließlich des Binnentieflandes, die Mittelgebirge, die Alpen und als Besonderheit die wärmebevorzugten Gebiete entlang des Rheins.

Die globale Erwärmung spiegelt sich auch in der Temperaturentwicklung in Deutschland wider. Vergleicht man die mittlere Temperaturverteilung der ersten Dekade des Jahrhunderts (Hier Abweichungen zum 100jährigen Mittelwert) mit der letzten (Abb. 8 a,b), weist schon der deutliche Farbunterschied auf eine markante Temperaturerhöhung hin. Noch deutlicher wird diese Entwicklung, wenn man die Differenzkarte (Abb. 8c) betrachtet, für die von der letzten Dekade die Mittelwerte der ersten abgezogen wurden. Man erkennt, dass die Erwärmung zwischen 0.0 und $+2.3\text{K}$ je nach Region liegt. Im Mittel für ganz Deutschland beträgt dieser Wert $+1.2\text{K}$. Er liegt damit deutlich über dem der globalen Erwärmung.

Auch die Struktur der Niederschlagsverteilung hängt in Deutschland im wesentlichen von der Orographie ab (Abb. 9). Zwei Effekte sind zu beobachten: Zum einen die hohen Niederschlagssummen in den Hochlagen der Gebirge, zum anderen die Abnahme des Niederschlages von West nach Ost. Letzteres ist bedingt durch die vorwiegend im Westen liegenden Mittelgebirge, die größere Entfernung vom Atlantik und dem damit nach Osten hin zunehmenden kontinentalen Einfluss.

Zur Analyse der Niederschlagsentwicklung wurden wie bei der Temperatur die erste und letzte Dekade des Jahrhunderts sowie die entsprechende Differenzkarte analysiert (Abb. 10 a,b,c). Während der Nordosten in der ersten Dekade mehr Niederschlag erhält als der Süden, kehrt sich diese Entwicklung am Ende des



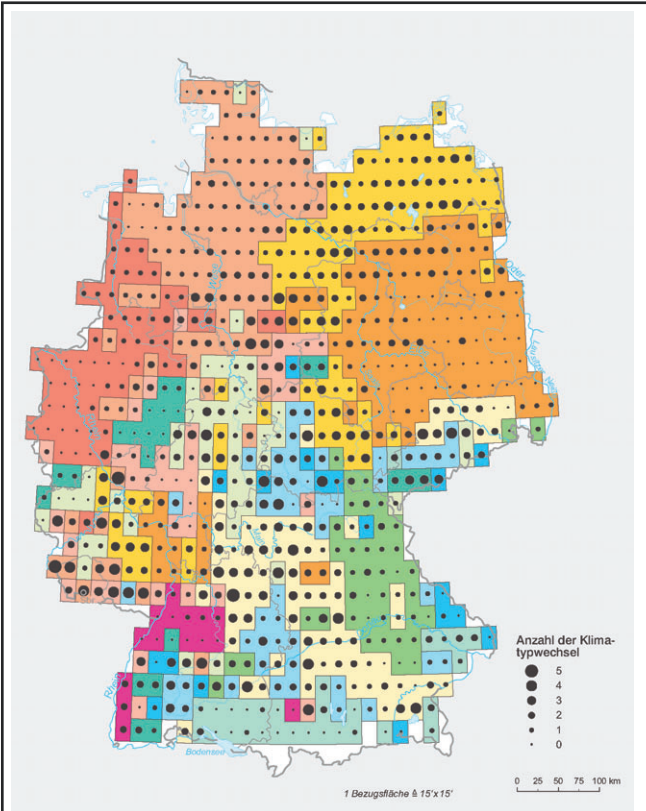


Abb. 11: Regionale Klimatypen für Deutschland und Klimatypwechsel, 1901-2000; Definition der Klimatypen s. Tab. 2.

