

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Meteorologie (BOKU Met)
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt (WAU)
Peter-Jordanstr. 82, 1190 Wien



Klimacharakteristik von Wien

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Diplom-Ingenieur“

Verfasser:

Heidler Stephan, BSc.

Studienrichtung:

427 Umwelt- und Bioressourcenmanagement

Begutachterinnen und Betreuerinnen:

O.Univ.Prof. Dr.phil. Kromp-Kolb Helga

Ass.Prof. Dr. Formayer Herbert

Wien, Dezember 2015

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	2
1.1. Problemstellung	4
1.2. Ziel und Aufbau der Arbeit.....	7
2. Beschreibung der Stadt Wien.....	8
3. Messnetz Österreichs	10
3.1. Messstationen in Wien.....	10
4. Methodik	12
5. Ergebnisse	15
5.1. Lufttemperatur.....	15
5.1.1.Allgemeine Kennzahlen	15
5.1.2.Energetische Kennzahlen	23
5.1.3.Bioklimatische Kennzahlen	26
5.1.4.Innerstädtischer Vergleich	32
5.2. Niederschlag	35
5.2.1.Allgemeine Kennzahlen	35
5.3. Globalstrahlung	40
5.3.1.Allgemeine Kennzahlen	41
5.4. Sonnenscheindauer	46
5.4.1.Allgemeine Kennzahlen	47
5.5. Luftfeuchtigkeit.....	49
5.5.1.Allgemeine Kennzahlen	50
5.5.2.Dampfdruck	52
5.5.2.1. Allgemeine Kennzahlen.....	53
6. Diskussion.....	55
6.1.1.Lufttemperatur	56
6.1.2.Niederschlag.....	64
6.1.3.Globalstrahlung	68
6.1.4.Sonnenscheindauer.....	70
6.1.5.Relative Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck.....	73
6.2. Klimacharakteristik Wiens von 1989	77
7. Fazit	78
8. Literaturverzeichnis	79
9. Abbildungsverzeichnis	85
10. Tabellenverzeichnis	89

11. Formelverzeichnis	91
12. Anhang	92

Zusammenfassung

Das Thema Klimawandel wird in den kommenden Jahren nicht nur auf globaler Ebene, sondern auch in Österreich einen immer wichtigeren Stellenwert in der Gesellschaft einnehmen. Ein vermehrtes Vorkommen von Extremwetterereignissen oder die Verschiebung von kälteren zu höheren Temperaturniveaus sind nur einige Veränderungen die uns erwarten. Auch im urbanen Lebensraum kann man von einem zukünftigen Wandel des Stadtklimas ausgehen, welcher besonders durch Bebauungsmaßnahmen beeinflusst wird.

Ziel dieser Arbeit ist es, Änderungen von meteorologischen Kennzahlen von 1951 bis 2010 im Stadtgebiet Wien aufzuzeigen. Dabei wurden mit Hilfe von Wetterrohdaten von vier Wetterstationen statistische Parameter im Programm Microsoft Excel berechnet und in Grafiken und Tabellen übersichtlich abgebildet. Es stellte sich heraus, dass sich vor allem die Lufttemperatur in den letzten Jahrzehnten stark verändert hat. Jene umfangreiche Darstellung der Entwicklung von fünf Wetterparametern soll dabei helfen, die gegenwärtige Lage des Stadtklimas Wiens besser zu verstehen und die dadurch erlangten Erkenntnisse in der zukünftigen Stadtplanung zu beachten.

Summary

Climate change is receiving increased attention world-wide, and awareness of this critical environmental issue is also expected to rise further in Austria. Phenomena such as the growing occurrence of extreme weather conditions or the ongoing shift towards warmer temperature levels are only a few of the changes that society is likely to experience more often in the near future. It is, for example, expected that the average temperature in urban environments will be rising due to factors such as architectural development measures.

The aim of this diploma thesis is to illustrate changes in the meteorological data of Vienna from 1951 to 2010. For this purpose, raw data from four different local weather stations was gathered and used to create statistical parameters with the help of Microsoft Excel.

The key findings of this study show that the average air temperatures in Austria's capital city have, in fact, strongly changed over the last decades. A detailed parameter analysis seeks to contribute to our understanding of the status quo of Vienna's city climate. The knowledge thereby gained might be of particular use the field of urban planning, when implementing new projects.

1. Einleitung

Im Jahr 1955 erschien der erste von insgesamt drei Teilen der Arbeit "Klima und Bioklima von Wien". Es wurden langjährige Wetteraufzeichnungen, die bis ins Jahr 1775 zurückreichen, in zusammengefassten und übersichtlichen Tabellen abgebildet. Die untersuchten Parameter waren Lufttemperatur, Bewölkung, Niederschlag, Luftdruck und Sonnenscheindauer. Dabei lag der Fokus auf der Darstellung von statistischen Größen, wie Mittelwerten oder Häufigkeitsverteilungen.

Sinn und Zweck der vorliegenden Arbeit war es, einen Vergleich der Ergebnisse mit Daten anderer Standorte heranziehen zu können und, dass die Resultate in der Praxis, wie zum Beispiel in der Bautechnik, Industrie oder anderen Teilen der Wirtschaft, von Nutzen sein können (Eckel et. al., 1955).

Knapp 35 Jahre später, im Jahr 1989, erschien die von den Doktoren Ingeborg Auer, Reinhard Böhm und Hans Mohnl erstellte Forschungsarbeit "Klima von Wien - Eine anwendungsorientierte Klimatographie". Jene Arbeit stellt eine umfangreichere Fortsetzung der Arbeit aus dem Jahr 1955 dar. Die Parameter wurden, anders als in der letzten Auflage, differenzierter untersucht und Wetteraufzeichnungen von mehreren Wetterstationen (z.B.: 15 Standorte beim Parameter Lufttemperatur) wurden mit einbezogen. Präsentiert wurden die Ergebnisse nicht nur in Tabellenform, sondern auch in Abbildungen und Karten.

Somit kann diese Arbeit als eine umfang- und inhaltsreiche Klimakartographie von Wien angesehen werden. Auf Überschaubarkeit und Verständlichkeit der Ergebnisse legten die Autoren viel Wert, wodurch der Inhalt für bestimmte Interessensgruppen, wie Techniker, Baustoff- oder Energieexperten einfach zugänglich gemacht wurde.

Auch für den öffentlichen Bereich schätzte man den Nutzen der Ergebnisse hoch ein, vor allem für die Stadtplanung und den Umweltschutz (Auer et. al., 1989).

Im Jahr 2015, zirka 25 Jahre nach der Veröffentlichung jener Klimakartographie Wiens, ist das Thema Klimawandel in der Öffentlichkeit ein präsent Thema, welches immer mehr an Aufmerksamkeit gewinnt. Allein letztes Jahr (2014) war im Bereich der Klimaforschung eine ereignisreiche Phase. Sowohl der fünfte Sachstandbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), als auch der erste österreichische Sachstandbericht zum Klimawandel im Herbst 2014 wurden publiziert. Das Ziel jenes Berichtes ist, ähnlich wie beim IPCC-Bericht, die Auswirkungen des Klimawandels auf Österreich darzustellen, daraus entstehende Folgen aufzuzeigen und mögliche Anpassungs- bzw. Vermeidungsstrategien vorzustellen (APCC, 2014).

Die aus dem österreichischen Sachstandbericht stammende Grafik (Abbildung 1) zeigt den österreichischen und globalen Verlauf der mittleren jährlichen Lufttemperatur. Es ist zu erkennen, dass sich die durchschnittliche Lufttemperatur Österreichs stark erhöht hat (seit

1880 um knapp 2°C gestiegen) und, dass das globale Mittel der Lufttemperaturanomalie (rote Linie) seit zirka 1985 deutlich unter dem österreichischen Mittel (schwarze Linie) liegt.

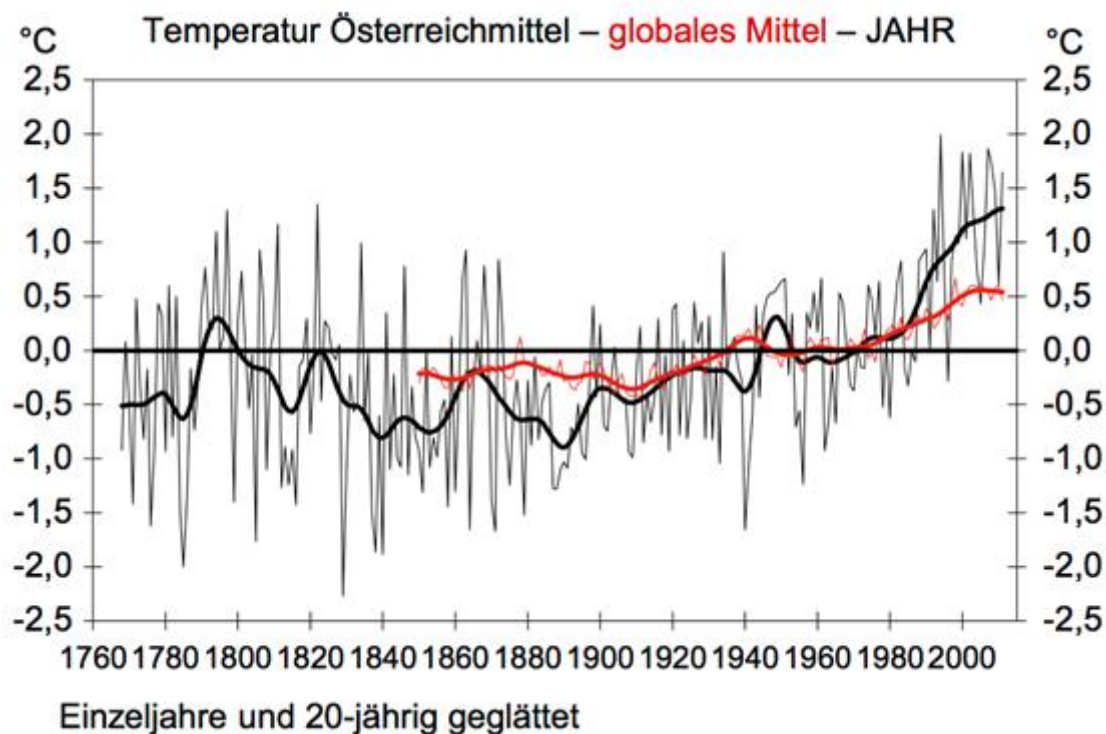


Abbildung 1: Langjähriger österreichischer (1768-2011) und globaler (1850-2011) Verlauf der mittleren Lufttemperatur, in °C, Quelle: APCC, 2014a, S.268

Auch in anderen Bereichen wie zum Beispiel beim Niederschlag (Zunahme des Jahresniederschlags um 10-15% in Westösterreich in den letzten 150 Jahren), bei der Sonnenscheindauer (Zunahme der jährlichen Sonnenscheindauer um 20% in den letzten 130 Jahren) oder bei der Schneebedeckung (Abnahme der Schneebedeckung in den letzten Jahrzehnten) wurden markante Unterschiede im österreichischen Sachstandbericht festgestellt (APCC, 2014a).

Wie stark sich solche Klimaveränderungen auf Österreich auswirken können, wurde anhand einer im Jänner 2015 vom Bundesministerium für Land-, Forst, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) in Auftrag gegebenen Studie, welche die durch den Klimawandel verursachten Kosten für die österreichische Volkswirtschaft berechnet hat, verdeutlicht. Es wird davon ausgegangen, dass wenn keine Maßnahmen getroffen werden, bis ins Jahr 2050 ein jährlicher Schaden von rund 8,8 Milliarden Euro entstanden sein wird, der vor allem die Bereiche Forstwirtschaft, Tourismus und Gesundheit betrifft (BMLFUW, 2015).

Die Ergebnisse dieser Studie und des österreichischen Sachstandberichts zeigen, dass der Klimawandel nicht nur auf globaler Ebene, sondern auch in Österreich einen immer größeren Einfluss auf die Gesellschaft und Umwelt haben wird. Umso wichtiger ist es, eine

Fortsetzung der Klimacharakteristik Wiens zu erstellen, um die Entwicklung des Stadtklimas der letzten Jahrzehnte festzuhalten und übersichtlich darzustellen.

1.1. Problemstellung

Die Bundeshauptstadt Wien erreicht mit dem Gebiet Wien-Umgebung eine Einwohnerzahl von 2,6 Millionen Menschen und zeichnet sich somit als das größte Ballungszentrum Österreichs aus (Eurostat, 2015). Innerhalb des Stadtgebietes leben 1,8 Millionen Menschen, wobei nach Schätzungen der Stadt Wien (MA 23) im Jahr 2029 die Grenze von 2 Millionen Menschen überschritten werden soll (MA 23, 2015). Dieses Bevölkerungswachstum hat zu einer starken Veränderung der Landnutzung Wiens geführt. Abbildung 2 und 3 stellen zwei Karten der Zeitperioden 1764-1787 und 2007/2008 dar, in welchen die Landnutzung Wiens in Realnutzungsklassen eingeteilt und dargestellt worden ist [Baulandnutzung (1–18), Straßen und Verkehr (19–23), Grünlandnutzung (24–31) und Wasser (32)]. Werden die Karten miteinander verglichen, so ist zu erkennen, dass vor allem die Baulandnutzung 2007/2008 stark zugenommen hat. Es wird davon ausgegangen, dass in Zukunft die Baulandnutzung vor allem in südlichen und nordöstlichen Gebieten von Wien weiterhin zunehmen wird.

Jede Ausweitung der Baulandnutzung hat zur Folge, dass immer mehr Flächen versiegeln, Grünflächen abnehmen und dadurch weniger Verdunstungsflächen vorhanden sind, was zu einer durchschnittlich höheren Lufttemperatur führt als im Umland. Dies lässt sich auch anhand von Wetteraufzeichnungen feststellen: Im Zeitraum 1951-1980 war die Lufttemperatur im Stadtzentrum Wiens im Mittel um 1 bis 1,5 °C wärmer als jene der Wien-Umgebung. Die Anzahl der Sommertage (Temperaturmaximum eines Tages größer/gleich 25°C) hatte am Anfang des 20. Jahrhunderts ein Minimum von 30 Sommertagen pro Jahr. Im Zeitraum 2000 – 2010 stieg diese im Mittel auf 64 Tage pro Jahr (APCC, 2014a).

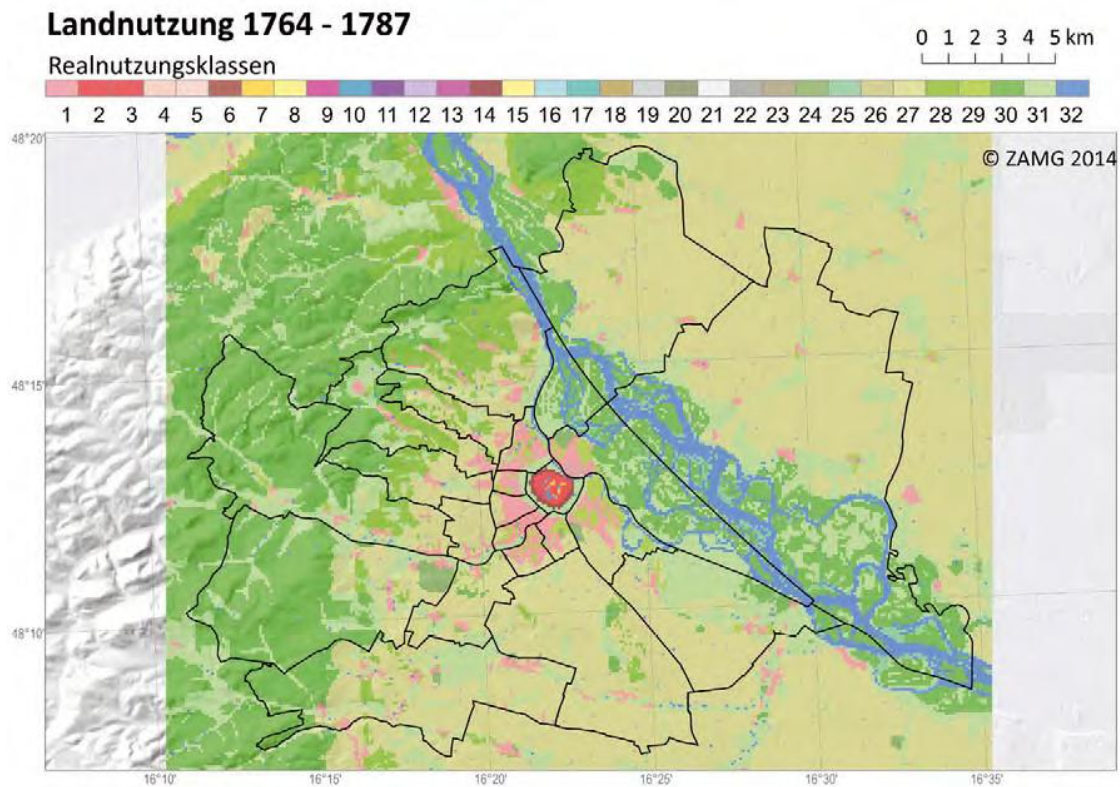


Abbildung 2: Landnutzungskarte von Wien, 1764 – 1787, Quelle: APCC, 2014a, S.361-362

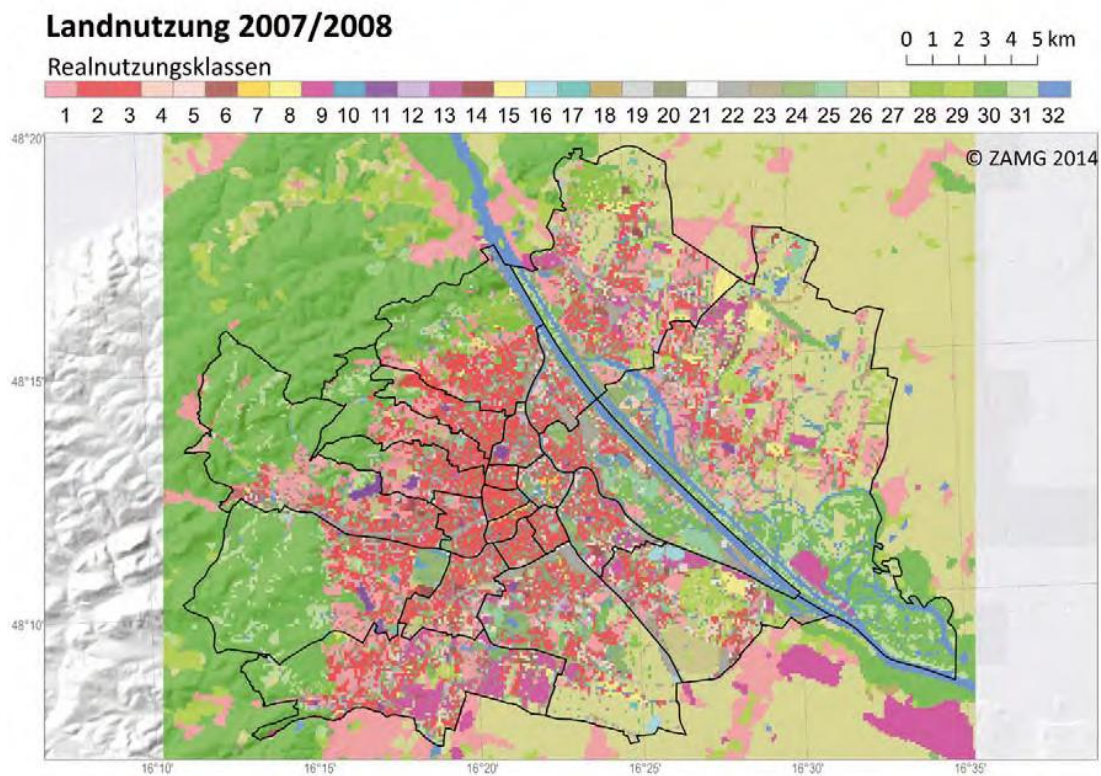


Abbildung 3: Landnutzungskarte von Wien, 2007/2008, Quelle: APCC, 2014a, S.361-362

Durch Einsatz eines Klimamodells konnte in Abbildung 4 die zukünftige Entwicklung der relativen Häufigkeit der Sommer- und Hitzetage (die maximale Temperatur eines Tages ist größer als 30 °C) während der Sommermonate eingeschätzt werden. So wird die relative Häufigkeit der Sommertage im Zeitabschnitt 2026-2049 im Vergleich zur Periode 1961-1990 um knapp 25% (von 46% auf 69%) ansteigen. Bei den Tropentagen wird eine Erhöhung um 14% (von 9,8% auf 24,1%) erwartet (Clementsitsch et. al., 2007). Anhand dieser Ergebnisse kann in Zukunft von einer stärkeren Hitzebelastung für die Stadt Wien ausgegangen werden (APCC, 2014a).

