

Semesterarbeit

Modul „Grundlagen der Umweltchemie“

Prof. Dr. Michael Schmitt

Erstellung von Grafiken aus historischen Daten der Temperaturabweichungen der Stadt Trier

Sandra Mücke, Dominik Mierswa

Abgabedatum: 28.04.2021

Wintersemester 2020/2021

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	2
1. Aufgabenstellung	3
2. Theorie	3
2.1. Definition Klima	3
2.2. Klimawandel	4
3. Anforderung an eine Messstation	5
4. Auswertung und Diskussion der klimatischen Daten	7
4.1. Auswertung der ganzjährigen Temperaturdaten	9
4.2. Auswertung der monatlichen Daten	14
4.2.1. Auswertung der Sommermonate (Juni, Juli, August)	14
4.2.2. Auswertung der Wintermonate (November, Dezember, Januar)	16
5. Zusammenfassung	19
Abbildungsverzeichnis	20
Literaturverzeichnis	22

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°	Grad
°C	Grad Celsius
ca.	circa
CDC	Climate Data Center
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DWD	deutscher Wetterdienst
m	Meter
WMO	Meteorologische Weltorganisation

1. Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Temperaturanomalien der Stadt Trier aus historisch gewonnenen Daten graphisch darzustellen und zu interpretieren. Für die Datenerhebung wurden die aufgezeichneten klimatischen Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet.

2. Theorie

2.1. Definition Klima

In wissenschaftlicher Literatur werden verschiedene Definitionen des Begriffs „Klima“ diskutiert.^[1] Eine erste Definition wurde von *Julius von Hann*, 1883, aufgestellt. Er versteht den Begriff Klima als „Die Gesamtheit aller meteorologischen Erscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgendeiner Stelle der Oberfläche charakterisieren.“^[2] Die *Meteorologische Weltorganisation* (WMO) definiert das Klima als Messung des Mittelwerts und der Variabilität relevanter Mengen bestimmter Variablen, wie z.B. Temperatur, Niederschlag oder Wind, über einen Zeitraum von Monaten bis zu Tausenden oder Millionen von Jahren. Üblicherweise wird ein Zeitintervall von 30 Jahren gewählt, welcher genauer betrachtet wird, wie der Zeitraum von 1961 bis 1990 und von 1991 bis 2020.^[3] Dieser Zeitraum wird nach dem DWD als Normalperiode bezeichnet.^[4] Somit befinden wir uns zurzeit im Intervall von 2021 bis 2050.

Die Sonneneinstrahlung und die Annahme der Erde als eine Kugel beeinflussen das Wetter und auch das Klima. Dadurch können warme und kalte Winde entstehen und durch die zusätzliche Erdrotation werden die Tief- und Hochdruckgebiete erzeugt. Das Klima hängt jedoch von der Region auf der Erde ab und ihrer Topographie, sodass es nicht nur ein Klima auf der ganzen Welt gibt, sondern verschiedene Klimate, die auf verschiedene Regionen bezogen sind.^[5] Im Jahre 1936 wurde erstmalig durch *Wladimir Köppen* das weltweite Klima in verschiedene Klimazonen aufgeteilt.^[6] Diese Klimazonen wurden im Laufe der Jahre weiterentwickelt und an denen die Menschheit sich heute noch orientiert.^[6,7] In folgender Abbildung 1 ist eine im Laufe der Jahre entstandene Version der Klimazonen dargestellt. In dieser Abbildung wird in fünf Klimazonen unterschieden. Die rot markierte Klimazone steht für die Tropen, die Gelbe für die Subtropen, die Grüne für die Mittelbreiten bzw. die gemäßigte Zone und die Farbe hellblau steht für die subpolare Zone und die Dunkelblaue für die polare Zone. Die Tropen befinden sich um den Äquator herum und an den Erdpolen liegen die polaren Klimazonen.^[8]

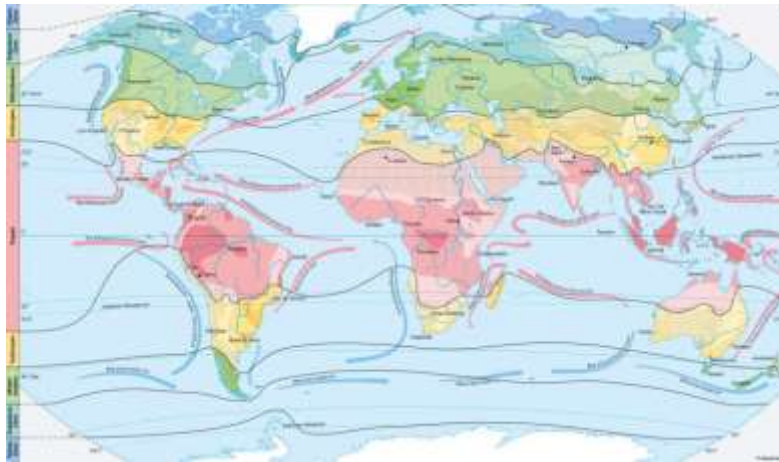


Abbildung 1: Darstellung von Klimazonen auf der Erde, in rot die Tropen, in gelb die Subtropen, in grün die Mittelbreiten bzw. die gemäßigte Zone, in hellblau die subpolare Zone und in dunkelblau die polare Zone.^[8]

2.2. Klimawandel

Die ersten Einschätzungen zum Einfluss von Kohlenstoffdioxid (CO₂), auf die Menschheit, die Erde und das Leben auf ihr, hinsichtlich der Temperaturen wurden im Jahre 1896 von dem Chemiker und Physiker *Svante Arrhenius* veröffentlicht. Damals klang das alles noch relativ harmlos im Vergleich zu heutzutage. CO₂ ist nur eins von vielen Treibhausgasen die Anteil am Klimawandel haben.^[9] Klimawandel beschreibt die Abkühlung oder die Erwärmung des Klimasystems über einen längeren Zeitraum, wodurch es zu Wetterextremen, wie z.B. Dürre und Eiszeiten, kommen kann. Der Klimawandel beschreibt eine langfristige Veränderung von Temperaturen, Niederschlägen und Luft- oder Wasserströmungen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass es sich hierbei um eine langjährige Veränderung handelt, d.h. wenn in einem Jahr keine extremen Veränderung aufgetreten sind, dann stellt dieses einzelne Jahr nicht den Klimawandel infrage. Heutzutage kann nicht mehr geleugnet werden, dass die Menschheit einen großen Anteil an der aktuellen globalen Erwärmung hat. Die Gletscher schmelzen, die Luft wird schlechter, Ernten werden überschwemmt oder auch Lebensräume für Tiere und Menschen werden unbewohnbar, alle diese Aspekte und noch viele weitere, die an dieser Stelle nicht alle aufgelistet werden können, sind Folgen des Klimawandels.^[7,10] Diese Aspekte bekommt die Menschheit auch heutzutage schon zu spüren.^[11] In dieser Arbeit wird ein Augenmerk auf die Temperaturanomale einer Stadt in Deutschland gelegt, welche eine Folge des Klimawandels ist.

3. Anforderung an eine Messstation

Für eine qualitätsgerechte und repräsentable Datengewinnung ist es notwendig, bestimmte fachliche und technische Anforderungen an eine Wetterstation zu stellen. Damit die Daten zu Forschungszwecken genutzt werden können, hat der DWD eine Richtlinie eingeführt, in der unter anderem die Anforderungen an den Standort der Messstation, an das Messfeld und die Aufstellung der Sensoren aufgeführt sind. Einige Aspekte sollen an dieser Stelle aufgeführt werden.