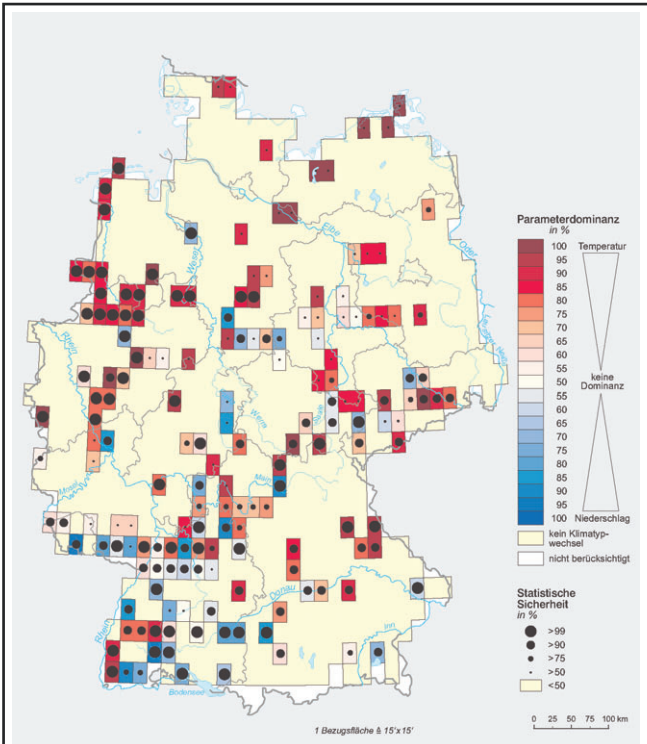


Abb. 13: Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Klimatypwechsel.