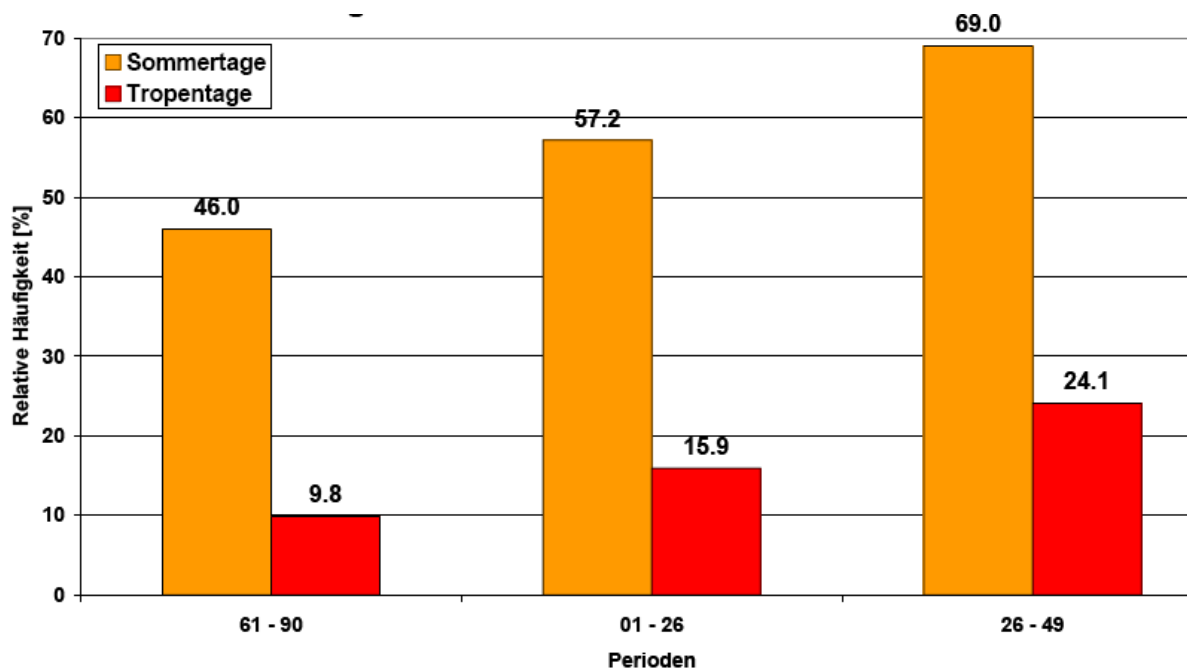


Abbildung 4: Veränderung der relativen Häufigkeit von Sommer- bzw. Hitzetage in Wien-Hohe Warte, 1961-1990, 2001-2026 und 2026-2049, Quelle: Clementsitsch et. al., 2007, S.23

Diese Bevölkerungsentwicklung und ihre einhergehenden Folgen, hat die Stadt Wien dazu veranlasst, einen Stadtentwicklungsplan (STEP 2025) in Auftrag zu geben, welcher im Jahr 2014 veröffentlicht wurde. Dieser Stadtentwicklungsplan soll eine Leitlinie der zukünftigen Raumentwicklung Wiens darstellen (MA 18, 2014). Dabei stehen wichtige Themen im Vordergrund, zum Beispiel, wie die erfolgreiche Entwicklung des öffentlichen Raumes ohne Einschränkung der Lebensqualität stattfinden kann, oder welchen Stellenwert das Thema Nachhaltigkeit in der Stadt Wien haben wird (MA 18, s.a.). Ein weiterer wichtiger Punkt darin ist der Klima- und Umweltschutz. Das Klimaschutzprogramm (KLiP), welches 1999 eingerichtet wurde, spielt dabei eine bedeutende Rolle. Das Hauptziel, bis ins Jahr 2010 die CO₂-Emissionen in Wien jährlich um 2,6 Millionen Tonnen zu reduzieren, wurde bereits im Jahr 2006 erreicht (Fellner, 2015). Jedoch werden auch in Zukunft starke Bemühungen notwendig sein um jene Umweltschutzziele Wiens aufrechtzuerhalten. Somit wurde 2009 der

zweite Teil des Klimaschutzprogrammes beschlossen, welcher sich auf den Zeitraum 2010 bis 2020 bezieht (Fellner, 2015a).

Diese Entwicklung Wiens und die dadurch notwendigen Maßnahmen machen deutlich, dass das Klima einen immer wichtigeren Stellenwert in der Stadtplanung einnimmt. Somit kann eine Analyse der Entwicklung des Klima Wiens für zukünftige Entscheidungsprozesse von Nutzen sein.

1.2. Ziel und Aufbau der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, eine aktuelle Klimacharakteristik von Wien zu erstellen und Veränderungen des Stadtklimas innerhalb der letzten Jahrzehnte aufzuzeigen. Es sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie stark und welche Klimaparameter haben sich innerhalb der letzten 60 Jahre verändert?
- Sind die Ergebnisse der Klimakartographie Wiens (1989) für gegenwärtige Anwendungen noch von Nutzen?

Die Klimakartographie Wiens aus dem Jahr 1989 dient als Vorlage für diese Arbeit. Die meisten Tabellen und Grafiken im Kapitel "Ergebnisse" stammen aus jener älteren Vorarbeit. Da die frühere Auflage eine umfangreiche Klimakartographie repräsentiert und dies den Arbeitsaufwand dieser Masterarbeit überschreiten würde, werden in dieser Publikation nur die relevantesten Klimaparameter untersucht. Dabei werden gesammelte Wetterdaten der Zeiträume 1951 bis 1980 und 1981 bis 2010 miteinander verglichen.

Im ersten Teil der Arbeit erfolgt eine allgemeine Beschreibung der Stadt Wien, wobei hier nur die wichtigsten geographischen und standortbezogenen Details erläutert werden. Es folgt eine kurze Erklärung der Funktionsweise der Wetterstationen. Anschließend wird im Kapitel Methodik die Verwendung und Verarbeitung der Wetterdaten näher beschrieben. Der Hauptteil der Arbeit bezieht sich auf die Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse. Hier werden auch verwendete Begriffe und Definitionen erklärt um ein einfacheres Verständnis zu gewährleisten. Danach folgt die Interpretation der Ergebnisse wobei auch zukünftige Entwicklungen der Parameter vorgestellt werden.

2. Beschreibung der Stadt Wien

Die Bundeshauptstadt Wien ist mit einer Fläche von zirka 415 km² das kleinste und mit einer Einwohnerzahl von zirka 1,8 Millionen Einwohner das am dichtesten besiedelte Bundesland Österreichs. Durch seine günstige geographische Lage im nordwestlichen Gebiet des Wiener Beckens und den nordöstlichen Ausläufern der Alpen liegend, konnte sich die Stadt Wien zu einer modernen und fortschrittlichen Stadt Mitteleuropas entwickeln (N.N., 2001).

Der tiefste Punkt Wiens liegt in der Lobau auf 151 Meter Seehöhe, der höchste auf dem Hermannskogel mit 543 Meter Seehöhe (MA 23, 2015a). Ein Hauptkennzeichen Wiens sind seine öffentlichen Grünflächen: Verglichen mit anderen europäischen Großstädten hat Wien den größten Anteil. Dabei nimmt dieser Grünflächenanteil vom Zentrum der Stadt (3-13%) bis in die westlichen Außenbezirke (bis zu 70%) zu (MA 23, 2015b).

Das Klima von Wien kann man als Übergangsklima bezeichnen, es wird sowohl von westlichen ozeanischen Einflüssen als auch von östlichen kontinentalen Einflüssen bestimmt (N.N., 2001). Charakterisiert man das Klima Wiens nach seiner geographischen Lage, dann kann es als Teil der pannonischen Klimaprovinz angesehen werden. Kennzeichen ein solches Klimas sind große Temperaturunterschiede, genauer gesagt, sind die Sommer wärmer und die Winter kälter als in anderen Gebieten Österreichs. Eine weitere Eigenschaft ist das Vorkommen von geringen Niederschlagsmengen, was vor allem im Sommer zu längeren Trockenperioden führen kann (Conrad et. al., 2005).

Das Klimadiagramm von Wien (Abbildung 5) stellt den Jahresverlauf der Lufttemperatur und der Niederschlagssumme dar. Auffallend ist, dass die Niederschlagssummen in den Wintermonaten zwischen 35 und 50 mm betragen und somit um 20 mm geringer sind als in den Sommermonaten.

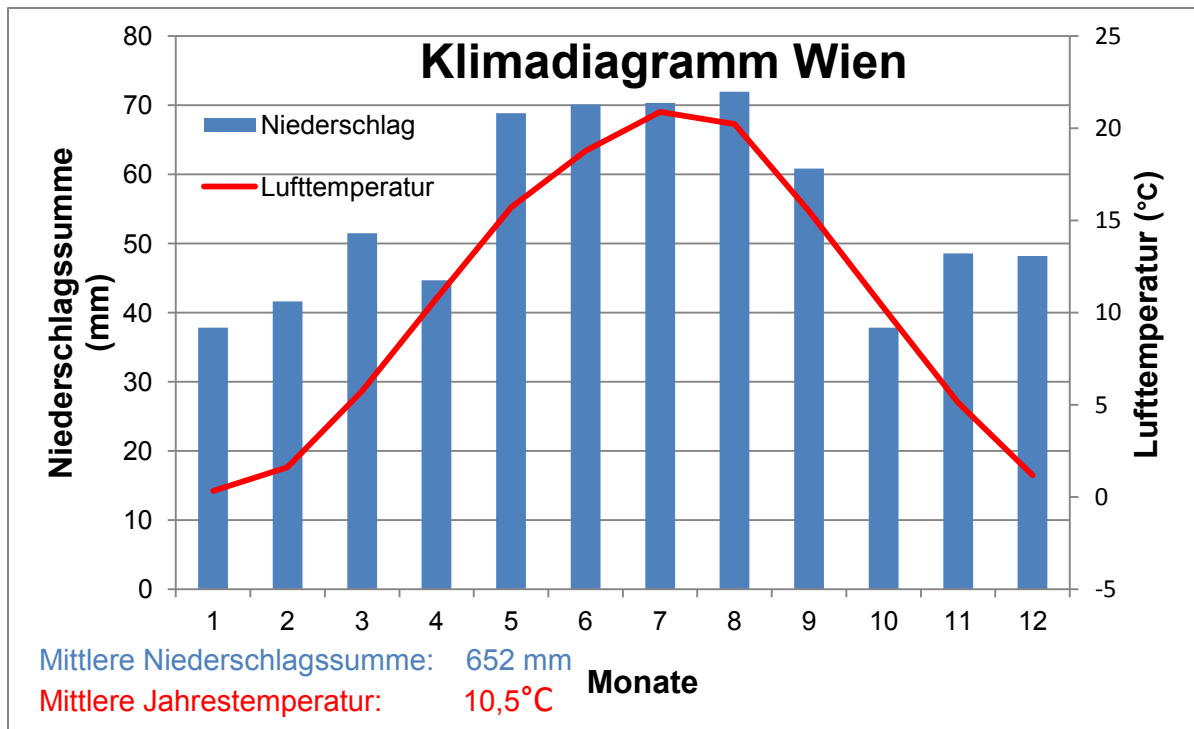


Abbildung 5: Klimadiagramm von Wien, Station Hohe Warte, Datensatz: 1981-2010, in mm und °C, eigene Darstellung

3. Messnetz Österreichs

Die in dieser Arbeit verwendeten Messstationen Hohe Warte, Mariabrunn, Innere Stadt und Groß Enzersdorf sind Teil der insgesamt 250 teilautomatisierten Wetterstationen (TAWES) Österreichs (ZAMG, 2015). In diesen Wetterstationen werden Tag und Nacht die wichtigsten meteorologischen Parameter wie Lufttemperatur, Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung oder Sonnenscheindauer mit Hilfe von Sensoren automatisch festgehalten. Dabei werden diese aufgezeichneten Wetterdaten alle 10 Minuten an die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) übermittelt. Jene Daten werden dann für Wettervorhersagen und in Klimaaufzeichnungen verwendet, zusätzlich sind TAWES im Gebiet der Umweltmeteorologie hilfreich (ZAMG, 2015a).

Um jene Wettervorhersagen und Klimaforschungen präzise und zuverlässig zu gestalten, ist die Vollständigkeit und hohe Qualität der Wetterdaten erforderlich. Ab dem Jahr 1970 wurden Lochkarten verwendet um die analogen Wetterdaten zu digitalisieren, jedoch wurden zu dieser Zeit noch keine Datenüberprüfungen durchgeführt. Erst 1984 sind die notwendigen Qualitätsstandards eingeführt worden (ZAMG, 2015b). Durch das Projekt "Climate Data Rescue" (CDR), welches die Aufgabe hat die Digitalisierung, Kontrolle und Verbesserung von historischen Datensätzen (von 1872 bis 1983) sicherzustellen, konnten einheitliche und verlässliche Datensätze generiert werden, welche als Ausgangspunkt für Klimamodellvalidierungen, statistische Auswertungen und Klimakartographien dienen (Jurkovic, 2012).

3.1. Messstationen in Wien

In Abbildung 6 wird eine Satellitenaufnahme der Stadt Wien wiedergegeben. Dabei veranschaulichen die vier markierten Punkte die ungefähren Standorte der Wetterstationen Mariabrunn (westlichster Punkt), Hohe Warte (nördlichster Punkt), Groß Enzersdorf (östlichster Punkt) und Innere Stadt (zentralster Punkt) welche als Datenquellen für diese Arbeit dienen. Die speziellen Eigenschaften des Stadtklimas, wie die Hitzebelastung in den Sommermonaten oder den Einfluss des Heizens auf die Lufttemperatur in den Wintermonaten wird anhand der Werte der Lufttemperatur der Station Innere Stadt verdeutlicht. Leider sind von dieser zentralliegenden Station nur die Werte der Lufttemperatur verfügbar.

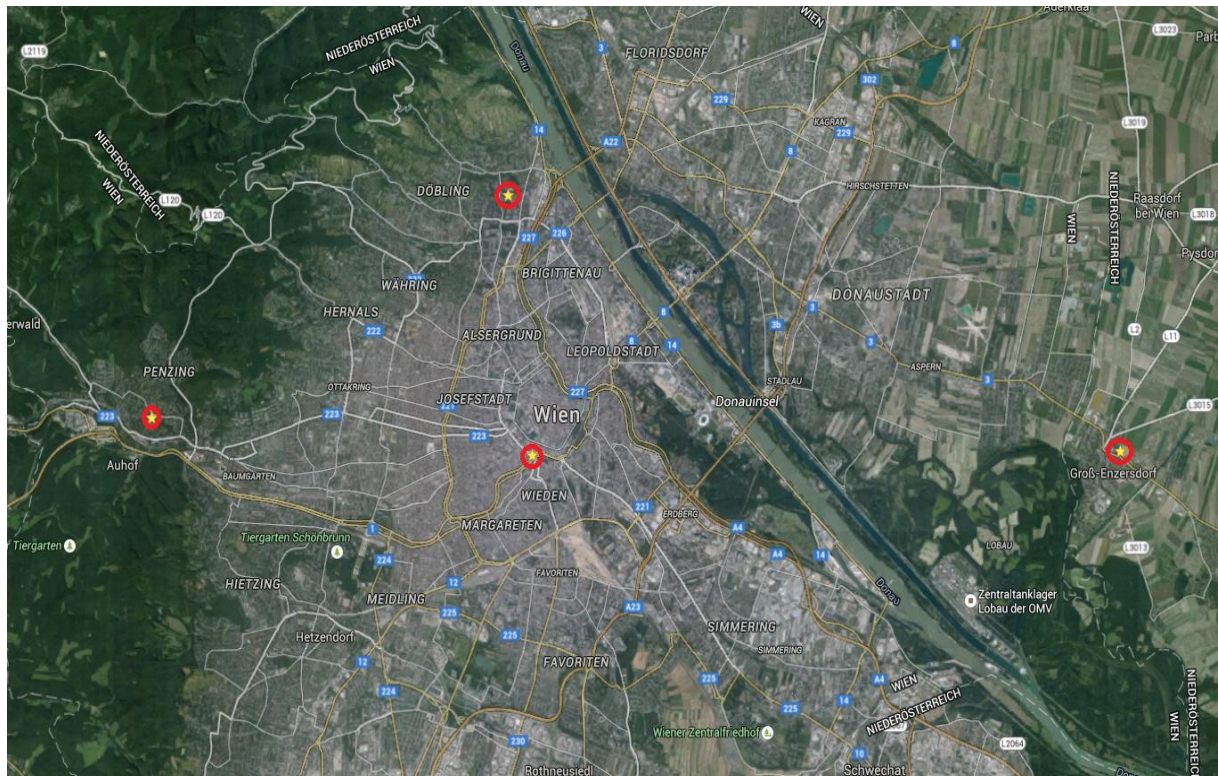


Abbildung 6: Karte von Wien mit eingezeichneten Wetterstationen, Quelle: Google Maps (bearbeitet)

4. Methodik

Die Grundlage dieser Arbeit sind die historisch von der ZAMG aufgezeichneten Wetterdaten. Die erste Aufgabe bestand darin, diese Klimarohdaten in einer geordneten Form im Microsoft Programm Excel darzustellen. Diese wurden nach folgendem Schema strukturiert:

- Art des Klimaparameters

(Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung)

- Messstationen

(Wien-Hohe Warte, Wien-Mariabrunn, Wien-Innere Stadt und Wien-Groß Enzersdorf)

- Untersuchungszeitraum

(1951-1980 und 1981-2010)

Dabei wird jede Messstation in zwei Untersuchungszeiträume unterteilt, welche wiederum jeweils diese fünf Parameter beinhaltet. Durch die Unterteilung in zwei Perioden war es möglich, Entwicklungen und Veränderungen von 1951 bis 2010 besser aufzuzeigen. Die Auswahl der oben genannten fünf Parameter hatte zwei Gründe: Es handelte sich um vollständige Datensätze (Bezogen auf die Station Hohe Warte) und sie stellen aussagekräftige Größen dar, um die Klimaentwicklung Wiens aufzuzeigen.

Es war geplant, dass insgesamt fünf Wetterstationen mit je sieben Parametern die Datengrundlage der Arbeit bilden sollen. Bei zwei der fünf Wetterstationen (Wien-Innere Stadt und Wien-Donaufeld) waren nur Datensätze der Zeiträume 1981 bis 2010 bzw. 1996 bis 2010 vorhanden. Somit konnte mit diesen Stationen kein Vergleich der zwei Perioden (1951-1980 und 1981-2010) unternommen werden. Jedoch wurde die Station Innere Stadt beim Parameter Temperatur, trotz der fehlenden Daten von 1951-1980, in diese Arbeit aufgenommen. Dadurch ist zwar kein Vergleich der beiden Untersuchungszeiträume möglich, aber es konnte ein Vergleich des Temperaturniveaus vom Stadtzentrum und Stadtrand durchgeführt werden.

Die Parameter Schneehöhe und Wind wurden ebenfalls nicht untersucht. Der Parameter Schneehöhe wies zu viele Fehlwerte auf, wodurch die vorhandenen Daten nicht ausgereicht hätten um brauchbare Ergebnisse zu generieren. Beim Parameter Wind hätte es zwar genügend Daten gegeben, jedoch sind drei Messstationen nicht ausreichend um die daraus entstandene Ergebnisse auf die ganze Stadt zu projizieren. Da der Parameter Wind eine sehr standortabhängige Größe darstellt, könnte sie nur durch Miteinbeziehung weiterer Messstationen aussagekräftig genug sein. Das würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Nachdem die Sortierung dieser Daten im Excel abgeschlossen war, wurden sie auf ihre Vollständigkeit kontrolliert. Nur bei der Station Hohe Warte war ein durchgehender Datensatz vorhanden. Bei den Stationen Mariabrunn und Groß Enzersdorf wurden vor allem bei den Parametern Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung Datenlücken festgestellt.

Im nächsten Schritt wurde die Richtigkeit des Datensatzes überprüft. Die in der Einleitung erwähnte Arbeit "Klima von Wien" aus dem Jahr 1989 stellte sich hierbei als nützlich heraus. Jene Arbeit enthielt einige Tabellen und Grafiken, deren Daten von der Station Hohe Warte und teilweise auch von den Stationen Mariabrunn und Groß Enzersdorf stammen und sich auf den Zeitraum 1951-1980 beziehen. Somit war es möglich, jene Tabellen und Grafiken mit Hilfe des eigenen Datensatz zu erstellen um anschließend einen Vergleich anzustellen. Grundsätzlich stimmten die Ergebnisse überein, trotzdem gab es teilweise geringe Unterschiede. Grund dafür ist, dass die Darstellungen der älteren Arbeit auf Stundenwertebasis und jene dieser Arbeit auf Tageswertebasis beruht. Somit wurde deutlich, dass die Berechnungen dieser Arbeit auf Stundenwertebasis stattfinden sollten, um genauere Ergebnisse zu bekommen. Jedoch sind nur bei der Station Hohe Warte vollständige Stundendatensätze vorhanden, weswegen die meisten Analysen dieser Arbeit sich auf diese Station beziehen.

Um einen Überblick zu schaffen, welche Abbildungen und Tabellen für diese Arbeit berechnet worden sind und im Ergebnisteil vorgestellt und erklärt werden, wird in Tabelle 1 eine Auflistung jener dargestellt. Die Abbildungen und Tabellen der Größen Sonnenscheindauer, relative Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck fallen unter die Kategorie "Alle Parameter". Die anderen Größen wurden extra aufgelistet, da hier spezielle Abbildungen und Tabellen erstellt worden sind.

Beim langjährigen Verlauf (1951-2010) der einzelnen Parameter wurden lineare Trendlinien eingefügt um die Entwicklungsrichtung der jeweiligen Größe darzustellen. Diese Linien stellen somit nur eine grobe Schätzung dar und sind nicht für die exakte Darstellung der Größenentwicklung zuständig. Die 12-jährig gemittelten Linien stellen den Verlauf genauer dar.