Der Hauptaspekt für die Auswahl eines Standortes für eine Wetterstation ist die Repräsentanz für die Umgebung. Die Wetterstation soll demnach nicht auf steilen Hügeln, auf Klippen oder in einer Senke errichtet werden, sondern auf einem ebenen Grund. Hierbei ist weiterhin auf den Neigungswinkel zu achten, welcher in einem Umkreis von 200 m nicht kleiner als 10° betragen sollte. Weitere Bedingungen für die Auswahl eines Standortes sind, dass die Umgebungsbedingungen über einen Zeitraum von größer 10 Jahren unverändert bleiben. Dies schließt Bebauung, Bewuchs und Beschaffenheit des Erdbodens ein. Auf den Ausschluss von Feuchte-, Wärme- und Staubquellen in unmittelbarer Nähe sollte dringend geachtet werden. Bezüglich der freien Exposition der Station gegenüber den meteorologischen Einflüssen ist dahingegen zu achten, dass Hindernisse, die die Strahlung und den Wind abschirmen, einen bestimmten Mindestabstand zum Messfeld einhalten. Als Hindernisse werden z.B. große Gebäude aber auch elektromagnetische und elektrische Quellen deklariert.

Weiterhin bestehen auf der Wetterstation für die angelegten Messfelder bestimmte Anforderungen. Das Messfeld beschreibt die Fläche, auf welche die Messsensoren angebracht werden. Eine Bewachung des Erdbodens des Messfeldes sollte gewährleistet sein, mit Ausnahme der Fläche, auf welche das Erdbodentemperaturmessfeld angelegt wird. Die Größe des Messfeldes einer nebenamtlichen Wetterstation sollte eine Mindestgröße von 10 m^2 aufweisen, für den Fall, dass alle meteorologischen Parameter erfasst werden sollen. Je nachdem welche Sensoren auf dem Messfeld angebracht werden, kann es zu Abweichungen der Größe des Messfeldes kommen. Jedoch ist es erforderlich die jeweiligen Mindest- und Maximalabstände der Sensoren untereinander zwingend einzuhalten. Da in dieser Arbeit die Daten der gemessenen Lufttemperatur verwendet wurden, soll eine kurze Ausführung der Anforderung an die Aufstellung des entsprechenden Sensors erfolgen. Die sensorspezifischen Standortanforderungen wurden ebenfalls im DWD festgelegt. Diese besagen für die Messung der Lufttemperatur, dass diese in 2 m Höhe über den Grund in einer strahlungs- und

witterungsgeschützten Hütte erfolgt. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Hütte auf einer Rasenfläche steht, welche ungehindert der Luftströmung ausgesetzt sein muss. Dies hat zur Konsequenz, dass z.B. Mauern, Hecken, Bretterzäune und ähnliche Hindernisse des Luftstroms nicht vorhanden sein dürfen. Eine Anlegung des Sensorfeldes auf einem Hausdach, einer Terrasse oder einer (Beton-)Plattform ist nur in Ausnahmefällen genehmigt.

4. Auswertung und Diskussion der klimatischen Daten

Für die Auswertung der historischen Temperaturen wurden Datensätze der in Trier gelegenen Wetterstationen Petrisberg und Zewen verwendet. Die Datensätze wurden dem *Climate Data Center* (CDC) des DWD entnommen.^[12] Zu Beginn werden die einzelnen Durchschnittstemperaturen der beiden Wetterstationen dargestellt. Im Anschluss erfolgt eine Auftragung der gemittelten Durchschnittstemperaturen beider Stationen in einem Diagramm.

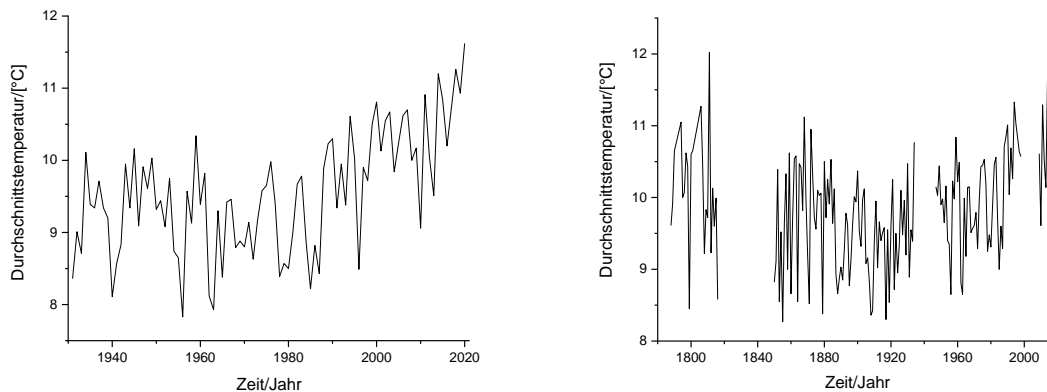


Abbildung 2: Auftragung der Durchschnittstemperaturen der in Trier gelegenen Wetterstationen Petrisberg (links) und Zewen (rechts) gegen das Jahr.

In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass für die Wetterstation Petrisberg erst Anfang der 90er Jahre Temperaturdaten erfasst worden sind. Im Gegensatz dazu erfolgte die Messung meteorologischer Parameter für die Station Zewen bereits ab ca. 1800. Weiterhin ist auffällig, dass bei dieser Station im Laufe der Jahre Lücken entstanden sind. So gibt es z.B. für den Zeitraum von ca. 1820 bis ca. 1850 sowie für den Zeitraum von ca. 1930 bis ca. 1950 keine Temperaturdaten. Zusammenhängend könnte dies an zeitgenössischen Phänomenen liegen, wie z.B. dem 2. Weltkrieg, sodass viele Wetterstationen zerstört wurden und eine Aufzeichnung der Temperaturen nicht möglich war.

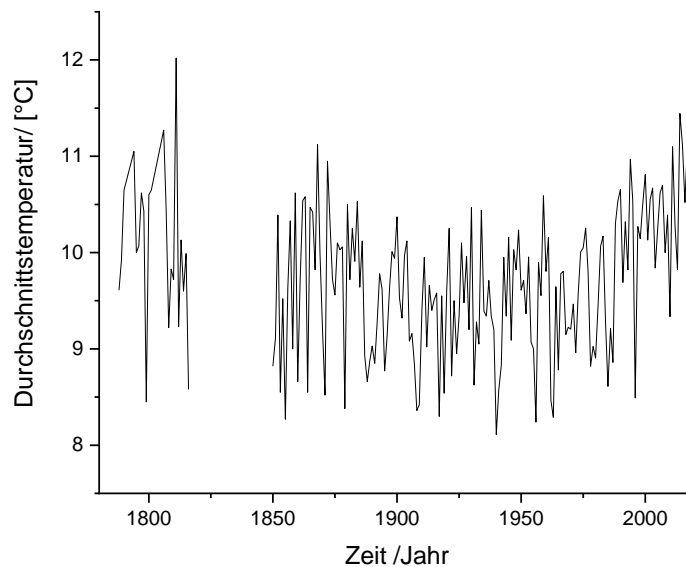


Abbildung 3: Auftragung der gemittelten historischen Temperaturdaten der beiden Wetterstation Petrisberg und Zewen gegen das Jahr.