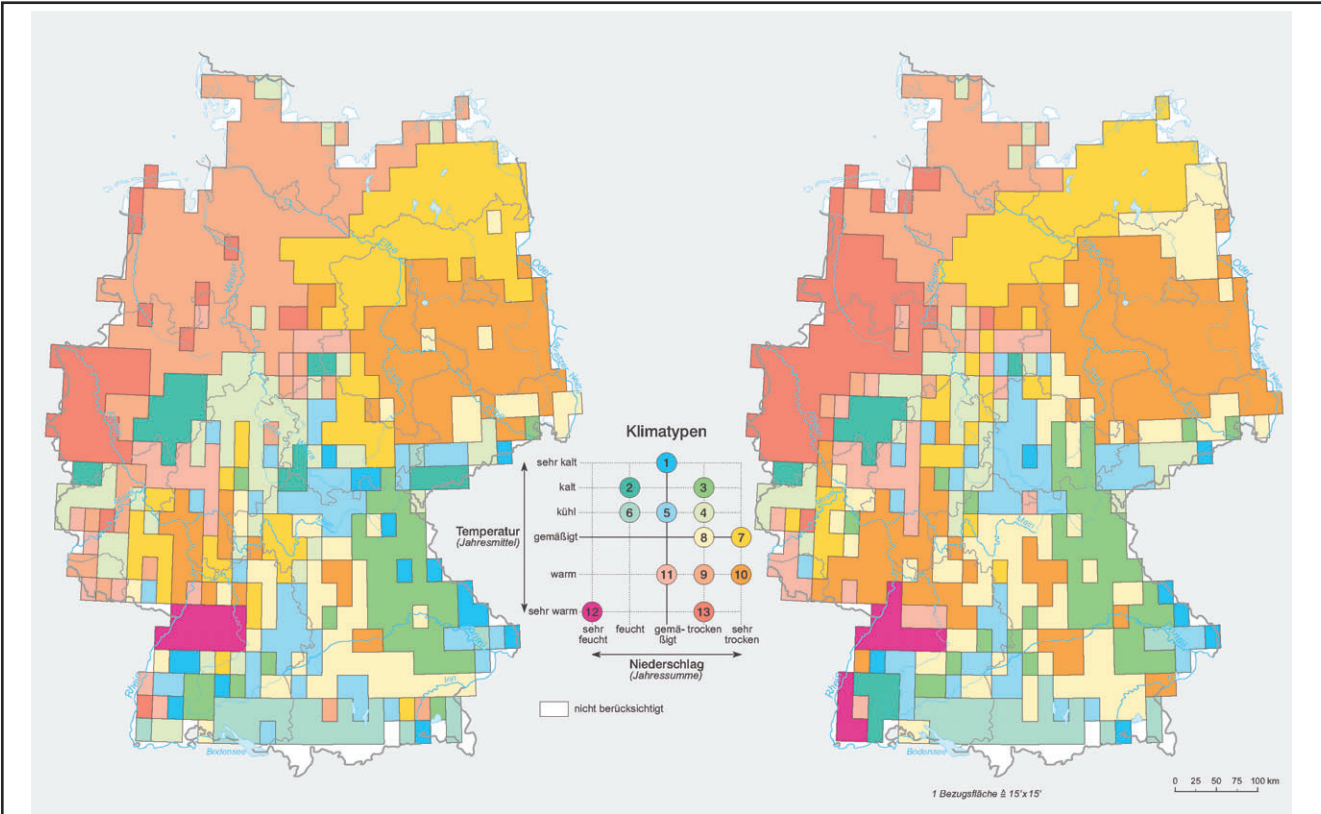


Abb. 12: Regionale Klimatypen für Deutschland, a) 1901-1915; b) 1986-2000.



Parameter							
Temperatur (°C)	Sehr kalt	Kalt	Kühl	Gemäßigt	Warm	Heiß	
Jahresmittel	< 6.0	< 7.0	< 8.0	< 8.5	< 9.0	>= 9.0	
Sommermittel	–	< 15.0	< 16.0	–	< 17.0	>= 17.0	
Wintermittel	< -2.0	< -1.0	–	< 0.0	Mild < 2.0	Sehr mild >= 2.0	
Amplitude	Sehr niedrig < 16.0	Niedrig < 17.0	Mittel < 18.0	Hoch < 19.0	Sehr hoch >= 19.0		
Niederschlag (mm)	Sehr trocken	Trocken	Gemäßigt	Feucht	Sehr feucht		
Jahressumme	< 600	< 800	< 1100	< 1300	>= 1300		
Sommersumme	< 200	< 250	< 300	< 400	>= 400		
Wintersumme	< 150	< 200	< 300	< 400	>= 400		

Klimatyp	Temperatur			Amplitude	Niederschlag		
	Jahresmittel	Sommermittel	Wintermittel		Jahressumme	Sommersumme	Wintersumme
1	Sehr kalt	Kalt	Sehr kalt	Groß	Gemäßigt	Feucht	Gemäßigt
2	Kalt	Kalt	Gemäßigt	Klein	Feucht	Feucht	Feucht
3	Kalt	Kühl	Kalt	Sehr groß	Trocken	Trocken	Sehr trocken
4	Kühl	Kühl	Gemäßigt	Mittel	Trocken	Trocken	Trocken
5	Kühl	Kühl	Kalt	Groß	Gemäßigt	Feucht	Gemäßigt
6	Kühl	Kühl	Kalt	Groß	Sehr feucht	Sehr feucht	Gemäßigt
7	Gemäßigt	Warm	Mild	Mittel	Sehr trocken	Sehr trocken	Sehr trocken
8	Gemäßigt	Warm	Gemäßigt	Groß	Trocken	Gemäßigt	Trocken
9	Warm	Warm	Mild	Klein	Trocken	Trocken	Trocken
10	Warm	Heiß	Mild	Groß	Sehr trocken	Sehr trocken	Sehr trocken
11	Warm	Warm	Mild	Mittel	Gemäßigt	Gemäßigt	Gemäßigt
12	Heiß	Heiß	Mild	Mittel	Sehr feucht	Sehr feucht	Sehr feucht
13	Heiß	Warm	Sehr mild	Sehr klein	Trocken	Trocken	Trocken

Tab. 2: Charakteristik der Klimatypen für die Klimateilung Deutschlands 1901-2000.

Jahrhunderts um, wobei anzumerken ist (hier nicht dargestellt), dass die räumliche Niederschlagsverteilung von Dekade zu Dekade starken Schwankungen unterliegt. Die Differenzkarte gibt wieder Aufschluss über die abgelaufenen Niederschlagsänderungen. Fast der gesamte Westen und Süden Deutschlands weist am Ende des Jahrhunderts mehr Niederschlag als am Anfang auf, während große Teile des Nordostens einen Rückgang des Niederschlags verzeichnen.