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten Abbildungen und Tabellen der Größen Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung sowie Allgemeine, eigene Darstellung

Tabellen
Alle Parameter
Statistische Parameter (Mittelwert, Streuung, Extremwerte, etc.)
Häufigkeitsverteilung in Perzentildarstellung
Temperatur
Eintrittszeiten von Früh- und Spätfröste
Statistische Parameter bioklimatisch relevanter Größen
Mittlere Heizgradetagszahl und mittlere Zahl von Heiztagen
Niederschlag
Mittlere, größte und kleinste Niederschlagssummen
Länge von Niederschlagsereignissen für unterschiedliche Dauerstufen und Jährlichkeiten

Abbildungen
Alle Parameter
Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte bzw der Jahressummen (1951-2010)
Jahresgang der Mittel- und Extremwerte
Relative Häufigkeitsverteilung der Mittel- und Extremwerte
Temperatur
Mittlere jährliche Lüftungs- und Kühlgradstunden
Langjähriger Verlauf der bioklimatischen Größen (1951-2010)
Niederschlag
Anzahl von Tagen pro Jahr mit einer bestimmten Mindestniederschlagssumme
Globalstrahlung
Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen der Globalstrahlung

5. Ergebnisse

Die in Excel berechneten Kennzahlen werden in diesem Teil der Arbeit in Grafiken und Tabellen übersichtlich abgebildet und erklärt. Dabei wird der Fokus auf jene Berechnungen gelegt, bei welchen markante Unterschiede zwischen den zwei Zeiträumen festgestellt worden sind. Zusätzlich wird auf die unterschiedliche Qualität zwischen Stunden- und Tageswerten und das Vorkommen von Ausreißern hingewiesen.

5.1. Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist definiert als ein Maß für den Wärmezustand eines Luftvolumens. Dabei wird kinetische Energie gemessen die durch Bewegung von Molekülen erzeugt wird. Je schneller sich die Moleküle bewegen, desto höher wird die Lufttemperatur. Sie wird grundsätzlich in Kelvin (K) oder Grad Celsius (°C) gemessen, letztere Einheit wird in den folgenden Tabellen und Kennzahlen verwendet (DWD, 2015).

Dabei nimmt die Lufttemperatur einen wichtigen Stellenwert als Klimaparameter in dieser Arbeit ein. Bei allen drei Stationen war es der Parameter mit den wenigsten Fehlwerten und somit die zuverlässigste Größe in Bezug auf die Ergebnisse. Durch diese hohe Vollständigkeit war es möglich bei der Lufttemperatur die meisten Tabellen und Kennzahlen zu erstellen.

5.1.1. Allgemeine Kennzahlen

Um einen ersten Eindruck zu vermitteln, inwieweit bzw. ob sich die Lufttemperatur in den letzten Jahrzehnten verändert hat, wird in Abbildung 7 der jahrzehntelange Verlauf der jährlichen mittleren Lufttemperatur von 1951 bis 2010 dargestellt. Im Jahr 1951 betrug die durchschnittliche jährliche Lufttemperatur 9,7 °C, welche im Jahr 2010 ungefähr 10,7 °C ausmacht, was eine Erhöhung von 1 °C innerhalb dieses 60 jährigen Zeitraumes bedeutet. Anhand der 12-jährig gemittelten Trendlinie wird ersichtlich, dass von 1951 bis 1975 das Temperaturniveau trotz jährlichen Schwankungen konstant geblieben ist. Erst ab 1975 ist ein deutlicher Anstieg der roten Kurve zu erkennen.

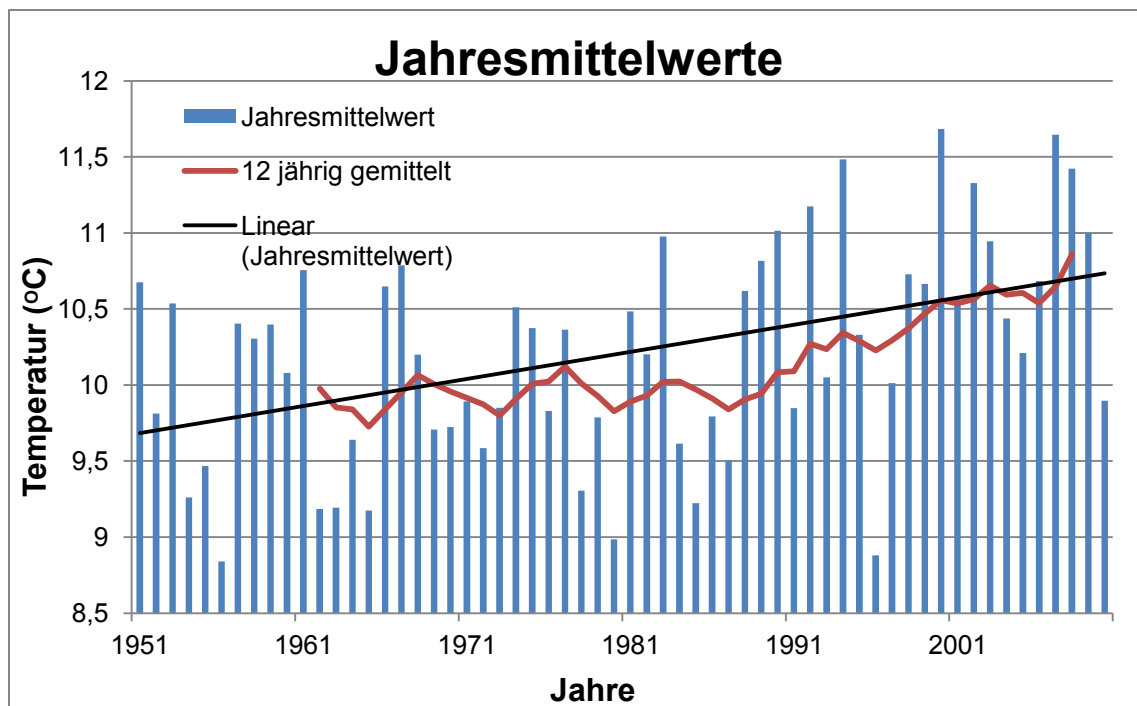


Abbildung 7: Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur von 1951 bis 2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung

Um diese Veränderung der Lufttemperatur zwischen den Untersuchungszeiträumen differenzierter und genauer festhalten zu können, wurden in Tabelle 2 mehrere statistische Größen berechnet, die sich auf einzelne Monate, Jahreszeiten und auf das ganze Jahr beziehen. Da jene statistischen Kennzahlen auch bei den anderen Klimaparametern berechnet worden sind, folgt in den nächsten Zeilen eine kurze Definition jener Größen:

- Mittel: arithmetischer Mittelwert
- amin: Absolutes Minimum (tiefster Wert der Lufttemperatur)
- amax: Absolutes Maximum (höchster Wert der Lufttemperatur)
- Varianz: Streuungsmaß, gibt die Verteilung der Werte um den Mittelwert an
- Schiefe: Ausprägung der Symmetrie in einer Verteilung
- Excess: Exzess; Maßzahl der Steilheit einer Kurve
- min. Tag: Mittleres Tagesminimum
- max. Tag: Mittleres Tagesmaximum
- STABW: Standardabweichung

Durch den Vergleich der beiden Zeiträume werden Unterschiede bzw. Veränderungen sichtbar. Der Mittelwert der Monate Jänner, März, Mai, Juli und August hat sich im Zeitraum 1981-2010 im Durchschnitt um +1°C erhöht. In den Monaten Februar, April und Juni gab es Änderungen um die +0,5°C. Fast keine Veränderungen gab es in den Monaten September,

Oktober und November (ungefähr $+0,1^{\circ}\text{C}$). Der Wintermonat Dezember ist im Mittel um $-0,1^{\circ}\text{C}$ kälter als in der Periode 1951-1980. Bei den Jahreszeiten sind in den Frühlings- und Sommermonaten die größten Anstiege ($+0,8$ und $+0,9^{\circ}\text{C}$) und in den Herbstmonaten der geringste Anstieg ($+0,1^{\circ}\text{C}$) festgestellt worden. Bezogen auf ein ganzes Jahr hat sich der Mittelwert von 1981-2010 im Vergleich zu 1951-1980 um $+0,6^{\circ}\text{C}$ erhöht.

Bei den Größen Absolutes Minimum und Maximum reicht die Bandbreite der Werte der einzelnen Monaten beim absoluten Minimum von $-1,4$ (Jänner) bis $+5,4^{\circ}\text{C}$ (Februar) und des absoluten Maximum von $-1,5$ (Juli) bis $+4,7^{\circ}\text{C}$ (Jänner). Auffallend ist dass der Jänner-Wert beim absoluten Maximum bei allen drei Stationen im Abschnitt 1981-2010 deutlich wärmer geworden ist ($+4,7^{\circ}\text{C}$ [Hohe Warte], $+4,7^{\circ}\text{C}$ [Mariabrunn] und $+6,3^{\circ}\text{C}$ [Groß Enzersdorf]).

Ebenso interessant sind die Unterschiede beim mittleren Tagesmaximum und Tagesminimum. Alle Monate des Zeitraumes 1981-2010 sind im Vergleich zur Periode 1951-1980 wärmer geworden.

Tabelle 2: Statistische Parameter der Lufttemperatur für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr der Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung

1951-1980	Mittel	amin	amax	Varianz	schiefe	excess	min.Tag	max.Tag	STABW
Jän	-0,8	-18,2	14,0	18,6	-0,4	-0,1	-3,1	1,6	4,3
Feb	1,1	-22,6	18,5	21,4	-0,6	1,1	-1,6	4,1	4,6
Mär	4,9	-16,0	24,5	21,1	-0,1	-0,2	1,3	9,1	4,6
Apr	10,1	-2,9	27,3	15,0	0,1	-0,3	5,6	14,9	3,9
Mai	14,7	1,0	32,6	13,4	0,0	-0,3	9,7	19,6	3,7
Jun	18,2	4,1	33,3	11,0	-0,2	-0,3	13,5	23,0	3,3
Jul	19,9	7,1	38,3	10,6	0,0	-0,3	15,0	24,8	3,3
Aug	19,2	7,0	36,1	8,9	0,2	-0,3	14,4	24,3	3,0
Sept	15,4	0,7	32,5	11,0	0,0	-0,5	11,2	20,3	3,3
Okt	10,0	-3,5	27,8	12,1	0,0	-0,3	6,5	14,2	3,5
Nov	5,0	-8,8	21,7	13,9	0,0	0,0	2,6	7,7	3,7
Dez	1,2	-17,2	16,2	17,7	-0,3	0,4	-1,0	3,4	4,2
Frühling	9,9	-16,0	32,6	32,5	-0,2	-0,3	5,5	14,6	5,7
Sommer	19,1	4,1	38,3	10,6	0,0	-0,2	14,3	24,1	3,2
Herbst	10,2	-8,8	32,5	30,2	0,0	-0,5	6,8	14,1	5,5
Winter	0,5	-22,6	18,5	20,0	-0,4	0,5	-1,9	3,0	4,5
Jahr	9,9	-22,6	38,3	66,6	-0,2	-0,8	6,2	14,0	8,2

1981-2010	Mittel	amin	amax	Varianz	schiefe	excess	min.Tag	max.Tag	STABW
Jän	0,3	-19,6	18,7	24,0	-0,2	0,1	-1,9	3,1	4,9
Feb	1,6	-17,2	19,1	22,1	-0,2	0,1	-1,0	5,2	4,7
Mär	5,8	-14,7	25,5	18,1	-0,2	0,2	2,4	10,3	4,3
Apr	10,8	-3,0	27,9	13,9	-0,1	-0,4	6,3	16,2	3,7
Mai	15,7	2,1	33,7	11,5	-0,2	-0,3	10,9	21,1	3,4
Jun	18,8	4,8	35,9	11,6	0,0	-0,5	14,0	24,0	3,4
Jul	20,9	8,4	36,8	9,6	-0,1	-0,4	15,9	26,5	3,1
Aug	20,2	9,2	37,6	9,4	-0,2	-0,2	15,7	25,9	3,1
Sept	15,5	4,3	31,1	9,0	0,0	-0,4	11,9	20,6	3,0
Okt	10,3	-4,5	27,1	13,9	-0,2	-0,4	7,3	14,6	3,7
Nov	5,1	-9,6	20,8	15,7	0,0	0,0	3,0	8,1	4,0
Dez	1,1	-18,1	16,1	17,4	-0,3	0,4	-0,9	3,6	4,2
Frühling	10,7	-14,7	33,7	31,2	-0,3	-0,3	6,6	15,9	5,6
Sommer	20,0	4,8	37,6	10,9	-0,1	-0,3	15,2	25,5	3,3
Herbst	10,3	-9,6	31,1	30,6	-0,2	-0,5	7,4	14,4	5,5
Winter	1,0	-19,6	19,1	21,4	-0,2	0,2	-1,3	4,0	4,6
Jahr	10,5	-19,6	37,6	68,4	-0,2	-0,8	7,0	15,0	8,3

Damit die in Tabelle 3 dargestellten Unterschiede zwischen den beiden Zeiträumen besser aufgezeigt werden können, werden in den folgenden Abbildungen die maximale (Abb. 8), minimale (Abb. 9) und mittlere Lufttemperatur (Abb. 10) eines durchschnittlichen Jahres im jeweiligen 30jährigen Zeitraum abgebildet. Es handelt sich hierbei um Tageswerte, die 14tägig übergreifend gemittelt worden sind. In allen drei Abbildungen ist zu erkennen, dass die rote Kurve (1981-2010) in den Sommermonaten um zirka 1°C über der blauen Kurve (1951-1980) verläuft. Bei der maximalen und mittleren Temperatur sind nur geringe Tempveränderungen in den Monaten September bis Dezember sichtbar. Hingegen sind

bei der Minimum Temperatur in den Herbstmonaten Unterschiede festzustellen, auch hier liegt die rote über der blauen Kurve.

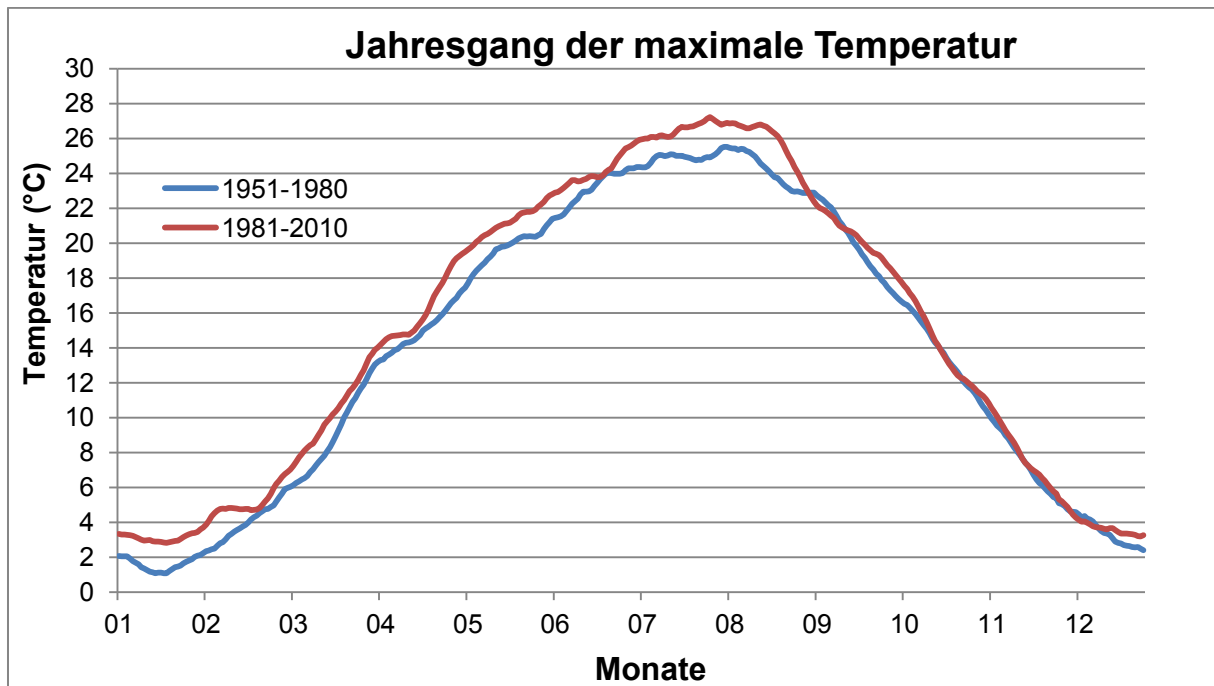


Abbildung 8: Durchschnittliche jährliche maximale Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981-2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung

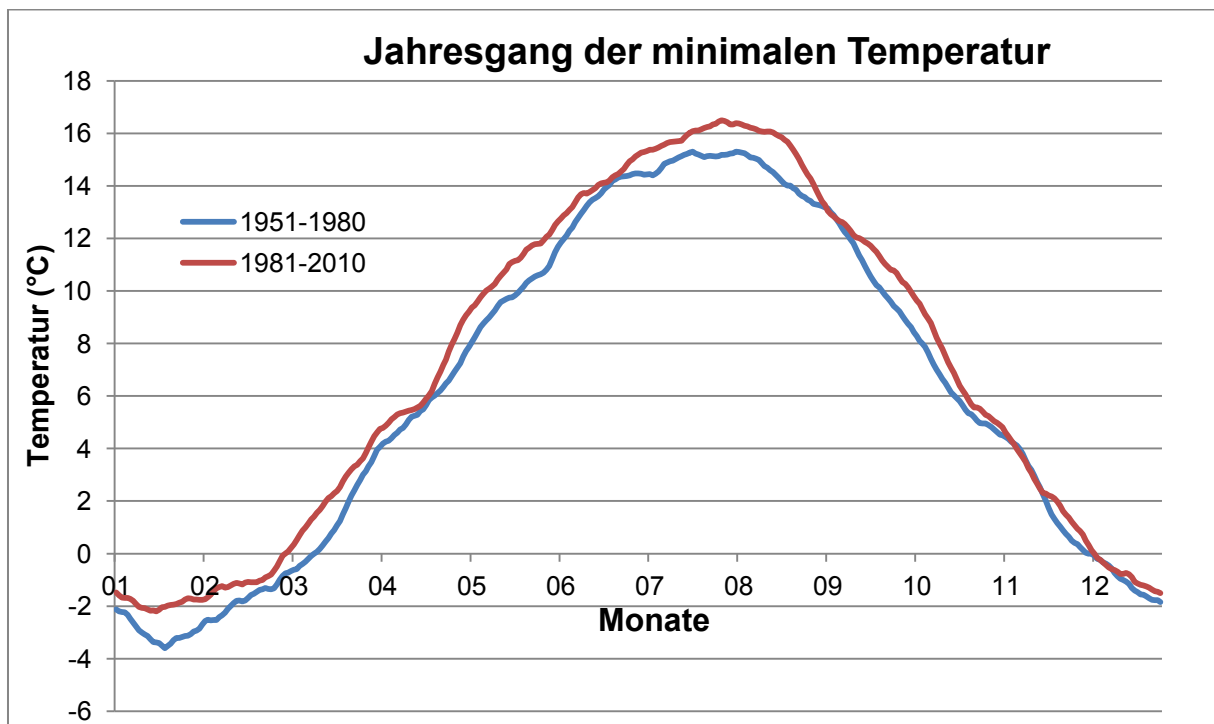


Abbildung 9: Durchschnittliche jährliche minimale Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981-2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung

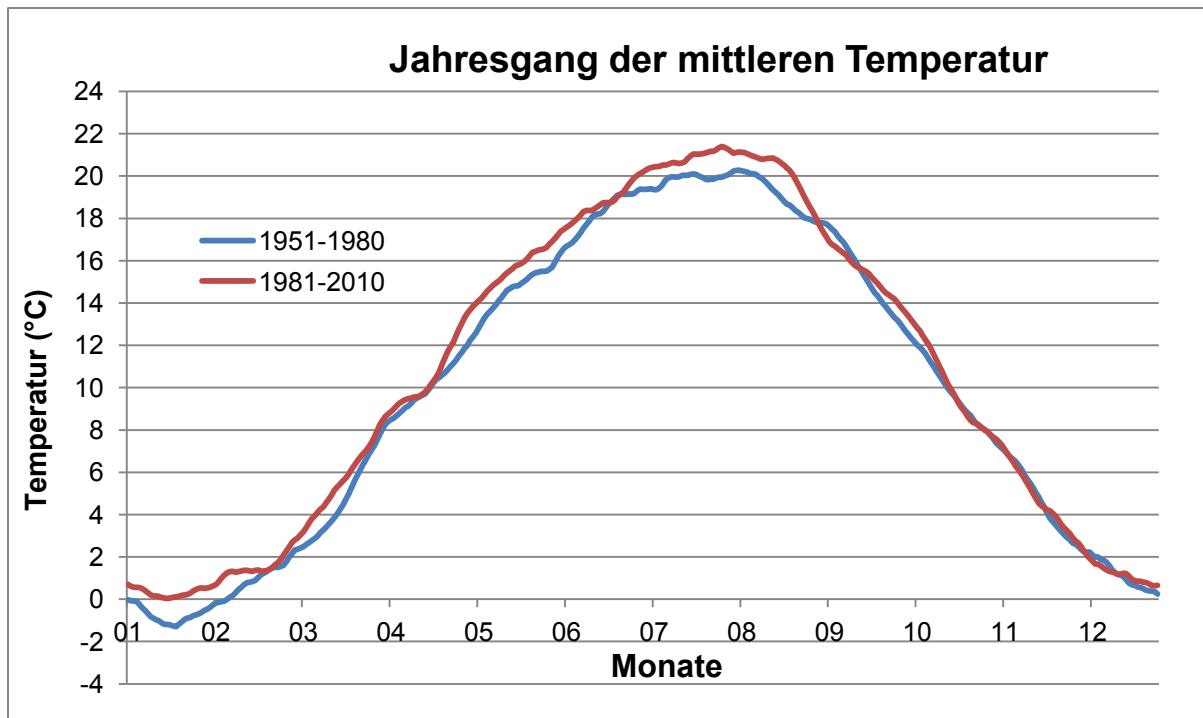


Abbildung 10: Durchschnittliche jährliche mittlere Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981-2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung

In Tabelle 3 wird eine Häufigkeitsverteilung der Lufttemperatur als Perzentildarstellung vorgestellt. Als Datenbasis wurden Monatsmittelwerte verwendet. Sinn einer Perzentildarstellung ist es, den Ausprägungsgrad einer Eigenschaft der unter einem bestimmt Prozentsatz der Werte liegt aufzuzeigen (Schwarz, s.a.). Werden die zwei Zeitperioden der Station Hohe Warte miteinander verglichen dann wird ersichtlich, dass die Häufigkeit von wärmeren Temperaturwerten im Zeitraum 1981-2010 zugenommen hat. Die größten Veränderungen gab es in den Frühlings- und Sommermonaten, die geringsten in den Herbstmonaten. Betrachtet man das ganze Jahr, so hat sich in der Periode 1981-2010 das Temperaturniveau pro Prozentsatzklasse im Mittel um $+0,6^{\circ}\text{C}$ erhöht.