Um einen besseren Vergleich der beiden Stationen zu gewährleisten, aufgrund der unterschiedlichen Verfügbarkeit an Datensätzen, wurden die jeweiligen Datensätze gemittelt und gegen das Jahr aufgetragen. Abbildung 3 zeigt, dass für den bereits erwähnten Zeitraum 1820-1850 keine Daten zur Auswertung zur Verfügung standen. Jedoch sind für den Referenzzeitraum von 1950-1980 und alle folgende Jahre ausreichend Temperaturdaten vorhanden. Aufgrund der geringen anthropogenen Klimaerwärmung im Zeitraum 1950-1980, wird dieser Zeitraum als Referenz genutzt. Somit sind meteorologische Veränderungen deutlicher zu erkennen und zu analysieren. Um die Temperaturanomalie der Stadt Trier zu interpretieren, wurden die jährlichen Temperaturdaten beider Stationen für jedes Jahr einzeln gemittelt und von diesen erhaltenen Werten wurde der Mittelwert über den Referenzzeitraum von 1950-1980 subtrahiert. In Abbildung 4 ist die Auftragung der Temperaturanomalie der gemittelten Durchschnittstemperaturen gegen das Jahr dargestellt.

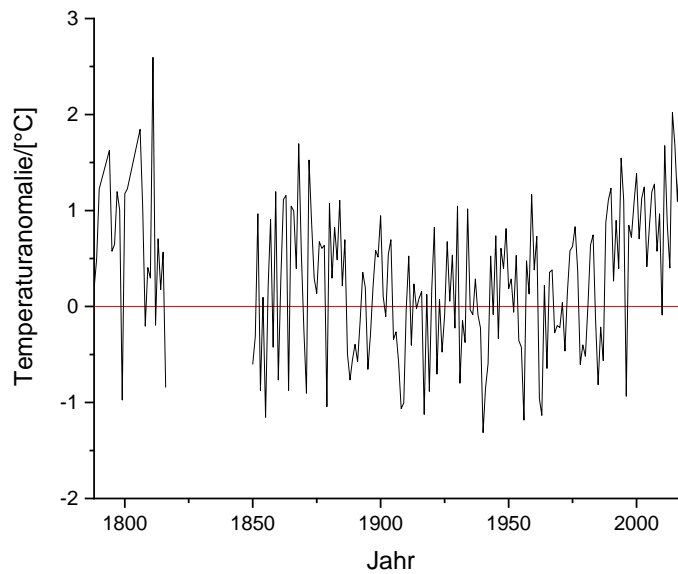


Abbildung 4: Auftragung der Temperaturanomalie der gemittelten Durchschnittstemperaturen gegen das Jahr. Die rote waagerechte Linie steht für eine Temperaturanomalie mit einem Wert von 0 und dafür, dass die Werte nicht von dem Mittelwert des Referenzzeitraums abweichen. So ist besser zu erkennen, wie die restlichen Werte um den Mittelwert des Referenzzeitraums variieren.

Die rot markierte Nulllinie in Abbildung 4 stellt den Idealfall dar, wenn keine der Durchschnittstemperaturen von dem Mittelwert abweichen würde. Es ist deutlich zu erkennen, dass in dem Zeitraum von 1800-1900 ein abfallender Trend der Temperaturanomalie zu erkennen ist. Bis zum Referenzzeitraum 1950-1980 lässt sich sagen, dass es sowohl zu positiven als auch negativen Abweichungen der Temperaturen vom Mittelwert gekommen ist und ab 1980 ist ein deutlich steigender Trend der Temperaturen zu verzeichnen.

4.1. Auswertung der ganzjährigen Temperaturdaten

Für eine visuelle Auswertung und Interpretation der Temperaturanomalie wird die Gaußverteilung als mathematisches Instrument verwendet. Mit zusätzlicher Darstellung der Temperaturanomalien einzelner Dekaden als Histogramme ist eine genauere Analyse und Vorhersage weiterer Anomalien möglich. In dieser Arbeit wurden jeweils zwei Dekaden in einem Histogramm mit entsprechender Gaußkurve dargestellt. Die Gaußkurve beschreibt in allen Diagrammen die Verteilung der Temperaturen aus dem Referenzjahr und die Histogramme beschreiben jeweils die Jahre die oberhalb des Diagramms angegeben sind. Diese

Diagramme sind in der folgenden Abbildung 5 dargestellt und werden im weiteren Verlauf näher erläutert und diskutiert.

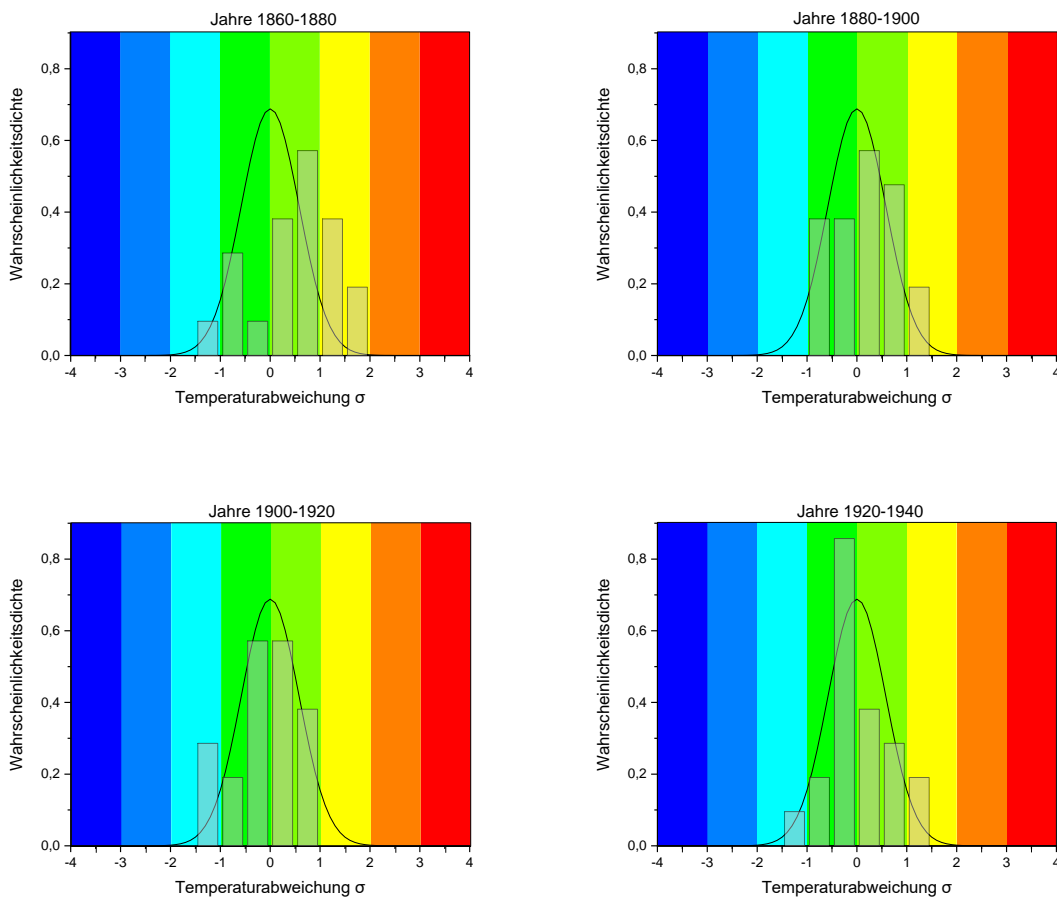


Abbildung 5: Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Dargestellt sind jeweils zwei Dekaden der ganzjährigen Temperaturdaten ab 1860 bis 1940. Oben links sind die Dekaden 1860-1880 aufgetragen, oben rechts die Dekaden 1880-1900, unten links die Jahre 1900-1920 und unten rechts die beiden Dekaden 1920-1940.