Die Bestimmung der Klimatypen (ohne die Alpen) basiert auf den Daten des Zeitraums 1901 – 2000 (s.a. Gerstengarbe und Werner, 2003). Es wurden die Daten von 100 Stationen für die Temperatur und 800 Stationen für den Niederschlag auf ein Gitter von 0.25° x 0.25° unter Berücksichtigung der geographischen Gegebenheiten interpoliert. Die für die Klimatypbestimmung (Cluster-Analyse) eingesetzten Parameter sind Jahres-, Sommer- und Wintermittel der Lufttemperatur sowie die Summen des Niederschlags für das Jahr, den Sommer und den Winter. Hinzu kommt die mittlere Jahresamplitude der Lufttemperatur. Für Deutschland wurden 13 Klimatypen bestimmt,

deren Charakteristika in Tabelle 2 angegeben sind. Die räumliche Verteilung ist der Abbildung 11 zu entnehmen. Der Norden, Nordwesten und Nordosten sind mild bis sehr warm und trocken bis sehr trocken (Klimatypen 7, 9, 10 und 13). In der Mitte und im Südwesten Deutschlands lösen sich die großflächigen Strukturen der Klimagebiete auf Grund der Mittelgebirge auf. Parallel dazu erhöht sich die Variationsbreite der Klimatypen. Die sehr feuchten Klimatypen (6, 12) finden sich im Südwesten Deutschlands und in einigen Hochlagen der Mittelgebirge. Nach Südosten wird das Klima trocken und kühl bis kalt, es dominieren die Klimatypen 3, 5 und 8. Die Änderungen des Klimas während des letzten Jahrhunderts werden durch die Klimatypwechsel bestimmt (schwarze Punkte). Die Wechsel wurden durch eine gleitende Verschiebung eines 15jährigen Zeitraums über die gesamte Periode bestimmt und ausgezählt. Die häufigsten Wechsel beobachtet man entlang eines Streifens von Nordosten nach Südwesten, der nach Köppen den Übergang zwischen ozeanisch und kontinental temperiertem Klima markiert. Einen weiteren

Hinweis zur Klimaänderung liefert die unterschiedliche Klimatypverteilung zwischen Anfang (Abb. 12a) und Ende (Abb. 12b) des 20. Jahrhunderts. Dass eine Reihe dieser Änderungen auch statistisch signifikant ist, zeigt Abbildung 13. Neben den statistisch signifikanten Änderungsgebieten liefert die Abbildung auch noch eine Aussage, welche meteorologische Größe mit welcher Intensität am Klimatypwechsel beteiligt ist. So werden die Änderungen im Südwesten und in den Hochlagen einiger Mittelgebirge durch Niederschlagsänderungen dominiert, in den anderen Gebieten dagegen häufiger durch Temperaturänderungen. Die Sicherheit der Aussagen ist im Nordosten am geringsten, im Westen und Südwesten am höchsten.

Damit bestätigen sich die schon für die globale Skala nachgewiesenen Klimaänderungen auch in der regionalen Skala, wobei die zeitliche Entwicklung und räumliche Differenzierung deutlich ausgeprägter sind.

Literatur

- Fraedrich, K., Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C. (2001): Climate shifts during the last Century. *Climatic Change*, 50, 405-417
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C., Fraedrich, K. (1999): Applying non-hierarchical cluster analysis algorithms to climate classification: some problems and their solution. *Theor. Appl. Climatol.*, 64, 143-150
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C. (2003): Klimaänderungen zwischen 1901 und 2000. In: *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Teil 3, Klima, Pflanzen- und Tierwelt*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg/Berlin, 58-59
- Hupfer, P. (Hrsg.) (1991): *Das Klimasystem der Erde*. Akademie Verlag Berlin, 464 S.
- Liebscher, H. (1978): *Systematisches Wörterbuch Philosophie und Naturwissenschaften*. Berlin, 881-886
- Müller-Westermeier, G., Kreis, A. (2001): Die bodennahe Lufttemperatur und der Niederschlag im 20. Jahrhundert dargestellt anhand von Karten. In: *Klimastatusbericht 2001*, DWD, Offenbach, 12-19

Danksagung:

Die Autoren danken dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung der Daten und Abbildungen.