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der Jahreszeiten- und Jahresmittel der Lufttemperatur in Perzentildarstellung, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung

1951-1980	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
99%	$\geq 13,5$	$\geq 21,2$	$\geq 12,9$	$\geq 4,8$	$\geq 13,1$
95%	12,7	20,9	12,3	3,7	12,4
90%	11,8	20,6	11,9	3,2	11,9
80%	11,4	19,9	11,3	2,5	11,3
70%	10,8	19,7	10,8	1,9	10,8
60%	10,5	19,3	10,4	1,2	10,4
50%	10,1	19,1	10,1	0,6	10,0
40%	9,4	18,8	9,8	0,2	9,5
30%	8,9	18,3	9,3	-0,4	9,0
20%	8,3	18,1	9,0	-0,9	8,6
10%	7,8	17,7	8,5	-2,5	7,9
5%	$\leq 7,4$	$\leq 17,5$	$\leq 7,9$	$\leq -4,2$	$\leq 7,1$

1981-2010	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
99%	$\geq 13,7$	$\geq 23,3$	$\geq 12,9$	$\geq 5,2$	$\geq 13,8$
95%	13,2	22,3	12,6	4,8	13,2
90%	12,7	21,6	12,1	4,0	12,6
80%	11,9	20,8	11,6	3,2	11,9
70%	11,5	20,4	11,0	2,6	11,4
60%	11,1	20,2	10,6	1,9	11,0
50%	10,9	19,9	10,5	1,0	10,6
40%	10,5	19,6	10,2	0,5	10,2
30%	9,9	19,3	9,5	-0,4	9,6
20%	9,6	19,0	9,0	-1,1	9,1
10%	9,1	18,4	8,1	-2,0	8,4
5%	$\leq 8,3$	$\leq 18,0$	$\leq 7,8$	$\leq -2,8$	$\leq 7,8$

In den nächsten Abbildungen werden die relativen Häufigkeiten der minimalen (Abb.11), maximalen (Abb. 12) und mittleren (Abb. 13) Lufttemperatur beider Zeiträume auf Tageswertebasis dargestellt. Bei allen drei Histogrammen ist ein deutlicher Trend zu erkennen: Einerseits hat die Häufigkeit der wärmeren Temperaturniveaus (ab 18°C bei der minimalen, 28°C bei der maximalen und 22°C bei der mittleren Lufttemperatur) im Zeitraum 1981-2010 zugenommen, andererseits waren die kälteren Temperaturklassen (bis 2°C bei der minimalen, 4°C bei der maximalen und 6°C bei der mittleren Lufttemperatur) in der Periode 1951-1980 häufiger als 1981-2010. Vor allem bei der minimalen Lufttemperatur sind starke Veränderungen sichtbar (z.B.: Eine Steigerung bei der Temperaturklasse 20°C von 4%)

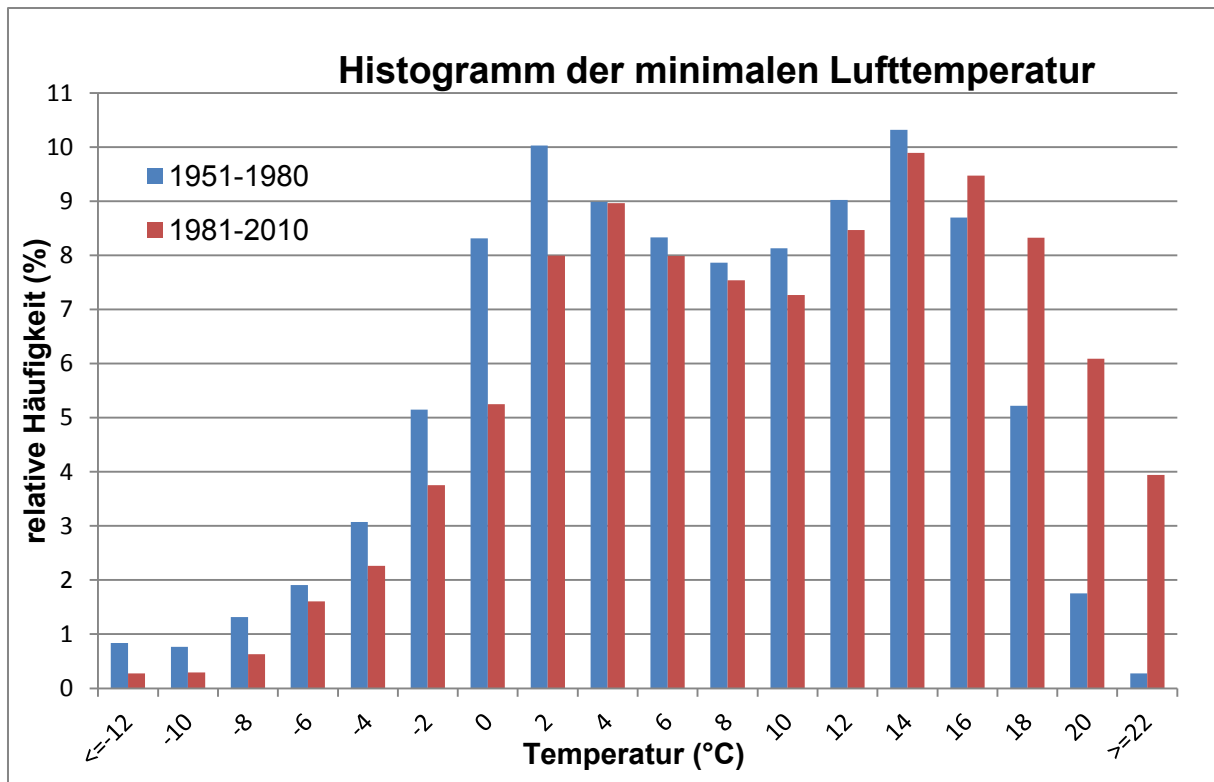


Abbildung 11: Relative Häufigkeitsverteilung der minimalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung

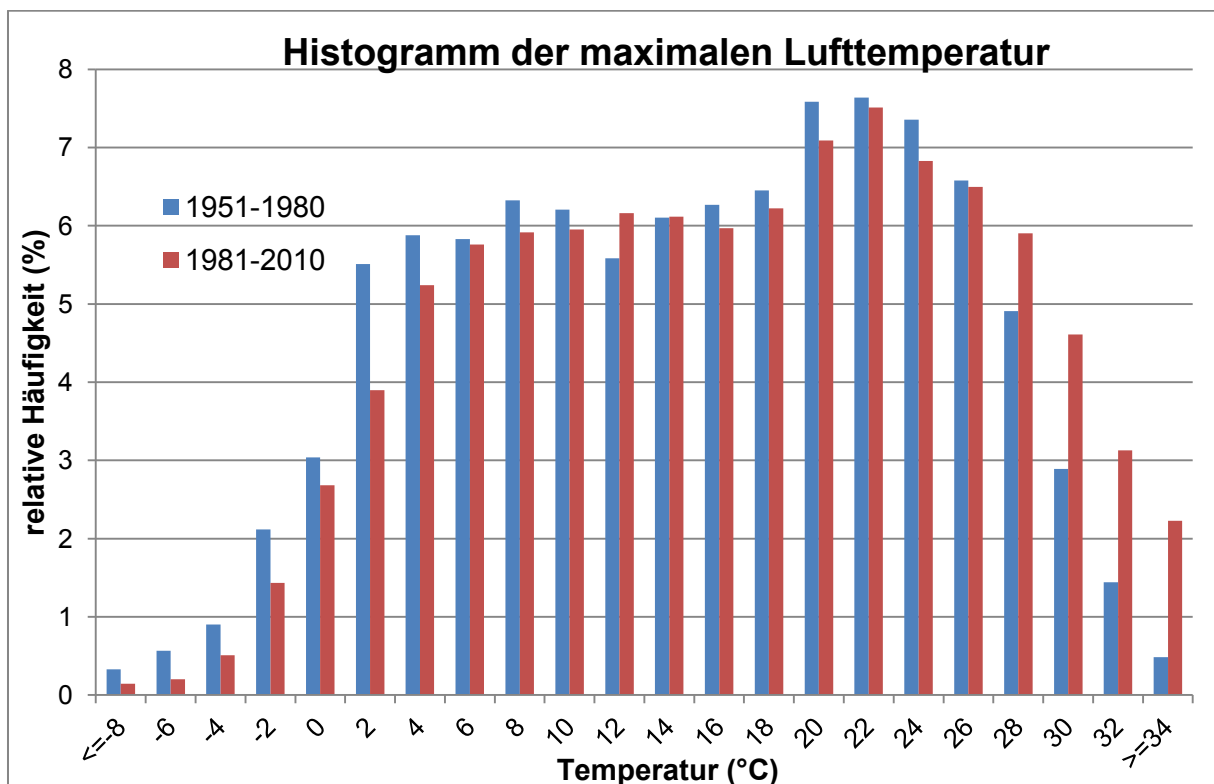


Abbildung 12: Relative Häufigkeitsverteilung der maximalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung

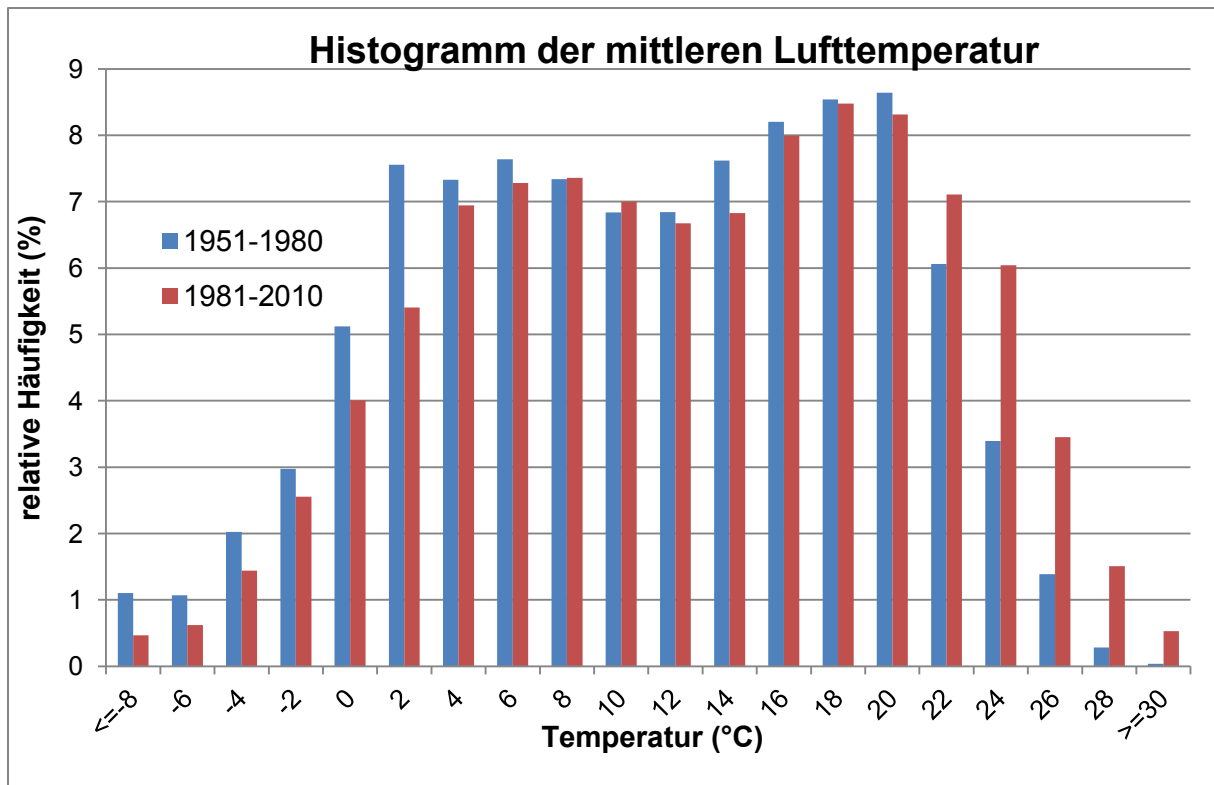


Abbildung 13: Relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung

5.1.2. Energetische Kennzahlen

Temperaturaufzeichnungen der letzten Jahrzehnten können nicht nur für die Klimaforschung von Nutzen sein: In technischen Gebieten sind Kenntnisse über die Lufttemperatur von großer Bedeutung, wie zum Beispiel in den Bereichen Energie und Wohnen. Um den Energiebedarf für Heizzwecke besser einzukalkulieren, sind folgende Größen von Nutzen:

- Heiztag:

Jener Tag, an welchem der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur unter einer definierten Heizgrenze liegt. Die am meisten gebrauchte Heizgrenze liegt bei 12°C.

- Heizgradtagszahl:

Differenz zwischen dem Tagesmittel der Außenlufttemperatur und geplanter Raumtemperatur an allen vorkommenden Heiztagen der Heizperiode (Auer et.al., 1989, S.32).

Jene zwei Größen wurden mit Hilfe von Tageswerten der Lufttemperatur berechnet und in Tabelle 4 abgebildet. Bei beiden Größen wurde die Kombination "12°/20°" verwendet. Das

bedeutet, dass sobald die mittlere Tagesaußenlufttemperatur unter 12°C liegt, die Differenz von angestrebter Raumtemperatur (20°C) und mittlerer Tagesaußenlufttemperatur aufsummiert wird. Diese Summe ergibt die mittlere Heizgradtagszahl. Die Anzahl an Tagen an welchen dieses Kriterium ($<12^{\circ}\text{C}$) gültig ist ergibt die Summe an Heiztagen. Jene zwei Kennzahlen werden wiederum in zwei Kategorien unterteilt: Es werden die Heiztage und die mittlere Heizgradtagszahl von allen Tagen des Jahres ("ganze Jahr") und der Monaten Oktober-April ("Winter"), in denen man von stärkeren Heizaufkommen ausgeht, berechnet. Bei allen drei Stationen wurde festgestellt, dass sowohl die mittlere Heizgradetagszahl als auch die mittlere Zahl von Heiztagen in der Periode 1981-2010 abgenommen hat. Da die Heizgradetagszahl für die Berechnung des Heizwärmebedarfs relevant ist, führten jene Verringerungen der Heizgradtagszahl gleichzeitig zu einem geringeren Heizwärmebedarf im Zeitraum 1981-2010 (Paschotta, s.a.).

Tabelle 4: Mittlere Heizgradetagszahl und mittlere Zahl von Heiztagen aller drei Stationen, 1951-1980 und 1981-2010, Veränderungen in %, eigene Darstellung

Hohe Warte			
Mittlere Heizgradetagszahl	1951-1980	1981-2010	Differenz
Ganzes Jahr	3292	3111	-5,5%
Winter	3205	3060	-4,5%
Mittlere Zahl von Heiztagen	1951-1980	1981-2010	Differenz
Ganzes Jahr	204	194	-4,9%
Winter	195	189	-3,1%

MariaBrunn			
Mittlere Heizgradetagszahl	1951-1980	1981-2010	Differenz
Ganzes Jahr	3567	3366	-5,6%
Winter	3444	3286	-4,6%
Mittlere Zahl von Heiztagen	1951-1980	1981-2010	Differenz
Ganzes Jahr	218	207	-5%
Winter	205	198	-3,3%

GroßEnzersdorf			
Mittlere Heizgradetagszahl	1951-1980	1981-2010	Differenz
Ganzes Jahr	3354	3208	-4,4%
Winter	3265	3155	-3,4%
Mittlere Zahl von Heiztagen	1951-1980	1981-2010	Differenz
Ganzes Jahr	206	197	-4,4%
Winter	197	192	-2,7%

Weitere Messgrößen im Bereich der Raumwärme sind die Lüftungs- und Kühlgradstunden. In bestimmten Betrieben (z.B.: Krankenhäusern) ist es erforderlich, bei niedriger Außenlufttemperatur ein höheres Raumtemperaturniveau durch erwärmte Zuluft zu

erreichen. Alle dadurch entstandenen positiven Differenzen zwischen Außenluft- und Innenraumtemperatur werden für alle Stunden eines Tages aufsummiert. Jene Summe entspricht dem Wert der Lüftungsgradstunde. Soll die Raumtemperatur geringer als die Außenlufttemperatur sein, dann ist die Kühlgradstunde von Nutzen. Hierbei werden nur alle negativen Differenzen zwischen Raum- und Außenlufttemperatur zusammengezählt (Auer et.al., 1989, S.34).

In Abbildung 14 und 15 werden die zwei Größen für beide Zeitperioden dargestellt. Als Datenbasis wurden Stundenwerte verwendet. Nur dadurch war es möglich, für jede Stunde eines Tages die jeweilige Lüftungs- und Kühlgradstunde zu ermitteln. Ausgangspunkt bei der Berechnung war, dass eine Raumtemperatur von 22°C erreicht bzw. erhalten werden soll. Somit wurde bei der Lüftungsgradstunde jeder Stundenwert der Lufttemperatur von 22°C subtrahiert. Stundenwerte die sich über 22°C befanden, wurden nicht berücksichtigt. Bei den Kühlgradstunden wird eine Raumtemperatur von 19°C angestrebt. Hierbei wurden alle Stundenwerte die sich unter 0°C befanden aufsummiert. Die größten Anstiege konnten zwischen 12 und 17 Uhr, die geringsten während der Nachtstunden verzeichnet werden. Bezogen auf einen ganzen Tag hat sich die mittlere jährliche Summe der Lüftungsgradstunden in der Periode 1981-2010 um 7346 Stunden verringert. Dafür haben die mittleren jährlichen Kühlgradstundensummen um 1571 Stunden zugenommen.

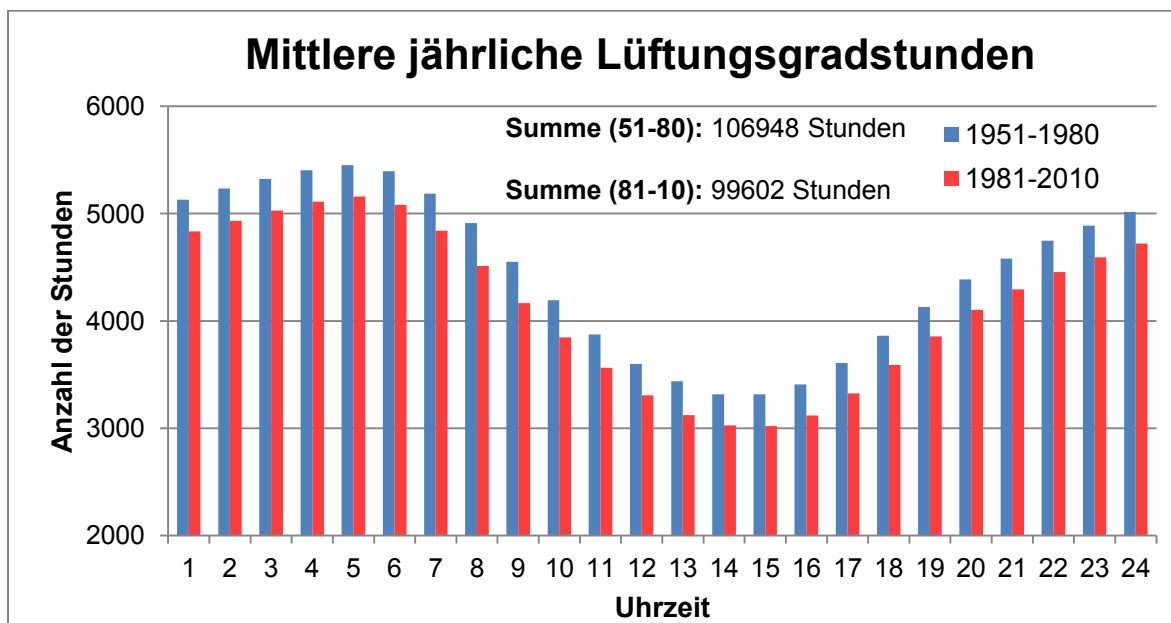


Abbildung 14: Mittlere jährliche Lüftungsgradstunden bei Raumtemperatur von 22°C, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, eigene Darstellung

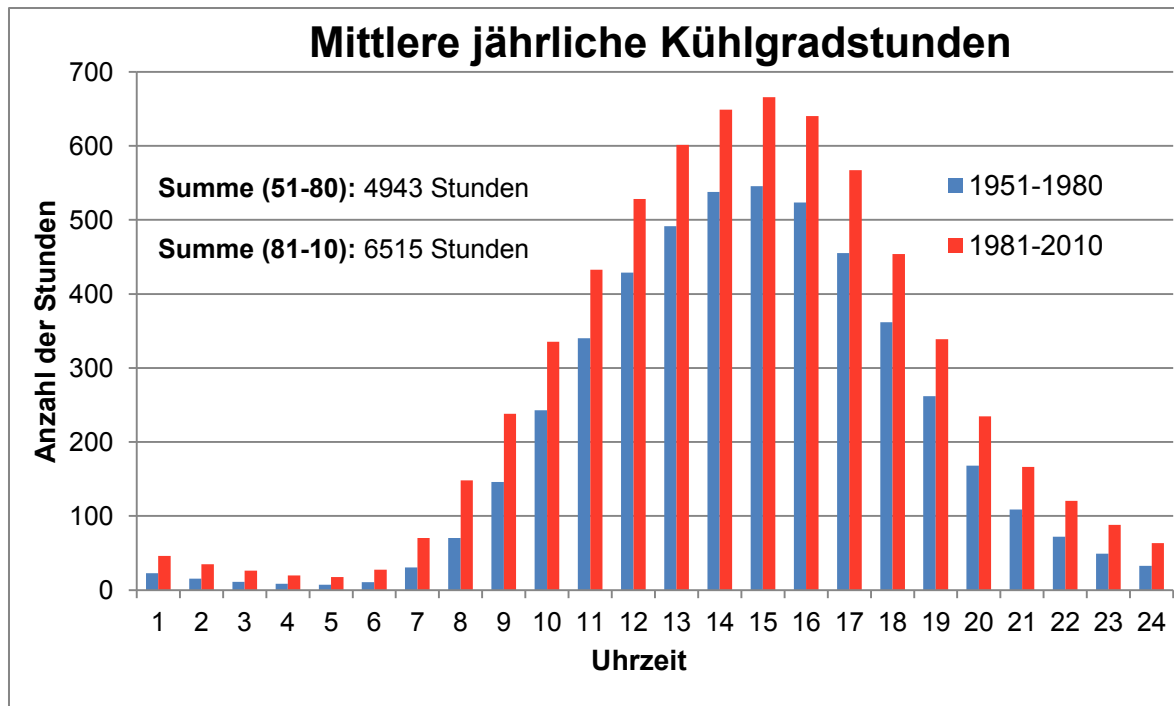


Abbildung 15: Mittlere jährliche Kühlgradstunden bei Raumtemperatur von 19°C, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, eigene Darstellung

5.1.3. Bioklimatische Kennzahlen

Einige ableitbare Größen der Lufttemperatur nehmen Einfluss auf das menschliche, pflanzliche und tierische Leben. Jene Größen zählen zu den bioklimatischen Kennzahlen. Um herauszufinden, sehr sich jene bioklimatischen Parameter in den letzten Jahrzehnten verändert haben, wurden in den Abbildungen 16 bis 21 die langjährigen Verläufe von sechs bioklimatischen Größen dargestellt. Als Datengrundlage wurden Tagesmittel- und Tagesextremwerte der Station Hohe Warte verwendet, welche auf ganzjähriger Basis von 1951 bis 2010 aufsummiert worden sind. Bei allen drei Stationen wurde eine gleiche Entwicklung der Werte festgestellt. Eine deutliche Abnahme der Tage seit 1951 ist bei den Frost-, Eis- und Frostwechseltagen zu erkennen.