Wie bereits in Abbildung 4 aufgeführt und diskutiert lässt sich ein erkennbarer Trend von warmen hin zu kälteren Temperaturanomalien ab dem Jahr 1860 bis kurz vor Erreichen des Referenzzeitraums erkennen. Mit Hilfe der in Abbildung 5 dargestellten Diagramme lässt sich dieser Befund genauer analysieren. Die Diagramme beschreiben die Wahrscheinlichkeitsdichte in Abhängigkeit der Temperaturabweichung. Die Temperaturabweichung wird üblicherweise in Einheiten der Standardabweichung angegeben. Typischerweise liegen 68 % der Werte innerhalb der ersten Standardabweichung einer Gaußfunktion. Wie jedoch in den ersten beiden Dekaden 1860-1880 bereits zu erkennen ist, kommt es zu einer Abweichung von der symmetrischen Gaußkurven des Referenzjahr 1950-1980 (schwarzer Verlauf). Die Verteilung

der Balken des Histogramms weist einen unsymmetrischen Verlauf hin zu wärmeren Temperaturen auf. Betrachtet man nun die zwei weiteren Diagramme der Jahre 1880-1900 und 1900-1920 so fällt auf, dass die Verteilung der Balken schmäler wird und die Verteilung einen symmetrischeren Verlauf annimmt. Zudem ist erkennbar, dass die Verteilung im Diagramm der Jahre 1900 bis 1920 sich zu kälteren Temperaturen hin verschiebt. Im letzten Diagramm in Abbildung 5 ist die Abweichung der Temperatur im Vergleich zum Referenzjahr, verglichen mit den vorherigen drei Diagrammen, annähernd symmetrisch. Das Histogramm der Referenzjahre ist in Abbildung 6 dargestellt.

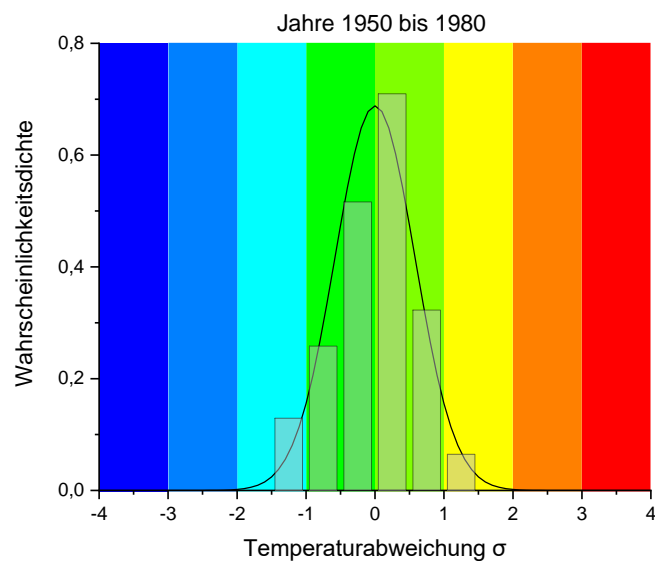


Abbildung 6: Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Abgebildet ist das Referenzjahr 1950-1980.

Ab dem Referenzjahr jedoch ist wieder ein stärkerer Trend zu wärmeren Temperaturen ersichtlich, wie schon in Abbildung 4 kurz angerissen. Im Folgenden wird eine Zusammenstellung der Temperaturanomalie in einem Zeitintervall von zehn Jahren nach dem Referenzjahr 1980 bis 2020 dargestellt.

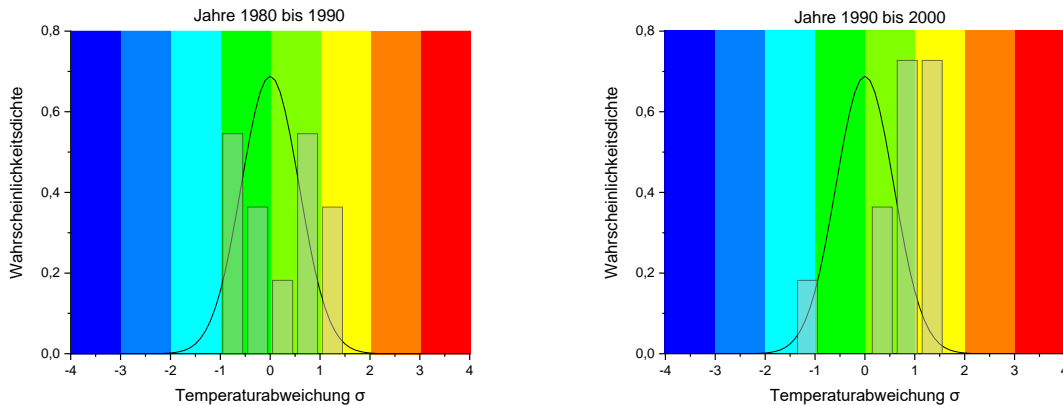


Abbildung 7: Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Dargestellt sind die zwei Dekaden der ganzjährigen Temperaturdaten von 1980-1990 (links) und von 1990-2000 (rechts).

Vergleicht man die ersten beiden Dekaden nach dem Ende des Referenzzeitraums 1980 wird ersichtlich, dass der Verlauf der Temperaturanomalie zu wärmeren Temperaturen tendiert. Die Verteilung der Balken des Histogramms zeigt einen deutlichen rechts-shift. Im Jahr 1980-1990 im Vergleich zum Referenzjahr (siehe Abbildung 6) fällt auf, dass die Temperaturanomalie bei einer Standardabweichung von -1 bis -1,5 nicht mehr vorhanden ist, aber gleichzeitig die Intensität der Balken in dem Bereich der Standardabweichung von -1 bis -0,5 und von 0,5 bis 1 deutlich zugenommen haben. Weiterhin ist der Balken bei einer Standardabweichung von 1 bis 1,5 ebenfalls größer, im Vergleich zur Abbildung 6. Zudem ist die Verteilung des Histogramms nicht mehr schön symmetrisch im Vergleich zu der Gaußkurve. Diese Tatsachen spiegeln deutlich den Trend zu wärmeren Temperaturen in dieser Dekade wider. Betrachtet man das darauffolgende Jahrzehnt 1990-2000, so fällt dieser Trend deutlich stärker ins Gewicht. Die Wahrscheinlichkeitsdichte bei einer Standardabweichung von 1 bis 1,5 ist weiterhin gestiegen, jedoch traten auch kalte Jahre auf, was durch den Balken bei einer Standardabweichung von -1 bis -1,5 zu erkennen ist.