Frosttag: Ein Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unter 0°C liegt. In Abbildung 17 ist eine deutliche Verminderung jener Tage zu erkennen. So nahmen diese seit 1951 um 18 Tage ab.

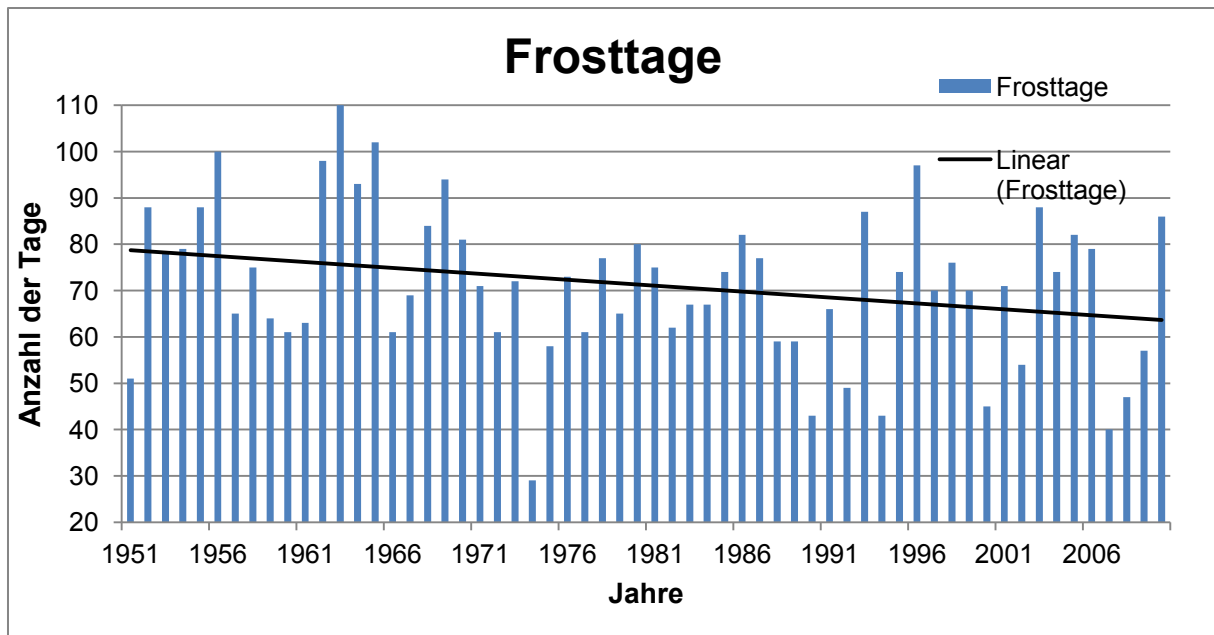


Abbildung 16: Summe der jährlichen Frosttage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung

Eistag: Ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur unter 0°C liegt. Auch wenn der abnehmende Trend nicht so stark ausgeprägt ist wie bei den Frosttagen, so wird in Abbildung 18 ersichtlich dass im Zeitraum 1951 bis 2010 die Anzahl von Eistagen um 5 Tage weniger geworden sind.

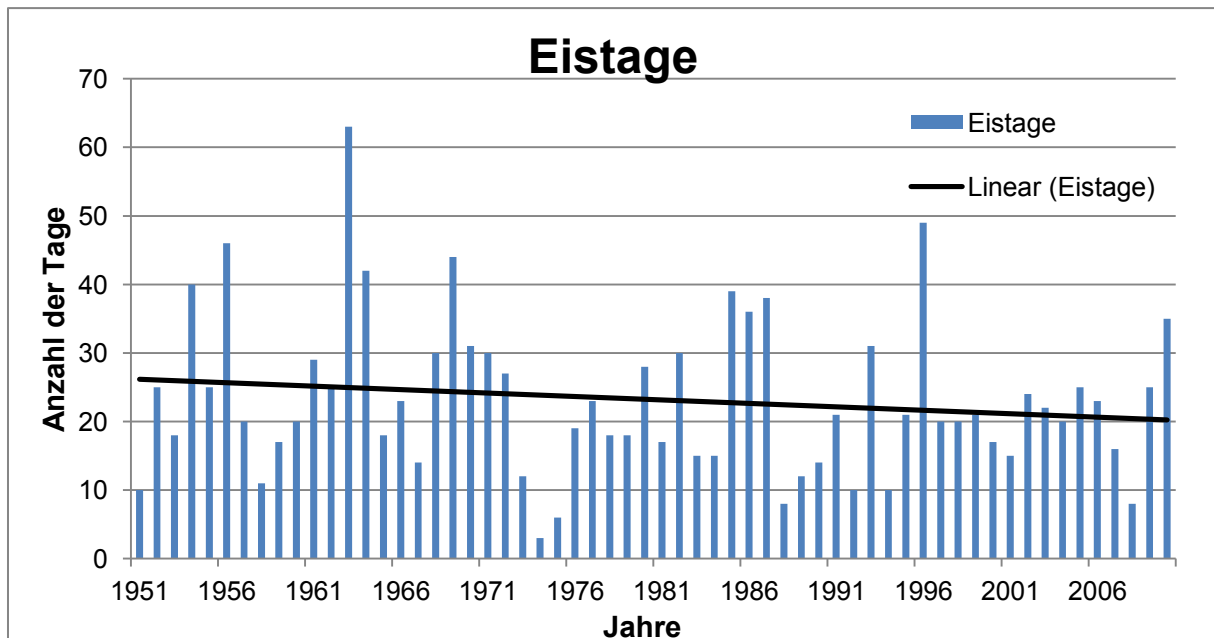


Abbildung 17: Summe der jährlichen Eistage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung

Frostwechseltag: Anzahl an Tagen, an denen sich die maximale Temperatur über 0°C und die minimale Temperatur unter 0°C befindet. Auch hier ist eine Abnahme in Abbildung 19 zu sehen. Sie haben seit Anfang der Zeitreihe um 10 Tage abgenommen.

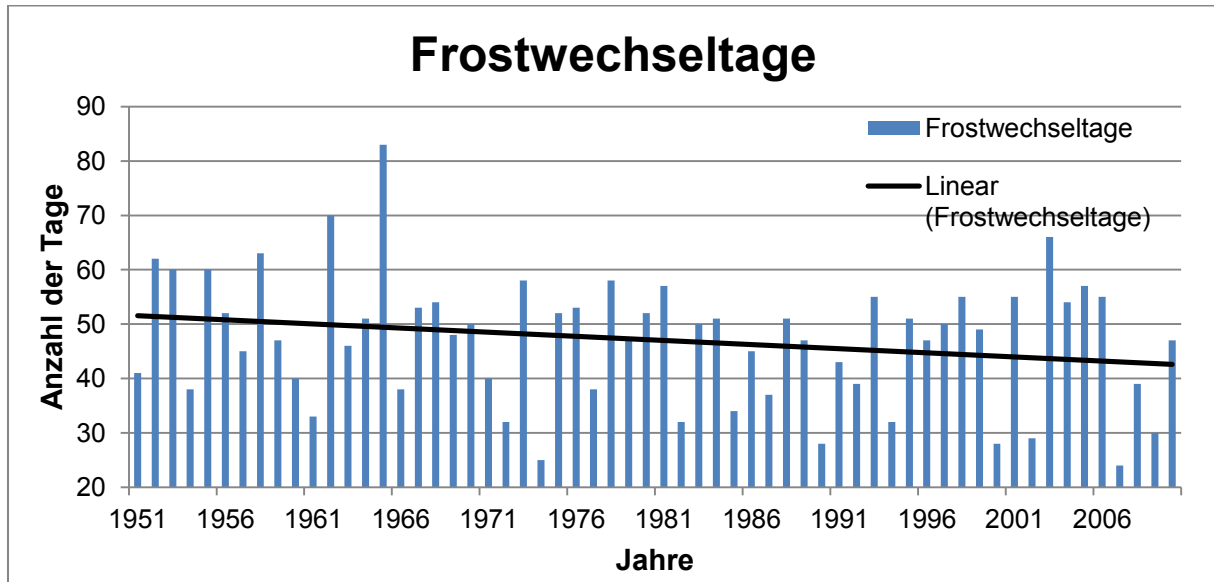


Abbildung 18: Summe der jährlichen Frostwechseltage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung

Im Gegensatz dazu ist bei den Hitze-, Sommer- und Vegetationstagen eine Zunahme der Tage seit 1951 abzuleiten.

Heißer Tag (Hitzetag): Ein Tag, an dem die maximale Temperatur größer als 30°C ist. Wie in Abbildung 20 veranschaulicht wird, hat die Anzahl jener heißen Tage (auch "Hitzetage" genannt) seit 1951 um 13 Tage zugenommen.

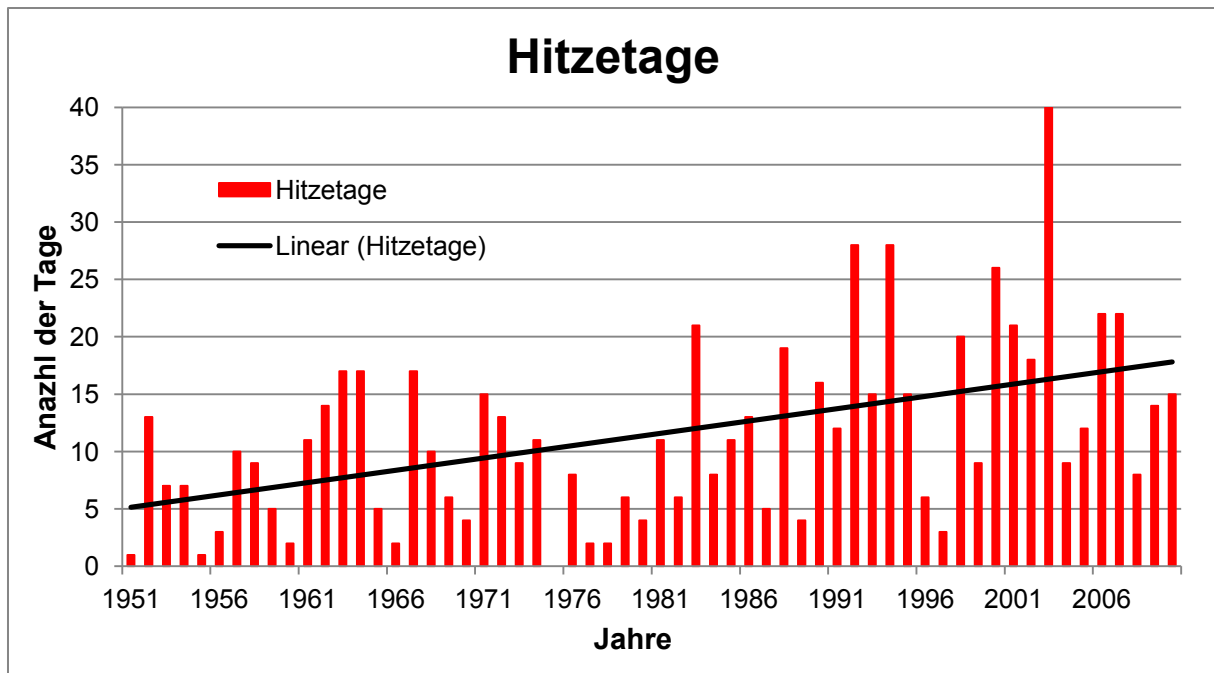


Abbildung 19: Summe der jährlichen Hitzetage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung

Sommertag: Ein Tag, an dem die maximale Temperatur über 25°C liegt. Die Summe der Sommertage stieg seit dem Periodenanfang um knappe 30 Tage an, siehe Abbildung 21.

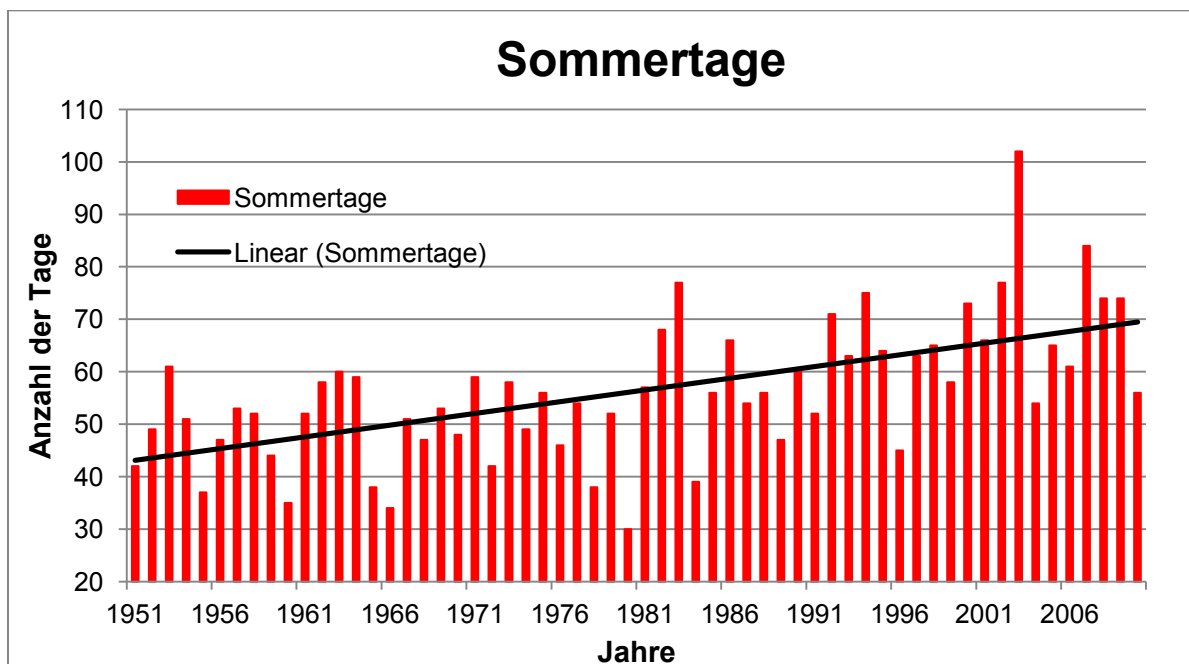


Abbildung 20: Summe der jährlichen Sommertage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung

Vegetationstag: Ein Tag, an dem die mittlere Tagestemperatur größer gleich 5°C beträgt. Auch hier, in Abbildung 22, wurde ein Anstieg von 13 Tagen seit 1951 festgestellt.

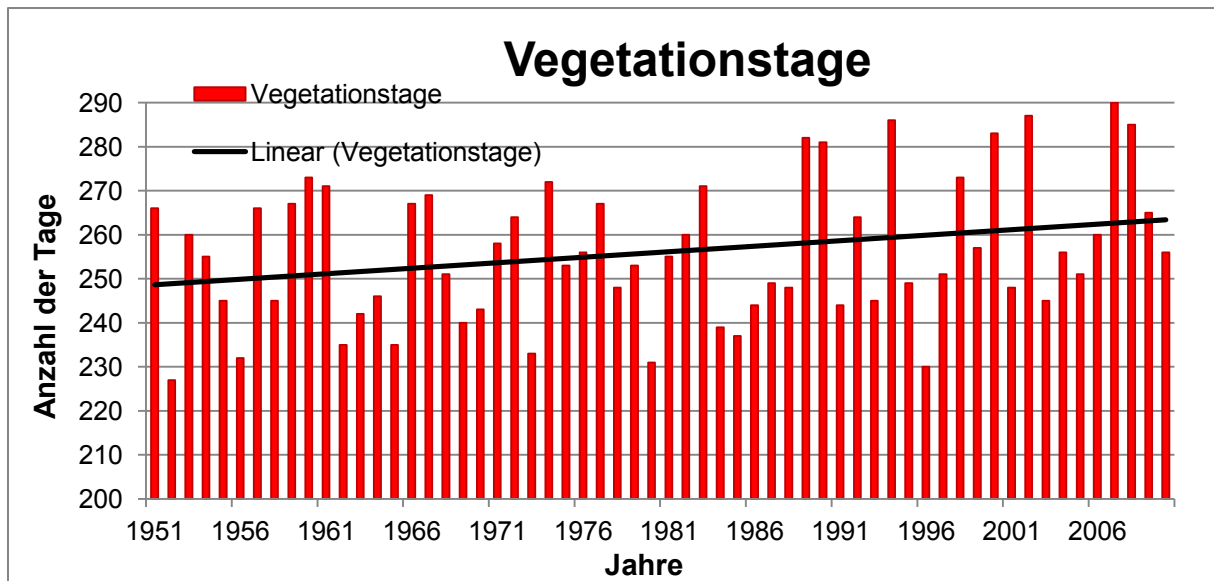


Abbildung 21: Summe der jährlichen Vegetationstage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesmittelwerte, eigene Darstellung

Um die Veränderung der bioklimatischen Größen der Lufttemperatur zwischen den Zeitperioden 1951-1980 und 1981-2010 besser aufzuzeigen, werden in Tabelle 5 jene Parameter für die einzelne Monate, Jahreszeiten und für das Jahr wiedergegeben. Jene Unterschiede werden durch Betrachtung der Jahreswerte gut erkenntlich: Die Anzahl an Eis-, Frost- und Frostwechseltagen hat in Summe 1981-2010 abgenommen (8 Frosttage, 3 Eistag und 5 Frostwechseltage weniger als 1951-1980). Im gleichen Zeitraum ist die Anzahl der Vegetationstage, Heiße Tage und Heiße Nächte angestiegen (7 Vegetationstage, 7 Heiße Tage und 13 Heiße Nächte mehr als 1951-1980).

Tabelle 5: Statistische Parameter bioklimatisch relevanter Größen, ableitbar aus der Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, Tagesbasis

1951-1980	Frosttage	Eistage	Frostwechseltage	Vegetationstage	Heiße Tage	Heiße Nächte
Jän	22	11	11	2	0	0
Feb	16	5	11	5	0	0
März	11	1	10	15	0	0
April	1	0	1	27	0	0
Mai	0	0	0	31	0	0
Juni	0	0	0	30	1	3
Juli	0	0	0	31	4	5
Aug	0	0	0	31	3	3
Sept	0	0	0	30	0	0
Okt	1	0	1	29	0	0
Nov	6	1	6	15	0	0
Dez	17	7	10	5	0	0
Frühling	12	1	11	73	0	0
Sommer	0	0	0	92	7	12
Herbst	8	1	7	74	0	0
Winter	55	23	32	13	0	0
Jahr	75	25	50	252	8	12

1981-2010	Frosttage	Eistage	Frostwechseltage	Vegetationstage	Heiße Tage	Heiße Nächte
Jän	20	9	10	5	0	0
Feb	15	4	11	7	0	0
März	7	1	6	17	0	0
April	1	0	1	28	0	0
Mai	0	0	0	31	0	1
Juni	0	0	0	30	3	7
Juli	0	0	0	31	7	10
Aug	0	0	0	31	6	7
Sept	0	0	0	30	0	0
Okt	1	0	1	28	0	0
Nov	7	1	5	16	0	0
Dez	17	7	10	5	0	0
Frühling	8	1	7	77	0	1
Sommer	0	0	0	92	15	24
Herbst	7	1	6	74	0	0
Winter	53	20	32	17	0	0
Jahr	67	22	45	259	15	25

Für die Pflanzenwelt sind die vorkommenden Frostverhältnisse von großer Bedeutung. Wenn über einen längeren Zeitraum aneinander folgende Frosttage vorkommen, dann findet eine Frostperiode statt. In dieser Zeit erfolgt kein Vegetationswachstum. Jedoch können auch während des Vegetationswachstums Früh- oder Spätfröste auftreten, welche für Frostschäden an der Vegetation verantwortlich sein können (Auer et.al., 1989, S.47). Tabelle 6 gibt Aufschluss darüber, ob sich das Eintrittsdatum des Früh- oder Spätfrosts in den letzten Jahrzehnten wesentlich verändert hat. Der größte Unterschied konnte beim spätesten Datum des Spätfrostes festgestellt werden, er kommt im Durchschnitt ungefähr eine Woche früher vor als im Zeitraum 1951-1980. Ansonsten sind die Unterschiede nur einige Tage groß.

Tabelle 6: Eintrittszeiten von Früh- und Spätfröste, frühestes, mittleres und spätestes Datum, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, eigene Darstellung

1951-1980	Frühestes	Mittleres	Spätestes
Frühfrost	10.10	01.11	02.12
Spätfrost	03.03	03.04	01.05

1981-2010	Frühestes	Mittleres	Spätestes
Frühfrost	14.10	05.11	30.11
Spätfrost	07.03	01.04	22.04

5.1.4. Innerstädtischer Vergleich

Ein weiterer interessanter Punkt ist der Vergleich der Lufttemperatur einer Wetterstation des Stadtzentrums (Station Innere Stadt) mit einer Messstation die eher am Stadtrand gelegen ist (Station Hohe Warte). Wie schon bei der Beschreibung Wiens erwähnt, nimmt der Anteil der Grünflächen (Bäumen, Wiesen, etc.) vom Stadtzentrum zum Stadtrand kontinuierlich zu. Um herauszufinden welchen Einfluss jene unterschiedlichen Verbauungsflächen auf die Lufttemperatur haben, werden die Wetterdaten der Station Hohe Warte mit der Station Innere Stadt miteinander verglichen. An dieser Stelle sei erwähnt, dass auch die unterschiedlichen Höhenlagen, die Station Innere Stadt auf 177 Meter Seehöhe und die Station Hohe Warte auf 209 Meter Seehöhe liegend (ZAMG, 2015c), sich auf die Temperaturniveaus auswirken (Die Temperatur sinkt mit zunehmender Seehöhe) (DWD, 2015a). Wegen den fehlenden Werten des Zeitraumes 1951 bis 1980 bei der Station Innere Stadt war es nur möglich für den Zeitraum 1981 bis 2010 jenen innerstädtischen Vergleich anzustellen.

In Tabelle 7 werden für die einzelnen Monaten, Jahreszeiten und das Jahr der Mittelwert, die Standardabweichung, sowie das höchste und tiefste Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittel dargestellt. Es ist ein deutlicher Trend zu erkennen: Sowohl bei den Monaten, als auch bei den Jahreszeiten und für das Jahr insgesamt war die Lufttemperatur im Zeitraum 1981 bis 2010 bei der Station Innere Stadt im Durchschnitt um 1°C wärmer als bei der Station Hohe Warte. Auch beim höchsten und tiefsten Mittel ist jene Entwicklung zu erkennen. Auffallend ist, dass die meisten Extremwerte in den Jahren nach 2000 gemessen worden sind.

Tabelle 7: Statistische Größen der Lufttemperatur, Innerstädtischer Vergleich der Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1981-2010, in °C, eigene Darstellung

Innere Stadt	Mittelwert	STABW	Höchstes_MM	Jahr	Tiefstes_MM	Jahr
Jän	1,4	2,8	7,1	2007	-4,4	1985
Feb	2,7	3,2	7,4	1998	-4,1	1986
März	6,7	2,1	10,4	1990	1,1	1987
April	11,8	1,6	16,0	2009	8,5	1997
Mai	16,7	1,4	19,2	2003	12,6	1991
Juni	19,7	1,5	23,8	2003	16,9	1985
Juli	22,0	1,5	25,3	2006	19,1	1984
Aug	21,5	1,5	25,9	1992	19,0	1987
Sept	16,8	1,5	19,2	1987	13,3	1996
Okt	11,6	1,3	14,5	2001	9,0	2003
Nov	6,1	1,9	8,9	2006	2,4	1993
Dez	2,1	1,7	4,7	2006	-1,3	1996

Frühling	11,8	1,7	14,0	2007	8,8	1987
Sommer	21,1	1,5	23,9	2003	19,0	1984
Herbst	11,5	1,6	14,0	2006	10,0	1993
Winter	2,1	2,5	5,1	2007	-1,5	1996

Jahr	11,6	1,8	12,9	2007	10,0	1996
------	------	-----	------	------	------	------

Hohe Warte	Mittelwert	STABW	Höchstes_MM	Jahr	Tiefstes_MM	Jahr
Jän	0,3	2,7	6,0	2007	-5,5	1985
Feb	1,6	3,1	6,1	2002	-4,9	1986
März	5,8	2,1	9,5	1990	0,3	1987
April	10,8	1,4	14,3	2009	7,8	1997
Mai	15,7	1,3	17,8	2003	12,0	1991
Juni	18,8	1,3	22,5	2003	16,3	1985
Juli	20,9	1,4	23,9	2006	18,2	1984
Aug	20,2	1,4	24,3	1992	17,7	2006
Sept	15,5	1,4	18,0	1982	12,3	1996
Okt	10,3	1,3	13,1	2001	7,8	2010
Nov	5,1	1,9	7,8	2006	1,5	1993
Dez	1,1	1,7	3,7	1985	-2,3	1996

Frühling	10,7	1,6	12,6	2007	8,1	1987
Sommer	20,0	1,4	22,5	2003	18,1	1984
Herbst	10,3	1,5	12,5	2006	8,8	2007
Winter	1,0	2,5	4,0	2007	-2,5	1996

Jahr	10,5	1,8	11,7	2000	8,9	1996
------	------	-----	------	------	-----	------

Weiteres werden die Verteilung der maximalen und minimalen Tageswerte der Lufttemperatur der Station Hohe Warte und Innere Stadt im Zeitraum 1981 bis 2010 in den Abbildungen 22 und 23 präsentiert.

Bei der Station Innere Stadt sind die maximalen Tageslufttemperaturdaten bei den Temperaturklassen "30" und ">=32" °C um 0,5% bis 1,2% häufiger als bei der Station Hohe Warte. Dafür sind die kälteren Temperaturniveaus der Station Wien Hohe Warte, wie zum Beispiel "-4", ">= -2" und "0" °C um 0,3 bis 0,5% häufiger als bei der Station Innere Stadt.

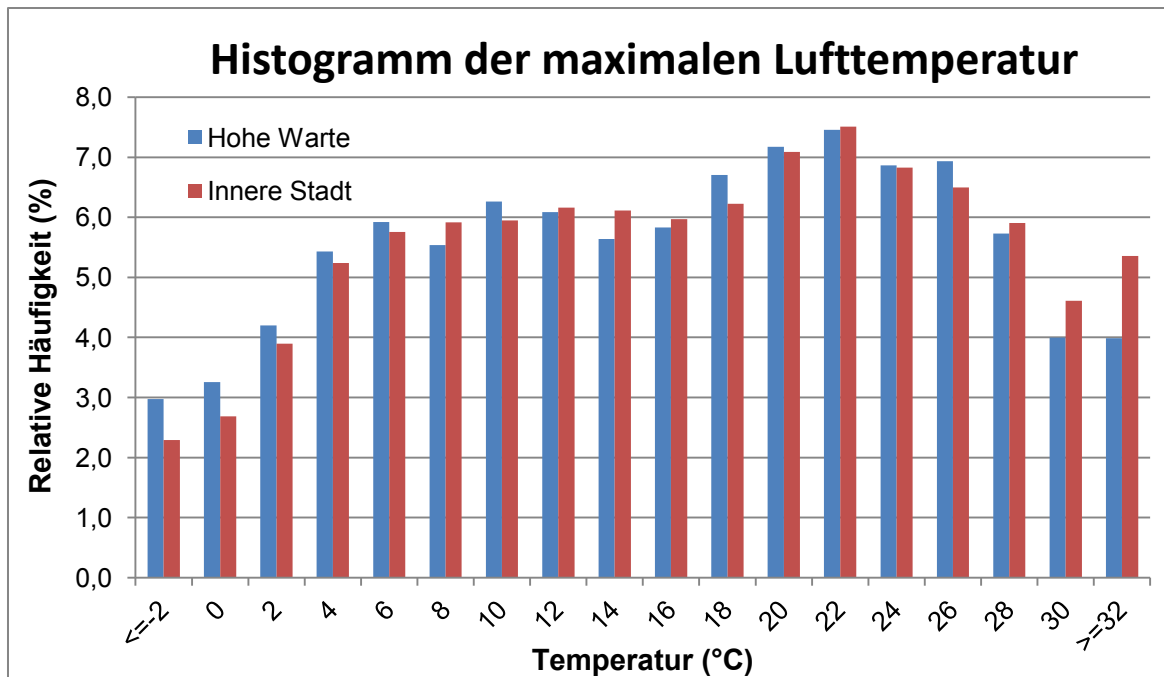


Abbildung 22: Relative Häufigkeitsverteilung der maximalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1981-2010, in %, eigene Darstellung

Die Unterschiede zwischen den zwei Stationen werden bei den minimalen Tageswerten der Lufttemperatur noch deutlicher: Die Werteklassen "18", "20" und ">=22"°C der Station Innere Stadt sind um 1,6 bis 3% häufiger als bei der Station Hohe Warte. Die niedrigeren Temperaturklassen, wie etwa bei 0°C, sind bei der Station Hohe Warte öfter vorgekommen (+2,4%).

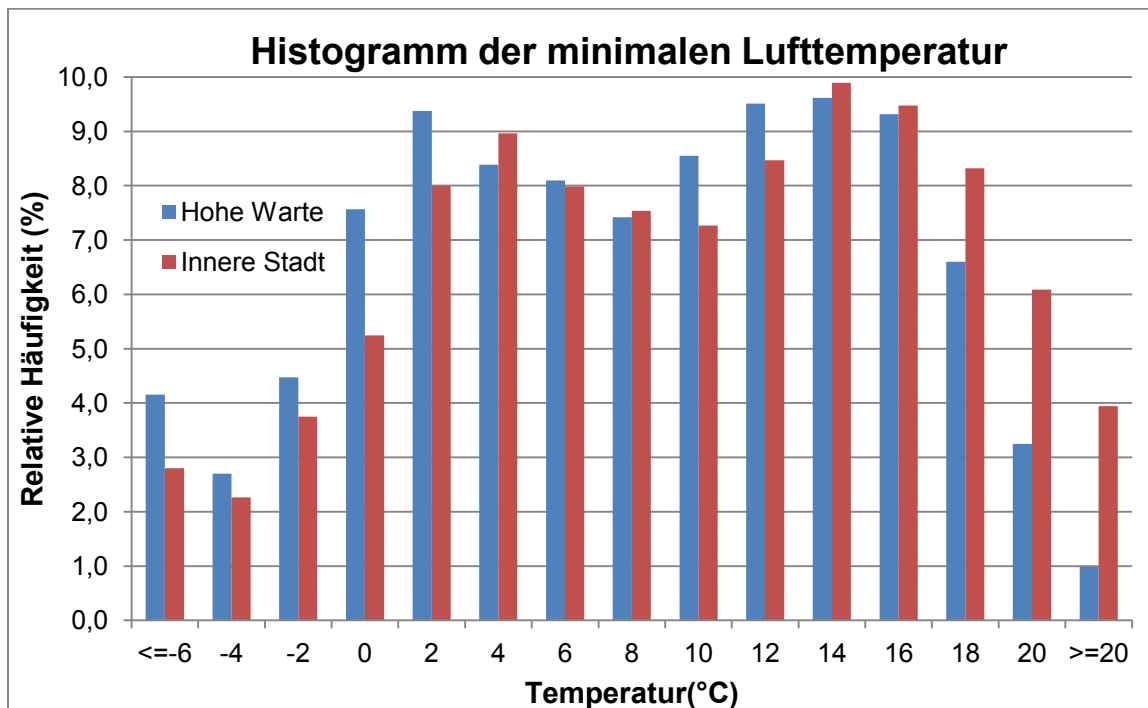


Abbildung 23: Relative Häufigkeitsverteilung der minimalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1981-2010, in %, eigene Darstellung

Ein Vergleich zwischen den Tagesgängen der Hohen Warte und Innere Stadt wird auf Grund der starken Aussagekraft im Diskussionsteil abgebildet.

5.2. Niederschlag

Der Niederschlag wird laut Ö-Norm B2400 als Sammelbegriff für flüssige oder feste Kondensationsprodukte genannt, welche aus der Atmosphäre herunterfallen und auf der Erdoberfläche auftreffen. Dabei wird je nach Aggregatzustand zwischen Regen, Schnee, Graupel oder Hagel unterschieden. Die auf der Erdoberfläche angekommenen Niederschläge werden dann weiteres zwischen abgesetzte (Tau, Reif und Nebel) und abgelagerte (Schneedecke, Hagel) Niederschläge unterschieden (Nachtnebel, 2004).

5.2.1. Allgemeine Kennzahlen

Ein erster Überblick der zeitlichen Entwicklung der jährlichen Niederschlagssummen wird in Abbildung 24 veranschaulicht. Betrachtet man die lineare Trendlinie zwischen 1951 und 2006, dann hat die jährliche Niederschlagssumme seit Anfang der Zeitreihe um knappe 100mm zugenommen. Eine deutliche Steigerung dieses Trends wurde ab 2007 festgestellt. Dabei betragen die Jahressummen der Jahre 2007, 2009 und 2010 mehr als 800mm. Jedoch ist dieser Zeitraum mit Vorsicht zu genießen. Denn die Jahressummen von 2010 bis 2013 liegen unter 800mm (517, 609 und 735mm), womit eine durchgehende Entwicklung von hohen jährlichen Jahresniederschlägen ausgeschlossen werden kann (MA 23, 2015c). Die rote Linie spiegelt die 12-jährig übergreifend gemittelten Jahresniederschlagssummen wieder. Im Zeitraum 1970 bis 1985 ist eine Senkung jener roten Linie zu erkennen.

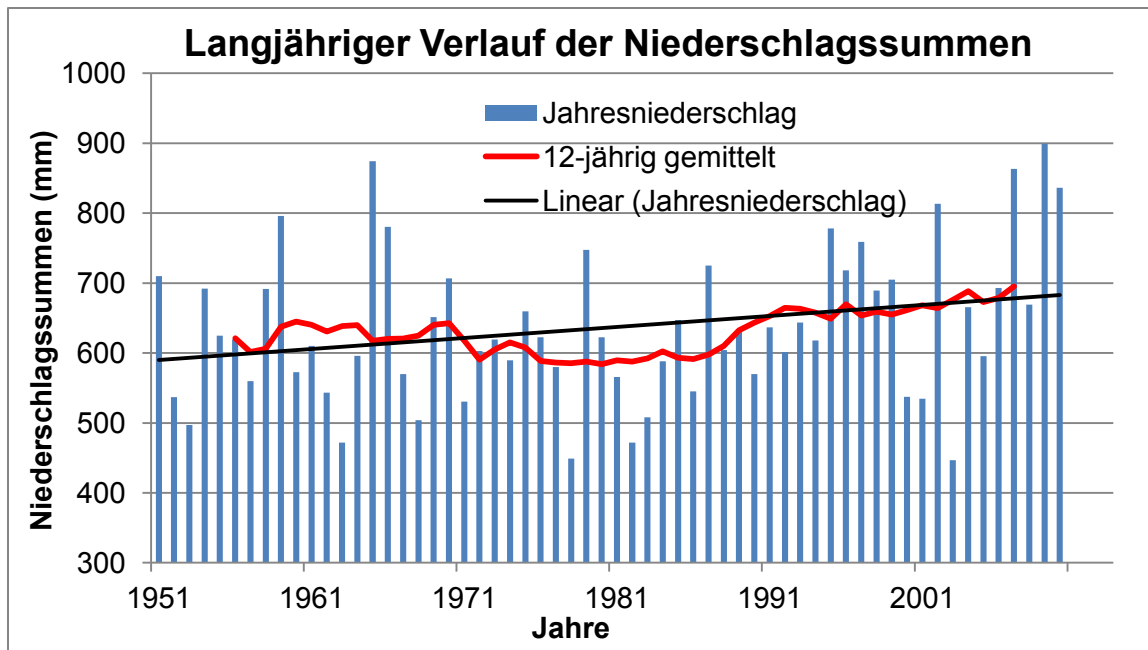


Abbildung 24: Langjähriger Verlauf der Niederschlagssummen, Station Wien-Hohe Warte, 1951-2010, in mm, eigene Darstellung

In Abbildung 25 werden die Veränderungen der Monatssummen zwischen den 30jährigen Zeiträumen dargestellt. Im Monat September ist eine deutliche Veränderung der Monatssumme zu erkennen. So stieg diese von 37 mm (1951-1980) auf über 60mm (1981-2010) an. Bis auf die Monate April, Juni, Juli, Oktober und November hat sich die monatliche Niederschlagsmenge der restlichen Monate im Zeitraum 1981-2010 erhöht.

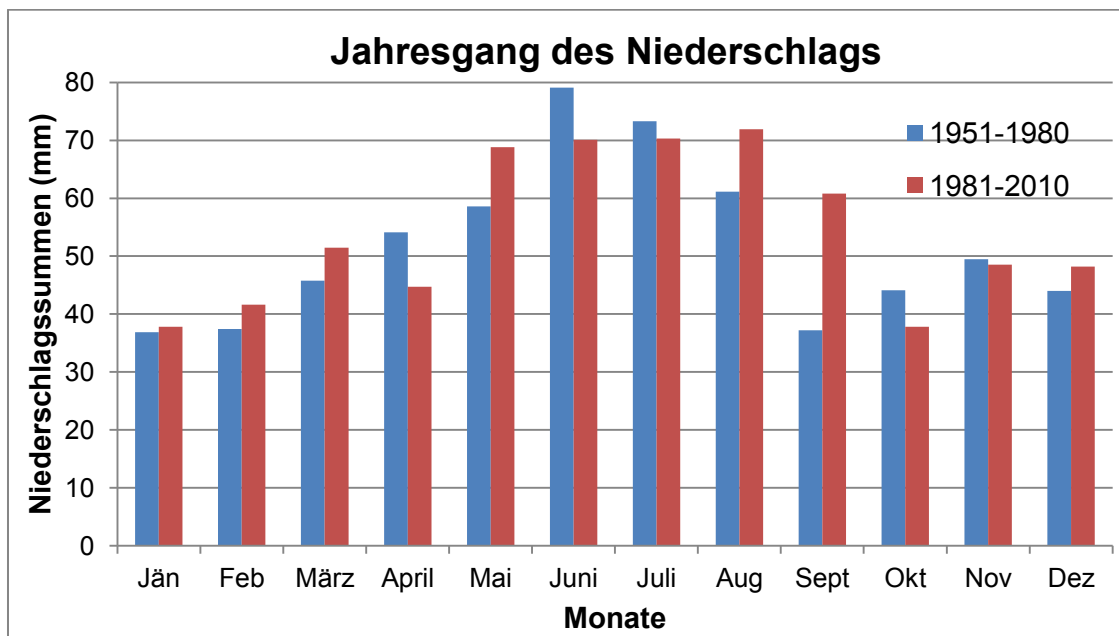


Abbildung 25: Jahresgang der Monatsniederschlagssummen, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung

Auch in Tabelle 8 wird die Steigerung der Niederschlagssummen in den Herbstmonaten von durchschnittlich 17mm im Zeitabschnitt 1981-2010 ersichtlich. Die größte Niederschlagssumme einer Jahreszeit wurde im Herbst 2007 von 320mm festgestellt, fast 100mm mehr als im Zeitraum 1951-1980 (214mm im Herbst 1970). Im weiteren Vergleich hat die mittlere jährliche Niederschlagssumme 1981-2010 um 30mm zugenommen.

Tabelle 8: Mittlere Niederschlagssummen, größte und kleinste Niederschlagssummen der Jahreszeiten und das Jahr, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung

1951-1980	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Mittelwerte	158,4	213,6	130,8	118,3	621,0
Größte Summe	305,8	405,8	214,2	189,4	874,5
	1965	1959	1970	1974	1965
Kleinste Summe	68,3	102,8	57,2	55,1	449,2
	1974	1962	1953	1972	1978

1981-2010	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Mittelwerte	165,0	212,3	147,2	127,6	652,1
Größte Summe	270,2	372,9	319,9	220,1	899,6
	2010	2009	2007	2005	2009
Kleinste Summe	82,3	85,1	63,3	50,6	446,9
	1986	2003	2006	1989	2003

In Tabelle 9 wurde eine kumulative Häufigkeitsverteilung für die Jahreszeiten beider Zeiträume in Perzentildarstellung berechnet. Basierend auf Monatssummenwerte konnten auch hier einige Veränderungen zwischen beiden Untersuchungszeiträumen festgestellt werden. Im Zeitraum 1981-2010 haben 99 bzw. 90% der Frühlings- und Sommermonatssummen 10 bis 32 mm weniger Niederschlag als 1951-1980. Dafür kann ein deutlicher Anstieg in den Herbstmonaten verzeichnet werden: 99% der Herbstmonatssummen betrugen 1981-2010 299 mm, eine Zunahme von 90 mm im Gegensatz zur Periode 1951-1980. Mit Hinblick auf die Jahressummen wird die Zunahme des Jahresniederschlags im Zeitraum 1981-2010 deutlich: So lagen 1951-1980 90% der Jahressummenwerte unter 751 mm. In der Zeitreihe 1981-2010 stieg jener Grenzwert auf 816 mm.