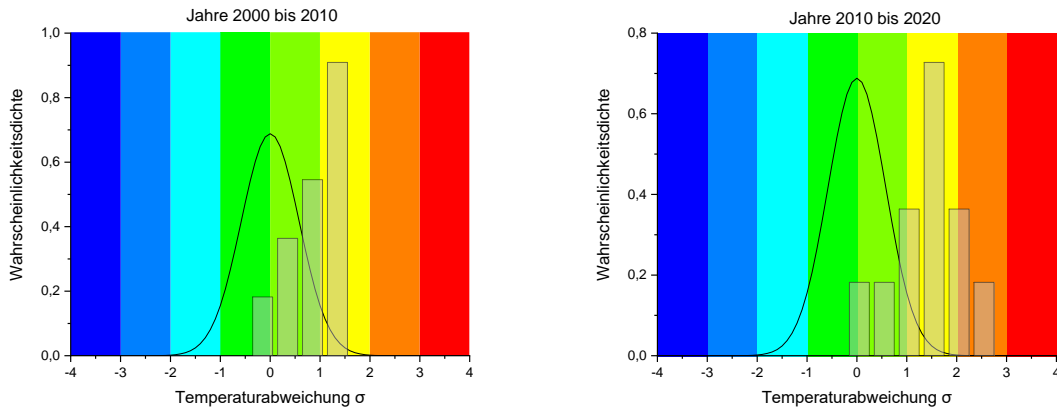


Abbildung 8: Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Dargestellt sind die zwei Dekaden der ganzjährigen Temperaturdaten von 2000-2010 (links) und von 2010-2020 (rechts).

Auch die letzten beiden Jahrzehnte 2000-2010 und 2010-2020 verdeutlichen diesen Trend. Abbildung 8 zeigt die Temperaturanomalie der beiden Dekaden hin zu immer wärmeren Temperaturextremen. Im rechten Diagramm ist ein Maximum bei einer Standardabweichung bei ungefähr 1,5 zu erkennen, welches ein deutliches Signal der heißen Temperaturextreme widerspiegelt. Verdeutlichen lässt sich dieser Trend abschließend mit der Betrachtung aller Gaußkurven ab dem Referenzjahr 1950-1980 bis hin zu der Dekade von 2010 bis 2020.

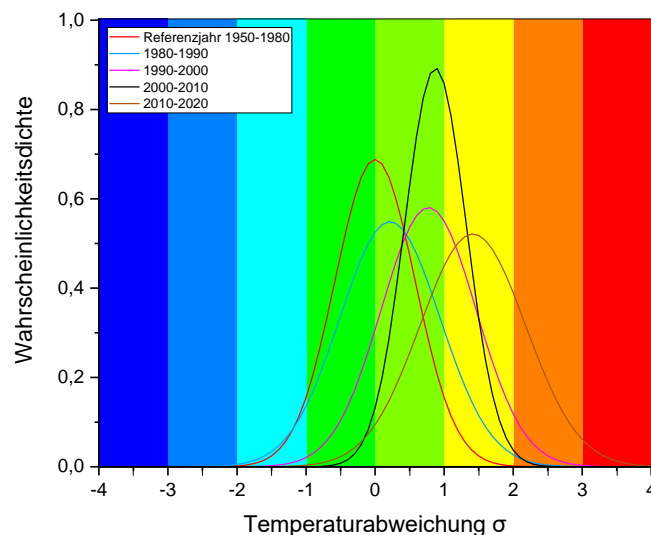


Abbildung 9: Darstellung aller berechneten Gaußkurven der Temperaturanomalie der Stadt Trier der ganzjährigen Daten ab dem Referenzjahr 1950-1980 (rot). Die hellblaue Gaußkurve zeigt das Jahrzehnt 1980-1990, die rosa Kurve das Jahrzehnt 1990-2000, in dunkelblau ist das Jahrzehnt 2000-2010 dargestellt und in braun das Jahrzehnt 2010-2020.

Ausgehend von den Referenzjahren ist eindeutig zu erkennen, dass im Laufe der Jahrzehnte bis 2020 ein deutlicher Shift der berechneten Gaußfunktionen hin zu wärmeren Extremen erkennbar ist. Aufgrund der Form der Kurven lässt sich sagen, dass in dem Jahrzehnt 2000 bis 2010 die schmalste Verteilung vorliegt, was für keine extremen Temperaturschwankung der einzelnen zehn Jahre in diesem Bereich hindeutet.

4.2. Auswertung der monatlichen Daten

4.2.1. Auswertung der Sommermonate (Juni, Juli, August)

Ein zentrales Problem bei der Auswertung ganzjähriger Daten besteht darin, dass einzelne Extreme innerhalb des Jahres viel geringere Auswirkungen haben und somit nicht direkt auffallen. Um eine detaillierte Interpretation zu gewährleisten, werden Aussagen bezüglich Sommer- und Wintermonaten getroffen. Bei den Sommermonaten werden Daten der Monate Juni, Juli und August gesammelt und anschließend gemittelt. Auf gleiche Weise wird bei den Wintermonaten November, Dezember und Januar verfahren. Im Folgenden wird zunächst auf die Sommermonate eingegangen. Abbildung 10 zeigt die Temperaturanomalie des Referenzjahres.

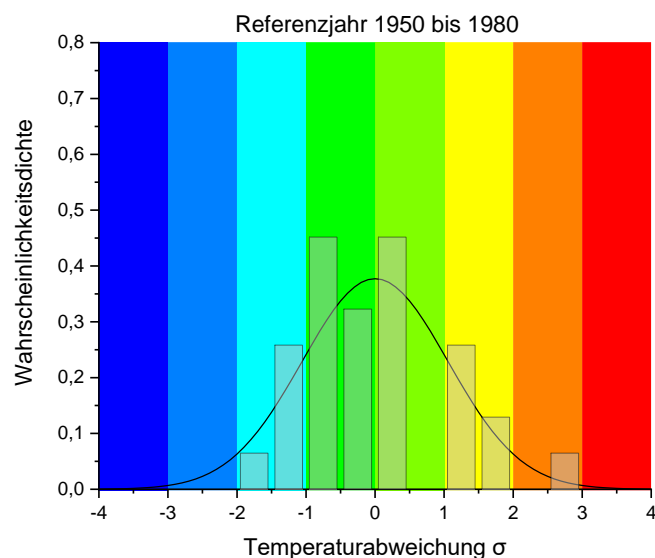


Abbildung 10: Darstellung der Temperaturanomalie der Referenzjahre 1950-1980 der Sommermonate. Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung.

In Abbildung 11 sind die Temperaturanomalien der vier Jahrzehnte nach dem Ende der Referenzjahre abgebildet.