Tabelle 9: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Jahreszeiten- und Jahressummen des Niederschlages in Perzentildarstellung, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung

1951-1980	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
99%	>=291	>=387	>=209	>=183	>=852
95%	252	337	192	168	789
90%	206	328	179	162	751
80%	184	265	162	154	695
70%	175	240	152	145	654
60%	168	228	137	133	622
50%	165	205	133	123	615
40%	143	184	118	95	593
30%	129	162	108	87	572
20%	116	147	96	82	542
10%	103	131	78	76	503
5%	<=88	<=119	<=76	<=75	<=483

1981-2010	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
99%	>=259	>=360	>=299	>=219	>=889
95%	230	327	233	207	851
90%	227	319	210	187	816
80%	212	259	197	159	732
70%	187	236	154	135	697
60%	174	222	149	124	667
50%	168	204	135	120	640
40%	151	180	127	116	612
30%	141	168	121	110	593
20%	129	155	105	98	562
10%	93	142	95	88	532
5%	<=86	<=135	<=80	<=72	<=488

In Abbildung 26 wird die Anzahl der Tage, an welchen eine bestimmte Niederschlagsmenge vorkommt, dargestellt. Es wurden nur jene Tage als Datenquelle verwendet, an welchen eine Niederschlagssumme von mindestens 0,1 mm gemessen worden ist. Im Durchschnitt nahm die Anzahl der Tage bei denen Niederschlagsklassen 0,1 mm (+4 Tage), 0,5 mm (+3 Tage), 1 mm (+5 Tage), 2,5 mm (+4 Tage), 5 mm (+2 Tage) und 10mm (+1 Tag) im Zeitraum 1981-2010 zu. Die Tage, an welchen es mindestens 15 mm und größer gleich als 20 mm Niederschlag stattgefunden hat, haben sich im 60-jährigen Untersuchungszeitraum nicht verändert.

Bei den anderen Stationen wurden noch größere Veränderungen wahrgenommen. So wurde bei der Station Groß Enzersdorf im Zeitraum 1981-2010 eine Zunahme von 13 Tagen der Rubrik "0,1", bei der Station Mariabrunn wurde sogar ein Zuwachs von 34 Tagen (Mindestniederschlagsmenge von 0,5 mm) festgestellt. Jedoch weisen jene großen Unterschiede bei der Station Mariabrunn auf einen fehlerhaften Datensatz hin.

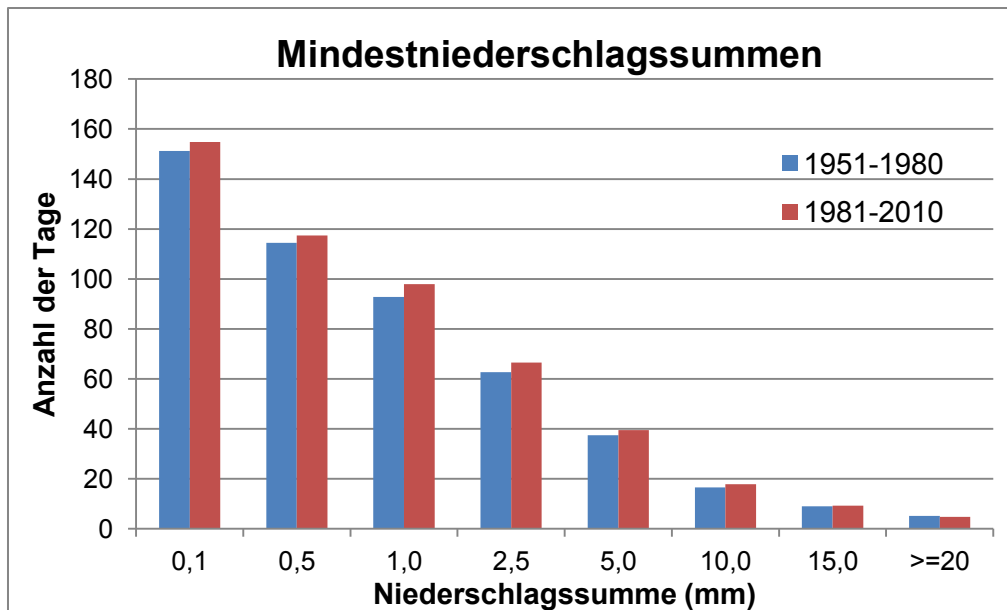


Abbildung 26: Anzahl von Tagen pro Jahr mit einer bestimmten Mindestniederschlagssumme, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung

Nicht nur die Niederschlagssumme, sondern auch die Niederschlagsdauer stellt eine wichtige Kennzahl dar. Damit ist der Zeitraum zwischen Anfang und Ende eines Niederschlagsereignisses gemeint. In der Tabelle 10 wurden für beide Zeiträume die Andauer von Niederschlagsereignissen berechnet. Es wurden insgesamt 8 verschiedene Dauerstufen verwendet, welche die Länge eines Niederschlagsereignisses wiedergeben. Weitergehend wurden jene Dauerstufen für differenzierte Jährlichkeiten ermittelt. Zum Beispiel bedeutet der Wert "73" von 1981-2010 in der Spalte "24-Stunden" in der Zeile "5-jährig" dass ein 24-stündiges Niederschlagsereignis mit einer Niederschlagsmenge von 73mm alle 5 Jahre stattfindet. Im Vergleich beider Perioden werden einige Unterschiede bemerkbar: Die geringsten Veränderungen fanden bei den Dauerstufen 1 Stunde bis 6 Stunden statt. Die Dauerstufen 12 Stunden bis 5 Tage weisen deutlich größere Unterschiede aus. So hat im 10-jährigen Mittel bei den Dauerstufen 12- und 24 Stunden von 1981-2010 die Niederschlagsmenge um 10 und 15 mm abgenommen. Im gleichen Untersuchungszeitraum konnten auch Steigerungen festgestellt werden, wie etwa beim 3-jährigen Mittel der Dauerstufe 2 Tage (+13 mm) oder beim 10-jährigen Mittel der Dauerstufe 5 Tage (+9 mm).

Tabelle 10: Länge von Niederschlagsereignissen für unterschiedliche Dauerstufen und Jährlichkeiten, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung

1951-1980	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	6 Stunden	12 Stunden	24 Stunden	2 Tage	5 Tage
1-jährig	17	21	24	29	39	54	70	94
2-jährig	24	28	29	39	48	63	85	113
3-jährig	28	35	37	41	53	65	91	128
5-jährig	31	37	41	45	60	73	118	151
10-jährig	35	45	49	55	73	90	126	168

1981-2010	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	6 Stunden	12 Stunden	24 Stunden	2 Tage	5 Tage
1-jährig	15	20	23	30	42	49	70	95
2-jährig	25	29	30	37	49	62	88	110
3-jährig	28	35	35	39	53	67	103	126
5-jährig	30	39	45	49	59	71	111	146
10-jährig	33	45	49	55	63	75	131	177

5.3. Globalstrahlung

Die Globalstrahlung ist definiert als die auf die gesamte Erdoberfläche ankommende Solarstrahlung. Sie wird unterteilt in Direkt- und Diffusstrahlung (DWD, 2015b). Die Intensität der auf eine Oberfläche eintreffende Globalstrahlung ist von unterschiedlichen Faktoren (z.B.: Sonnenstand, Wolkenbedingungen und Lage und Ausrichtung des Standortes) abhängig. Die eintreffende Strahlung wird je nach Wellenlänge und Beschaffenheit des Standortes unterschiedlich reflektiert, gestreut, absorbiert oder transmittiert (Katzensteiner, 2015).

Die Berechnungen des Parameters Globalstrahlung konnte nur auf Datenbasis der Station Hohe Warte durchgeführt werden. Bei den anderen zwei Stationen waren keine Werte vorhanden. Nur durch den Einsatz der Stundenwerte konnten brauchbare und zuverlässige Ergebnisse generiert werden.

Die in den Berechnungen und in den dargestellten Abbildungen verwendete Einheit ist Joule/cm^2 . Diese Einheit wurde deswegen gewählt weil die in der Klimacharakteristik Wiens von 1989 berechneten Tabellen und Abbildungen in Joule/cm^2 angegeben worden sind und somit ein Vergleich zwischen dieser und der älteren Auflage einfacher zu vollziehen ist. Das Verhältnis zu Watt/m^2 ist folgendes:

Formel 1: Umrechnung von Watt/m^2 in Joule/cm^2

$$0,116 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ J/cm}^2$$

5.3.1. Allgemeine Kennzahlen

Bei Betrachtung des langjährigen Verlaufs der Jahressumme der Globalstrahlung wird ersichtlich, dass diese von 1951 bis 2010 zugenommen hat (siehe Abbildung 27). Der jährliche Durchschnitt der Globalstrahlung ist von 380.000 Joule/cm^2 (1951) auf 430.000 Joule/cm^2 (2010) angestiegen, was eine Zunahme von ungefähr 50.000 Joule/cm^2 innerhalb des sechzigjährigen Untersuchungszeitraums bedeutet. Die geringste Jahressumme mit 332.871 Joule/cm^2 wurde 1980, die größte Jahressumme mit 485.542 Joule/cm^2 wurde 2003 festgestellt. Wie schon beim langjährigen Verlauf des Niederschlags wurde auch hier eine zusätzliche Datenlinie hinzugefügt, welche auf 12-jährig übergreifende gemittelte Jahressummen basiert. Dadurch ist gut zu erkennen dass im Zeitraum 1967 bis 1974 eine Senkung der Globalstrahlungsjahressummen zu sehen ist, welche nach 1974 wieder ansteigt.

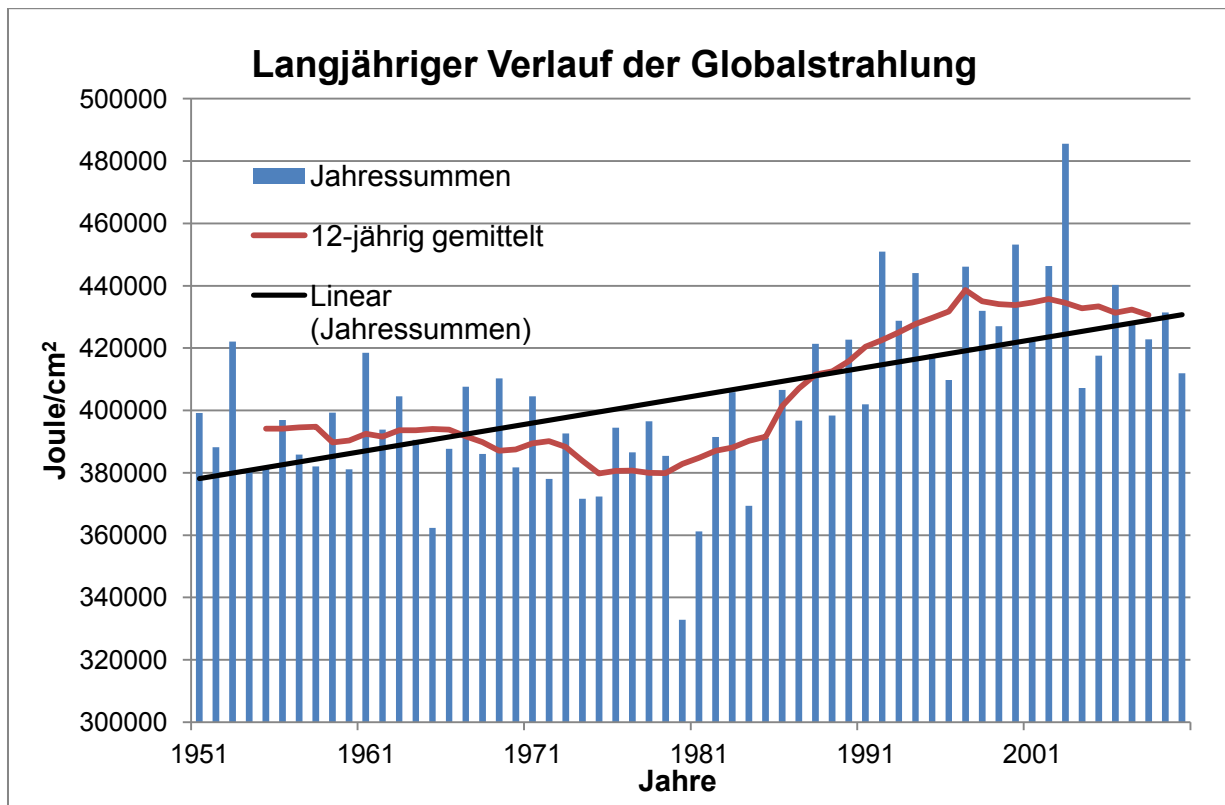


Abbildung 27: Langjähriger Verlauf der Globalstrahlung, Station-Hohe Werte, 1951-2010, J/cm^2 , eigene Darstellung

Mit Fokus auf beide Untersuchungszeiträume, wurde in Tabelle 11 die mittleren, maximalen und minimalen der Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen der Globalstrahlung miteinander verglichen. In den Frühling- und Sommermonaten haben sich die mittleren Jahreszeiteinsummen im Vergleich beider Zeiträume 1981-2010 um ungefähr 11.000 Joule/cm^2 erhöht. Weitaus geringerer Zunahmen sind im Herbst (+2.000 Joule/cm^2) und im

Winter (+4.900 Joule/cm²) ersichtlich. Bezogen auf die dreißigjährige durchschnittliche Jahressumme, ist diese 1981-2010 um 29.200 Joule/cm² angestiegen.

Auch bei den maximalen Jahreszeiteinheiten wurden im Frühling und Sommer von 1981-2010 die größten Zunahmen von zirka 12.000 und 21.500 Joule/cm² ermittelt. Der Frühling der Zeitreihe 1981-2010 hatte auch bei den minimalen Jahreszeiteinheiten den höchsten Anstieg von 12.700 Joule/cm² inne. Auffallend bei dieser Größe ist, dass im Monat Juni die minimale Monatssumme von 1981-2010 um rund 4600 Joule/cm² geringer ist als 1951-1980.

Tabelle 11: Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen der Globalstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in J/cm², eigene Darstellung

1951-1980	Mittel	Maximum	Minimum
Jän	8765	11644	5760
Feb	14311	17757	10990
März	28013	37707	19103
April	41608	51466	29918
Mai	55521	66418	42818
Juni	57839	68830	49520
Juli	58734	67060	47317
Aug	50952	58152	41584
Sept	35708	44286	25858
Okt	22454	28112	16375
Nov	9552	13502	5021
Dez	7019	10045	4862

Frühling	125142	155591	91839
Sommer	167525	194042	138421
Herbst	67714	85900	47254
Winter	30095	39446	21612

Jahr	390476	474979	299126
------	--------	--------	--------

1981-2010	Mittel	Maximum	Minimum
Jän	10184	13413	6522
Feb	17308	22695	12020
März	30693	39012	19566
April	46125	59545	39068
Mai	59386	69015	45943
Juni	61189	75757	44937
Juli	63127	74720	53113
Aug	54491	65011	46018
Sept	36741	47542	25907
Okt	22591	28874	16923
Nov	10450	13016	7085
Dez	7394	10050	5142

Frühling	136203	167572	104577
Sommer	178806	215488	144068
Herbst	69781	89432	49915
Winter	34887	46158	23684

Jahr	419678	518650	322244
------	--------	--------	--------

In Abbildung 28 wird die in Tabelle 12 aufgelistete Entwicklung der durchschnittlichen Monatssummen beider Perioden nochmals dargestellt um die Anstiege in den Frühlings- und Sommermonaten zu verbildlichen. Die darauf folgende Abbildung 29 bildet die prozentuellen Veränderungen der einzelnen Monate ab. Bei der Berechnung sollte festgestellt werden, um wie viel Prozent die Monatssummen von 1981-2010 im Vergleich zu den Monatssummen von 1951-1980 angestiegen sind. Im Jänner und Februar wurden prozentuell die höchsten, im Oktober die geringste Anstiege verzeichnet. Bezogen auf ein ganzes Jahr war die durchschnittliche Jahressumme 1981-2010 um 7% höher als 1951-1981.

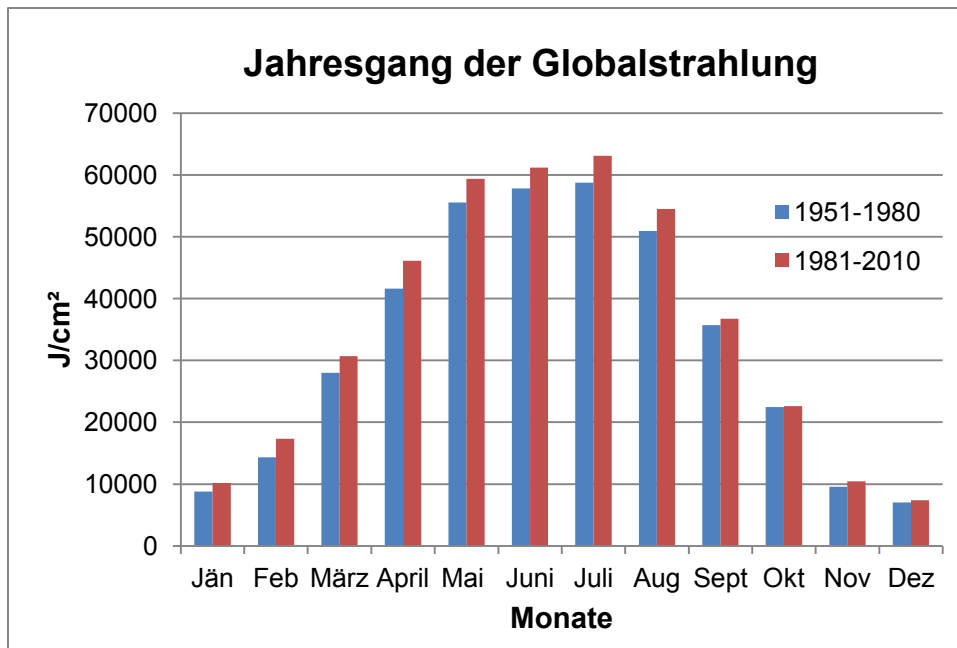


Abbildung 28: Jahresgang der Globalstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, Monatssummen, in J/cm^2 , eigene Darstellung

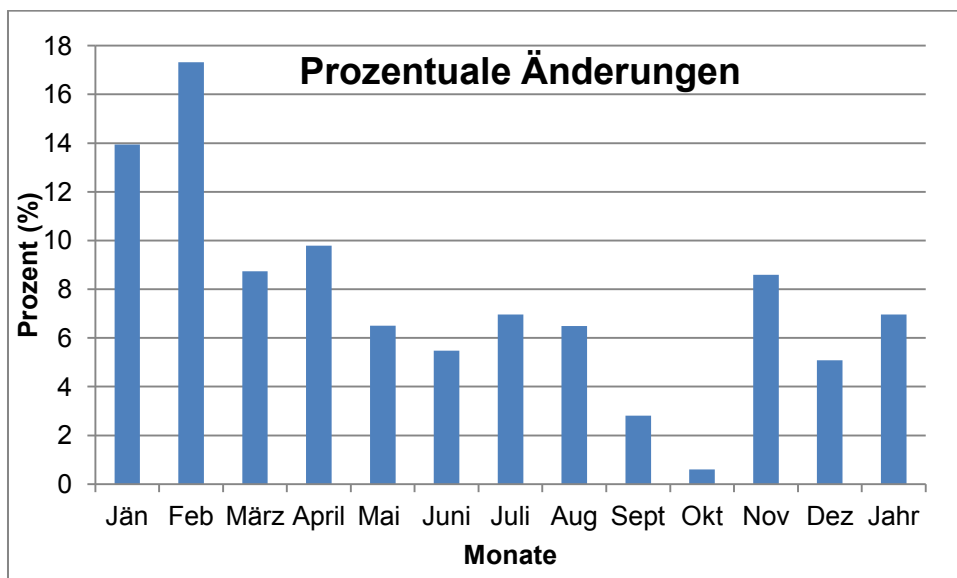


Abbildung 29: Prozentuale Veränderung der monatlichen Globalstrahlung, in %, eigene Darstellung

In Abbildung 30 ist ein Histogramm der Globalstrahlung abgebildet. Dabei wurde durch Aufsummierung von Stundenwerte Tageswerte errechnet, welche weiteres in unterschiedliche Klassen unterteilt worden sind. Die größten Veränderungen können in den niedrigeren und den höchsten Wertekategorien festgestellt werden. Einerseits nahm die Anzahl der Werte in den Werteklassen "250" (-2%) und "500" (-1%) in der Periode 1981-2010 ab, andererseits erhöhte sich 1981-2010 die relative Häufigkeit der Wertigkeiten "2500" (+0,7%), "2750" (+1%) und "3000" (+1,4%).