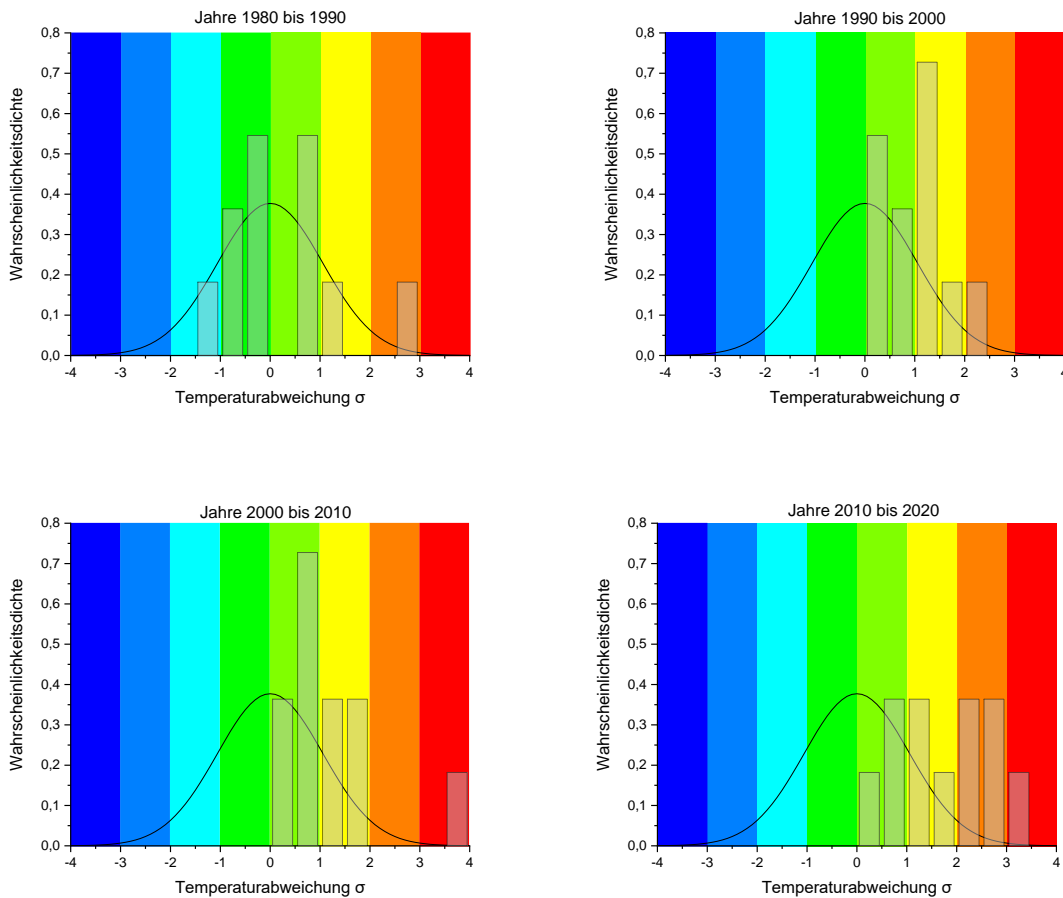


Abbildung 11: Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung in Einheiten der Standardabweichung der Sommermonate. Oben links für das Jahrzehnt 1980-1990, oben rechts für 1990-2000, unten links für 2000-2010 und unten rechts für das Jahrzehnt 2010-2020.

Bereits im Jahrzehnt 1980-1990 sticht die Abnahme der kalten Sommer hervor, was durch die einzige Verteilung in dem Bereich der Standardabweichung von -1,5 bis -1 deutlich wird. Gleichzeitig nimmt die Intensität des Balkens im orangenen Bereich bei 2,5-3,0 deutlich zu. Das nächste Jahrzehnt weist keine Balken mehr im kalten Bereich auf, die Verteilung der Balken ist allgemein nicht mehr so stark auseinander gelegen. Die Verschiebung zu wärmeren Sommern in diesem Jahrzehnt ist jedoch deutlich zu erkennen. Extremere wird dieser Trend im darauffolgenden Jahrzehnt (2000-2010), in welchem nun extreme Anomalien bei einer Standardabweichung von 3,5 bis 4 auftreten. Im Gegensatz dazu ist jedoch zu sagen, dass die Intensität der Balken im grünen und gelben Bereich entgegengesetzte Anomalien aufweisen. Im grünen Bereich ist die Intensität der Balken gestiegen und im gelben Bereich sind sie

gesunken. Dies spiegelt einen abnehmenden Trend der Temperaturabweichung der mittleren Temperaturen wider. Im letzten Diagramm aus Abbildung 11 ist wiederum ersichtlich, dass die extremen warmen Sommermonate zugenommen haben, dies wird deutlich durch die vielen Werte im orangen und roten Bereich bei einer Standardabweichung von 2 bis 3,5. Insgesamt lässt sich im Vergleich zu den ganzjährigen Daten sagen, dass die Temperaturabweichung zu wärmeren Temperaturen in der Zusammenstellung der Sommermonate stärker in den Vordergrund rückt. Beim Vergleich der kalten Bereiche ist zu sagen, dass diese in der Darstellung der Sommermonate weniger stark vertreten sind. Für einen Vergleich der berechneten Gaußkurven der ganzjährigen Daten und der der Sommermonate, werden die Gaußkurven für die Sommermonate in folgender Abbildung 12 dargestellt.

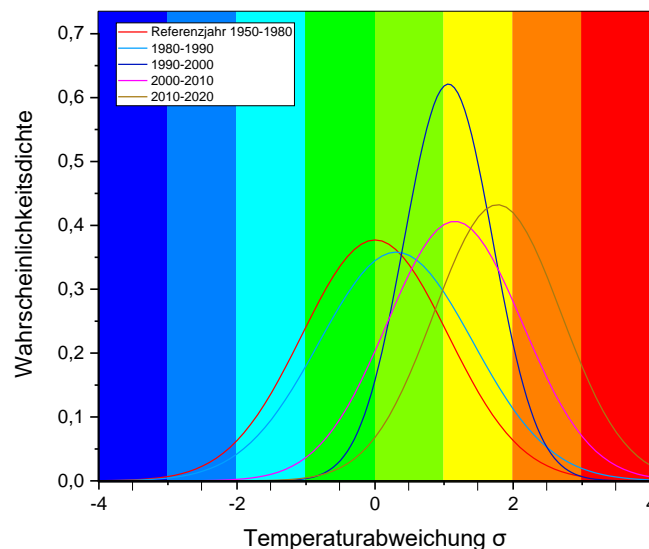


Abbildung 12: Darstellung aller berechneten Gaußkurven der Temperaturanomalie der Stadt Trier für die Sommermonate ab dem Referenzjahr 1950-1980 (rot). Die blaue Gaußkurve zeigt das Jahrzehnt 1980-1990, die rosa Kurve das Jahrzehnt 1990-2000, in dunkelblau ist das Jahrzehnt 2000-2010 dargestellt und in braun das Jahrzehnt 2010-2020.

Ein Vergleich der Abbildung 9 mit Abbildung 12 zeigt, dass auch in den Sommermonaten ein ähnlicher Trend wie bei den ganzjährigen Daten zu verzeichnen ist. Nach den Referenzjahren kommt es ebenfalls bei den Sommermonaten zu einer deutlichen Verschiebung der Gaußkurven hin zu wärmeren Temperaturextremen.

4.2.2. Auswertung der Wintermonate (November, Dezember, Januar)

Zur Auswertung der Wintermonate werden zunächst ebenfalls die Referenzjahre und anschließend die vier Dekaden ab 1980 bis 2020 in jeweils einem Diagramm dargestellt.

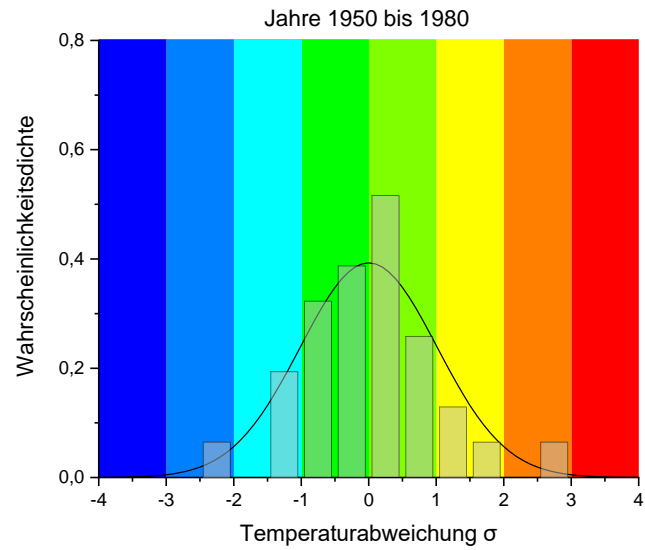


Abbildung 13: Darstellung der Temperaturanomale der Referenzjahre 1950-1980 der Wintermonate. Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung.

Es fällt auf, dass sogar in den Referenzjahren schon vereinzelt warme Winter vorhanden waren, jedoch nicht so ausgeprägt, wie im Folgenden in Abbildung 14 zu erkennen ist.

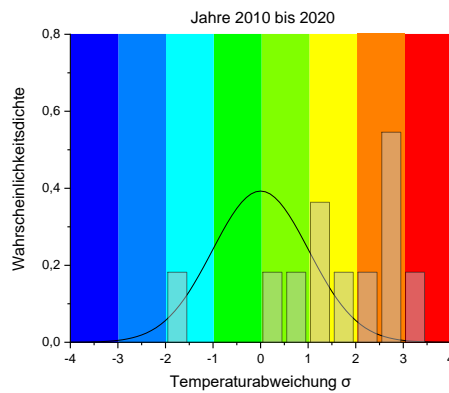
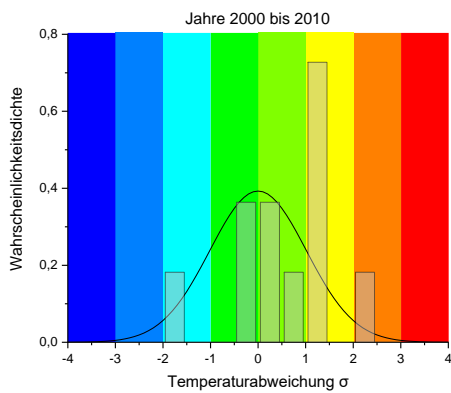
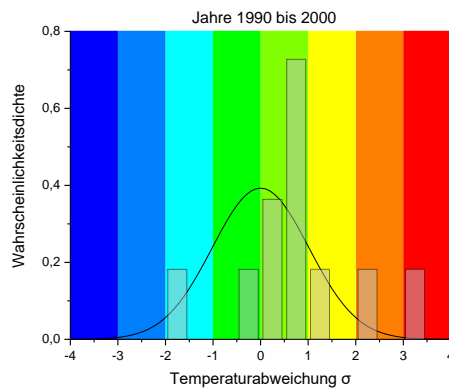
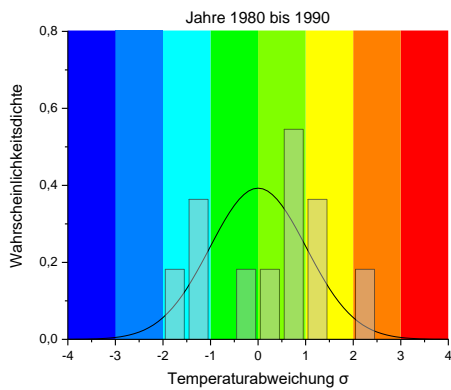


Abbildung 14: Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung in Einheiten der Standardabweichung der Wintermonate. Oben links für das Jahrzehnt 1980-1990, oben rechts für 1990-2000, unten links für 2000-2010 und unten rechts für das Jahrzehnt 2010-2020.

Abbildung 14 zeigt eine Zusammenstellung der Wintermonate nach den Referenzjahren 1950-1980, beginnend mit dem Jahrzehnt 1980-1990. Ersichtlich ist direkt die unsymmetrischere Verteilung in Relation zu den Referenzjahren (siehe Abbildung 13). Alle Balken des Histogramms weichen deutlich von der berechneten Gaußfunktion ab. Die Balken in dem blauen Bereich weisen eine größere Intensität auf, was für eine höhere Wahrscheinlichkeit von kalten Wintern zur Folge hat. Gleichzeitig sind aber auch die Intensitäten der Balken in dem gelben und orangen Bereich gestiegen. Eine deutlichere Umverteilung der Wahrscheinlichkeiten für kalte oder warme Winter ist in dem darauffolgenden Jahrzehnt, 1990-2000, zu erkennen. In den warmen Bereichen um eine Standardabweichung von 2 bis 3 sind mehr Werte zu verzeichnen. Auf der anderen Seite sind die Wahrscheinlichkeiten für kalte Winter weniger stark vertreten als im Jahrzehnt zuvor. In den normalen Bereichen (grün und gelb) ist ebenfalls ein Anstieg der Intensitäten zu verzeichnen. Der Trend zu wärmeren Extremen wird in den letzten beiden Jahrzehnten nochmals verstärkt, die Intensitäten der Balken in den grünen, gelben, orangenen und roten Bereichen verzeichnen deutliche Änderungen, wohingegen die Anomalie in den kalten, blauen Bereichen nahezu unverändert bleibt. Für die berechneten Gaußkurven aller Jahrzehnte der Wintermonate hat dies zur Folge, dass der Verlauf der Funktion immer breiter wird, was einer größeren Verteilung der Anomalie zuzuordnen ist und gleichzeitig auch eine Verschiebung zu wärmeren Wintern erfolgt. In Abbildung 15 sind die berechneten Gaußkurven der Wintermonate dargestellt.

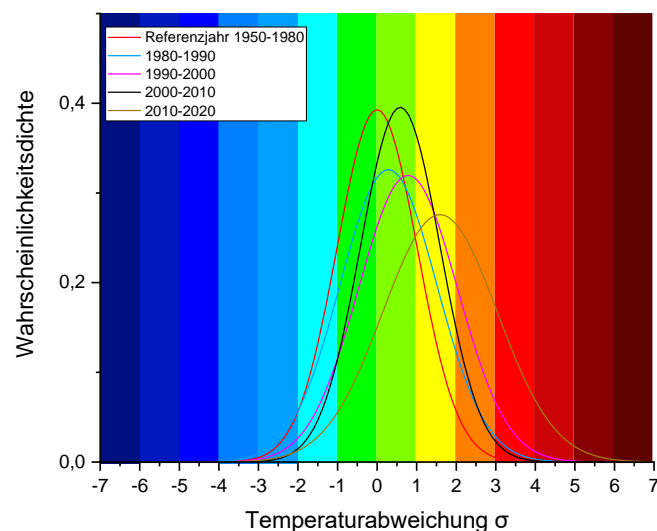


Abbildung 15: Darstellung aller berechneten Gaußkurven der Temperaturanomalie der Stadt Trier für die Wintermonate ab dem Referenzjahr 1950-1980 (rot). Die blaue Gaußkurve zeigt das Jahrzehnt 1980-1990, die rosa Kurve das Jahrzehnt 1990-2000, in dunkelblau ist das Jahrzehnt 2000-2010 dargestellt und in braun das Jahrzehnt 2010-2020.

5. Zusammenfassung

Die Auswertung der ganzjährigen Temperaturdaten der Stadt Trier zeigt, dass im Laufe der Jahrzehnte die Wahrscheinlichkeit für immer wärmere Temperaturen gestiegen ist. Es ist an dieser Stelle jedoch anzumerken, dass vereinzelt eine Dichte an kalten Extremen auftritt, diese jedoch in Relation zu der Dichte an heißen Extremen vernachlässigbar klein ist. Dies wurde deutlich bei der detaillierteren Betrachtung der Sommer- und Wintermonate. Die Sommermonate weisen heiße Extreme mit sehr hoher Dichte bei Standardabweichungen von 3 bis 4 auf, wodurch die negativen Auswirkungen auf die Natur und das Leben auf der Erde erhöht werden. Auch die Wintermonate nehmen eine besondere Rolle ein. Obwohl in allen Jahrzehnten kalte Winter zu erwarten waren, so ist die Wahrscheinlichkeit der warmen Winter jedoch deutlich größer. Dies verstärkt zunehmend den allgemeinen Trend des Klimawandels hin zu einer immer höheren Durchschnittstemperatur. Allerdings ist eine Aussage zum Vergleich der Temperaturanomalie der Stadt Trier mit der globalen Anomalie nicht möglich, da extreme meteorologische Phänomene innerhalb der Stadt Trier deutlich größere Auswirkungen auf die Verteilung haben könnten als in der Betrachtung der globalen Anomalie. Bei der Betrachtung der globalen Anomalie steht eine deutlich höhere Anzahl an Messdaten zur Verfügung, sodass vereinzelte Extreme in der Breite der Masse an Daten untergehen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung von Klimazonen auf der Erde, in rot die Tropen, in gelb die Subtropen, in grün die Mittelbreiten bzw. die gemäßigte Zone, in hellblau die subpolare Zone und in dunkelblau die polare Zone. ⁸	4
Abbildung 2: Auftragung der Durchschnittstemperaturen der in Trier gelegenen Wetterstationen Petrisberg (links) und Zewen (rechts) gegen das Jahr.	7
Abbildung 3: Auftragung der gemittelten historischen Temperaturdaten der beiden Wetterstation Petrisberg und Zewen gegen das Jahr.....	8
Abbildung 4: Auftragung der Temperaturanomalie der gemittelten Durchschnittstemperaturen gegen das Jahr. Die rote waagerechte Linie steht für eine Temperaturanomalie mit einem Wert von 0 und dafür, dass die Werte nicht von dem Mittelwert des Referenzzeitraums abweichen. So ist besser zu erkennen, wie die restlichen Werte um den Mittelwert des Referenzzeitraums variieren.....	9
Abbildung 5: Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Dargestellt sind jeweils zwei Dekaden der ganzjährigen Temperaturdaten ab 1860 bis 1940. Oben links sind die Dekaden 1860-1880 aufgetragen, oben rechts die Dekaden 1880-1900, unten links die Jahre 1900-1920 und unten rechts die beiden Dekaden 1920-1940.	10
Abbildung 6: Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Abgebildet ist das Referenzjahr 1950-1980.....	11
Abbildung 7:Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Dargestellt sind die zwei Dekaden der ganzjährigen Temperaturdaten von 1980-1990 (links) und von 1990-2000 (rechts).....	12
Abbildung 8:Darstellung der Temperaturanomalie der Stadt Trier als Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Standardabweichung. Dargestellt sind die zwei Dekaden der ganzjährigen Temperaturdaten von 2000-2010 (links) und von 2010-2020 (rechts).....	13
Abbildung 9: Darstellung aller berechneten Gaußkurven der Temperaturanomalie der Stadt Trier der ganzjährigen Daten ab dem Referenzjahr 1950-1980 (rot). Die hellblaue Gaußkurve zeigt das Jahrzehnt 1980-1990, die rosa Kurve das Jahrzehnt 1990-2000, in dunkelblau ist das Jahrzehnt 2000-2010 dargestellt und in braun das Jahrzehnt 2010-2020.	13

Abbildung 10: Darstellung der Temperaturanomalie der Referenzjahre 1950-1980 der Sommermonate. Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung.	14
Abbildung 11: Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung in Einheiten der Standardabweichung der Sommermonate. Oben links für das Jahrzehnt 1980-1990, oben rechts für 1990-2000, unten links für 2000-2010 und unten rechts für das Jahrzehnt 2010-2020.	15
Abbildung 12: Darstellung aller berechneten Gaußkurven der Temperaturanomalie der Stadt Trier für die Sommermonate ab dem Referenzjahr 1950-1980 (rot). Die blaue Gaußkurve zeigt das Jahrzehnt 1980-1990, die rosa Kurve das Jahrzehnt 1990-2000, in dunkelblau ist das Jahrzehnt 2000-2010 dargestellt und in braun das Jahrzehnt 2010-2020.	16
Abbildung 13: Darstellung der Temperaturanomalie der Referenzjahre 1950-1980 der Wintermonate. Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung.	17
Abbildung 14: Auftragung der Wahrscheinlichkeitsdichte gegen die Temperaturabweichung in Einheiten der Standardabweichung der Wintermonate. Oben links für das Jahrzehnt 1980-1990, oben rechts für 1990-2000, unten links für 2000-2010 und unten rechts für das Jahrzehnt 2010-2020.	17
Abbildung 15: Darstellung aller berechneten Gaußkurven der Temperaturanomalie der Stadt Trier für die Wintermonate ab dem Referenzjahr 1950-1980 (rot). Die blaue Gaußkurve zeigt das Jahrzehnt 1980-1990, die rosa Kurve das Jahrzehnt 1990-2000, in dunkelblau ist das Jahrzehnt 2000-2010 dargestellt und in braun das Jahrzehnt 2010-2020.	18

Literaturverzeichnis

- [1] C. Werndl, *The British Journal for the Philosophy of Science* **2016**, 67, 337.
- [2] Julius von Hann, *Handbuch der Klimatologie*, J. Engelhorn, Stuttgart, **1883**.
- [3] World Meteorological Organization (WMO), "Häufig gestellte Fragen (FAQs). Was ist Klima?", zu finden unter <https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>.
- [4] Deutscher Wetterdienst DWD, "Wetter- und Klimalexikon. Klima".
- [5] Phoenix von ARD und ZDF, "Definition Klima. Dossier "Unser Klima"", zu finden unter <https://www.phoenix.de/themen/dossiers/definition-klima-a-140057.html>.
- [6] W. Köppen, R. Geiger, *Handbuch der Klimatologie*, Gebrüder Borntraeger Berlin, **1930**.
- [7] M. Croci-Maspoli, F. Essl (Hrsg.) *Biodiversität und Klimawandel*. Seite 5-6, Springer, **2013**.
- [8] *Heimat und Welt Universalatlas*. Seite 174, Westermann, **2019**.
- [9] M. Voss, *Der Klimawandel*, Springer, **2010**.
- [10] care wirkt. weltweit, "Klimawandel. Definition, Ursachen, Folgen", zu finden unter <https://www.care.de/care-hilfe/themen/klimawandel>.
- [11] S. Rahmstorf, H. J. Schellnhuber, *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*, CH Beck, **2012**.
- [12] Deutscher Wetterdienst DWD, zu finden unter <https://cdc.dwd.de/portal/202102121428/mapview>.