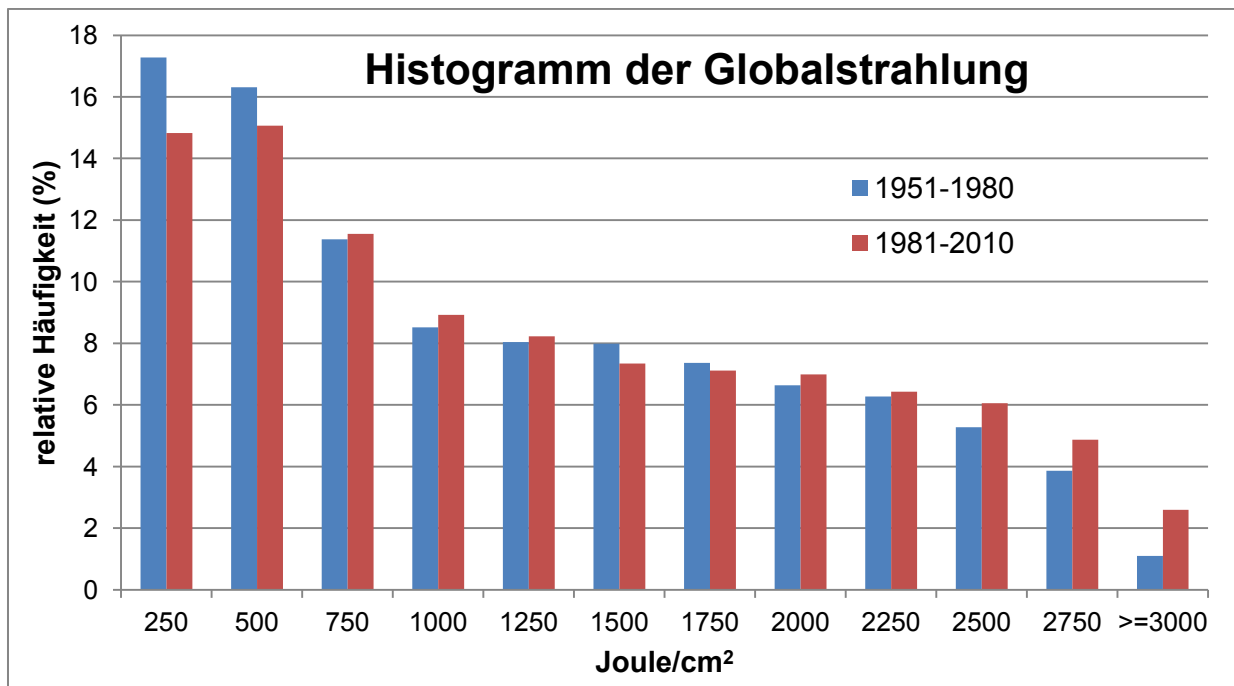


Abbildung 30: Relative Häufigkeitsverteilung der Summen der Globalstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung

Weil die Berechnungen der Globalstrahlung auf Stundenwerte basieren, war es möglich für jede Stunde eines Tages die durchschnittliche Summe der Globalstrahlung auszurechnen. Bei Betrachtung aller Monate, welche nach den Jahreszeiten gegliedert worden sind, stellte sich in Abbildung 31 heraus, dass bis auf die Abendstunden (18 bis 20 Uhr) eine Erhöhung der Globalstrahlung in den Frühlingsmonaten im Zeitraum 1981-2010 zur jeder Tageszeit stattgefunden hat und die Ausprägung jener Erhöhungen meist gleich groß sind. Auch in den Sommer-, Herbst- und Wintermonaten konnte diese Entwicklung ermittelt werden.

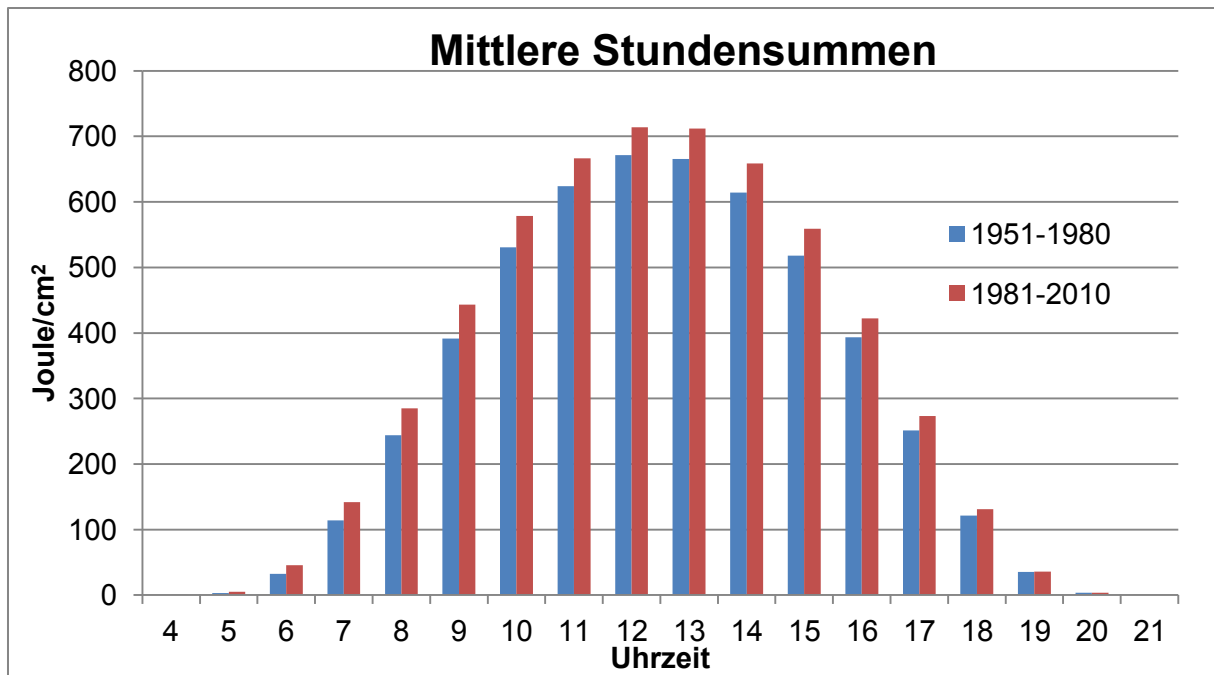


Abbildung 31: Mittlere Stundensummen der Globalstrahlung für die Jahreszeit Frühling, Wien Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in J/cm^2 , eigene Darstellung

Da sich die Globalstrahlung aus diffuser und direkter Strahlung zusammensetzt, wurde in Abbildung 32 der mittlere Jahresgang für jene drei Größen für beide Untersuchungszeiträume berechnet. Im Vergleich der dreißigjährigen Perioden stellte sich bei allen drei Strahlungseinheiten im Zeitraum 1981-2010 eine Energiezunahme heraus. Auffallend ist, dass bei der diffusen Strahlung die Kurven beider Perioden annähernd parallel verlaufen. Hingegen sind bei der direkten Strahlung die Unterschiede in einzelnen Monaten (z.B.: Juli) stärker ausgeprägt, was durch die in entgegengesetzte Richtung verlaufende Kurven beider Zeitreihen erkennbar ist. Außerdem wird ersichtlich, dass im dreißigjährigen Vergleich die Herbstmonate die geringsten bzw. keine Veränderungen aufzeigen. Die stärksten Abänderungen können in den Monaten April, Mai und Juli (Differenz von bis zu 200 Joule/cm^2) ermittelt werden.

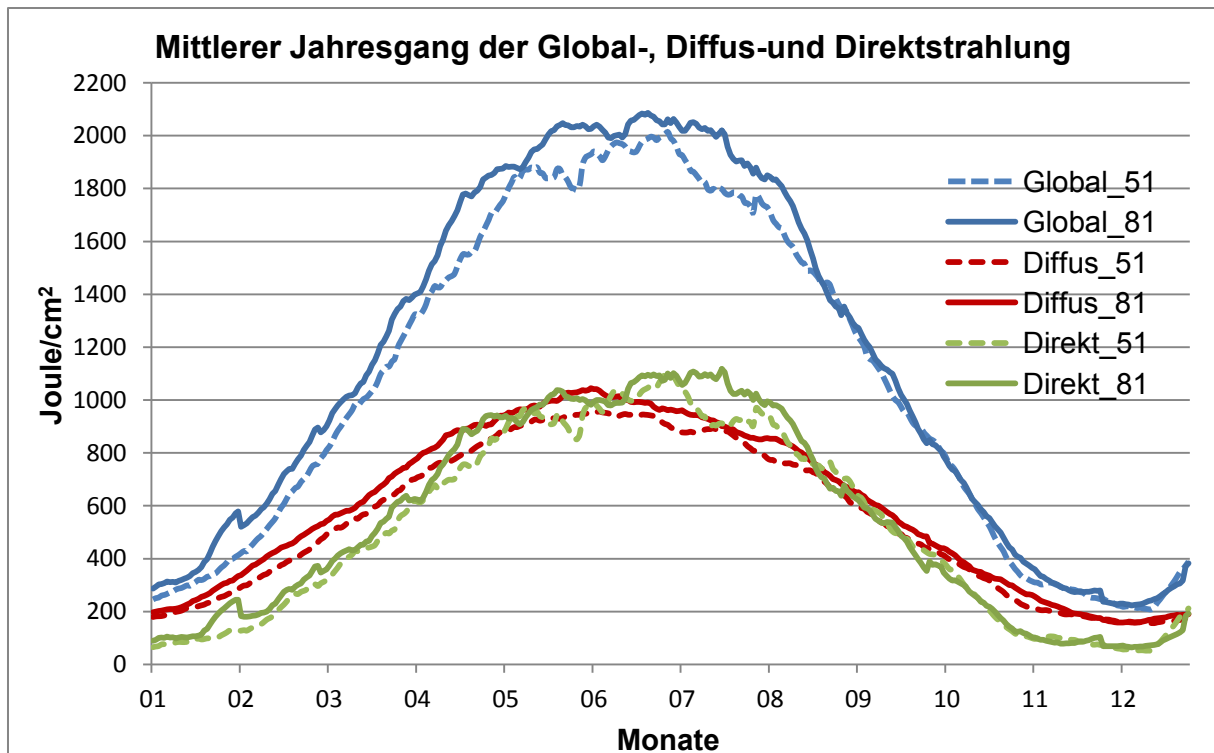


Abbildung 32: Mittlerer Jahresgang der Global-, Diffus- und Direktstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in J/cm^2 , eigene Darstellung

5.4. Sonnenscheindauer

Eine weitere Messgröße in Bezug zur Sonnenstrahlung ist die Sonnenscheindauer. Sie ist definiert als die Dauer der direkten Sonnenstrahlung die an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit eintrifft. Durch ein spezielles Strahlungsmessgerät (Brandspurmethode) kann die Strahlungsstärke ermittelt werden, wodurch bei einem Messwert von über $120 \text{ Watt}/\text{m}^2$ ($1034 \text{ J}/\text{cm}^2$) die festgestellte Strahlung dem "Sonnenschein" zugeordnet wird (LANUV, 2015). Im Gegensatz zur Globalstrahlung stellt die Sonnenscheindauer keine Strahlungsgröße dar (Auer et. al., 1989, S. 197).

Vergleichend zur Globalstrahlung wurden die Berechnungen auch auf Stundenwertebasis durchgeführt, die auf Tages- und Monatswertebasis erweitert worden sind. Weiteres stammen die hier verwendeten Werte nur von den Station Hohe Warte ab, bei den Stationen Groß Enzersdorf und Mariabrunn waren keine langjährigen Datensätze vorhanden.

5.4.1. Allgemeine Kennzahlen

Da die Globalstrahlung im Mittel seit 1951 zugenommen hat, wird auch bei der Sonnenscheindauer mit einer ähnlichen Entwicklung gerechnet. Um jene Vermutung zu bestätigen wird, in Abbildung 33 der langjährige Verlauf der Sonnenscheindauer wiedergegeben. Jeder einzelne blaue Balken stellt die absolute Summe der Sonnenscheinstunden eines Jahres dar. Die durchschnittliche Jahressumme ist am Anfang der Zeitreihe von zirka 1750 Stunden/Jahr auf knappe 2000 Stunden/Jahr am Ende des Untersuchungszeitraumes angestiegen, was eine Zunahme von 250 Stunden bedeutet. Betrachtet man den Datenverlauf mit Hilfe der 12-jährig übergreifend gemittelten Kurve der Jahressummen genauer dann wird ersichtlich, dass die Summe der Sonnenscheindauer von 1975 bis 1985 niedriger war als in den vor- und nachkommenden Jahren.

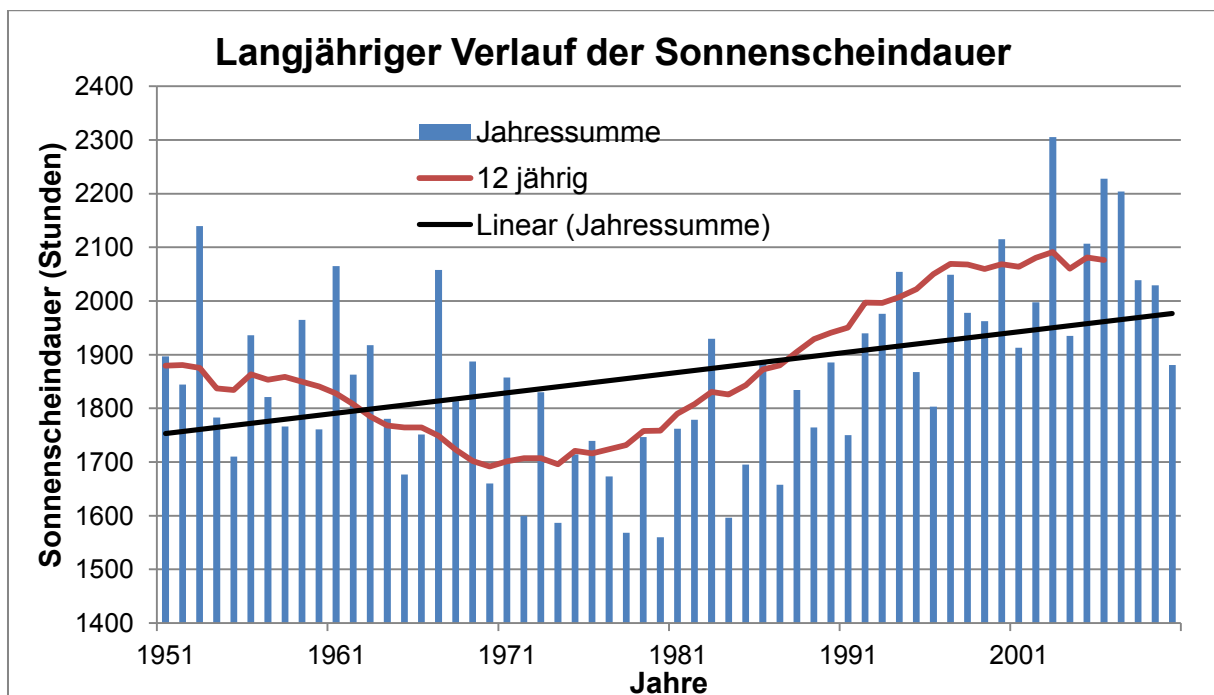


Abbildung 33: Langjähriger Verlauf der Sonnenscheindauer, Station Hohe Warte, 1951-2010, in Stunden, eigene Darstellung

Mit Hinblick auf den Vergleich der dreißigjährigen Untersuchungszeiträume hat die mittlere Jahressumme im Zeitraum 1981-2010 um 130 Stunden zugenommen (siehe Tabelle 12). Die größten Anstiege der durchschnittlichen Monatssummen fanden in der Periode 1981-2010 in den Frühlings- (+52 Stunden), Sommer- (+36 Stunden) und Wintermonaten (+42 Stunden) statt. Die Herbstmonate wiesen keine Veränderungen auf. Eine gleiche Entwicklung konnte bei den absoluten maximalen und minimalen Monatssummen wahrgenommen werden. Auffallend ist der Monat April: Die maximale Monatssumme von 1951-1980 betrug 240

Stunden im Jahr 1969. Im Zeitraum 1981-2010 wurde eine maximale Monatssumme von 317 Stunden im Jahr 2007 aufgezeichnet. Eine Differenz von insgesamt 77 Stunden.

Tabelle 12: Statistische Parameter der Sonnenscheindauer für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, eigene Darstellung

1951-1980	Mittel	Maximum	Minimum
Jän	55	110	23
Feb	75	133	31
März	125	217	61
April	175	240	101
Mai	226	314	150
Juni	232	302	177
Juli	247	321	147
Aug	235	292	175
Sept	181	261	94
Okt	138	203	86
Nov	60	116	14
Dez	49	90	19

Frühling	526	770	312
Sommer	715	915	499
Herbst	380	580	194
Winter	179	333	73

Jahr	1799	2598	1078
------	------	------	------

1981-2010	Mittel	Maximum	Minimum
Jän	70	120	28
Feb	100	167	36
März	143	213	68
April	197	317	140
Mai	239	305	142
Juni	236	322	179
Juli	263	363	173
Aug	251	323	187
Sept	182	271	84
Okt	133	212	85
Nov	66	100	30
Dez	51	87	21

Frühling	578	835	350
Sommer	750	1009	539
Herbst	380	583	199
Winter	221	374	85

Jahr	1929	2800	1173
------	------	------	------

In Bezug auf Veränderungen von definierten Werteklassen der Sonnenscheindauer wurde in Abbildung 34 eine relative Häufigkeitsverteilung berechnet. Als Datengrundlage dienen die Stundensummenwerte jedes Tages des sechzigjährigen Untersuchungszeitraumes. Die größte Veränderung wurde bei der Klasse "0", die Anzahl der Stunden, an denen kein Sonnenschein gemessen wurde, ermittelt. Im Zeitraum 1981-2010 nahm die Anzahl jener Klasse um 3% ab. In absoluten Zahlen bedeutet das, dass es 378 sonnenscheinlose Stunden (in Summe 16 Tage) in der Periode 1981-2010 weniger gab als 1951-1980. Dafür konnten in den Kategorien "2,5", "12,5" und "15" Sonnenscheinstunden ein Zuwachs von 1 bis 1,5% im Zeitraum 1981-2010 herausgefunden werden. Geringe Veränderungen fanden im Wertebereich von 5 bis 10 Sonnenscheinstunden statt.

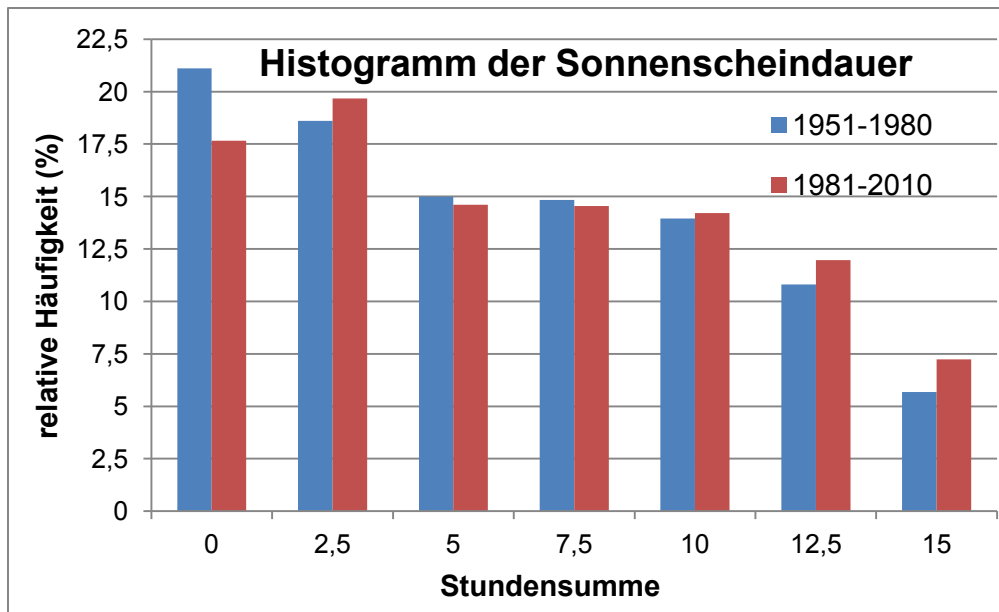


Abbildung 34: Relative Häufigkeitsverteilung der Sonnenscheindauertagessummen, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung

5.5. Luftfeuchtigkeit

Der Begriff Luftfeuchtigkeit bezeichnet den Wasserdampfgehalt der Luft. Die zwei wichtigsten Berechnungsgrößen sind die absolute Feuchte (g/m^3), welche das Gewicht des Wasserdampfs in 1m^3 feuchter Luft beschreibt und die relative Luftfeuchte (%), die das Verhältnis vom maximal möglichen zum tatsächlichen vorhandenen Wasserdampf in Prozent widerspiegelt. Neben diesen gibt es noch andere Größen, wie etwa der Dampfdruck, das Mischungsverhältnis, der Taupunkt oder die Enthalpie. Die Kenntnis über den Zustand der Luftfeuchtigkeit stellt in praktischen Sachgebieten, wie zum Beispiel im gesundheitlichen Bereich (z.B.: Schwüle-Belastung für den Menschen) eine wichtige Größe dar (Auer et. al., 1989, S. 61).

In dieser Arbeit wurden die Parameter relative Feuchte und Dampfdruck berechnet. Auch bei diesen Größen wurde erkannt, dass die Werte auf Tagesbasis zu ungenau waren. Eine Neuberechnung der Kennzahlen auf Stundenwertebasis führte zur Gewissheit zuverlässige Ergebnisse generiert zu haben.

5.5.1. Allgemeine Kennzahlen

Mit Blick auf die langjährige Entwicklung der mittleren jährlichen Luftfeuchte in Abbildung 35 wird erkenntlich, dass jene Größe von 1951 bis 2010 nur um zirka 0,5% angestiegen ist. Auffallend ist das Jahr 1992 mit einem Jahresmittelwert von 67,2% und das Jahr 1996 mit einem Jahresmittelwert von 78,3%. Beim letzteren konnten in den Stundendatensätzen aus dem Jahr 1996 in den Monaten Jänner und November einige Tage ausfindig gemacht werden, in denen alle 24-Stundenwerte 100% betrugen. Jene Werte wurden durch Schätzwerte ersetzt, wodurch der Jahresmittelwert von 79 auf 78,3% geschrumpft ist. Durch Berechnung der 12-jährigen übergreifenden Mittelwerte der Jahresmittelwerte wird eine Verringerung der Kurve im Zeitraum 1970 bis zirka 1985 ersichtlich.

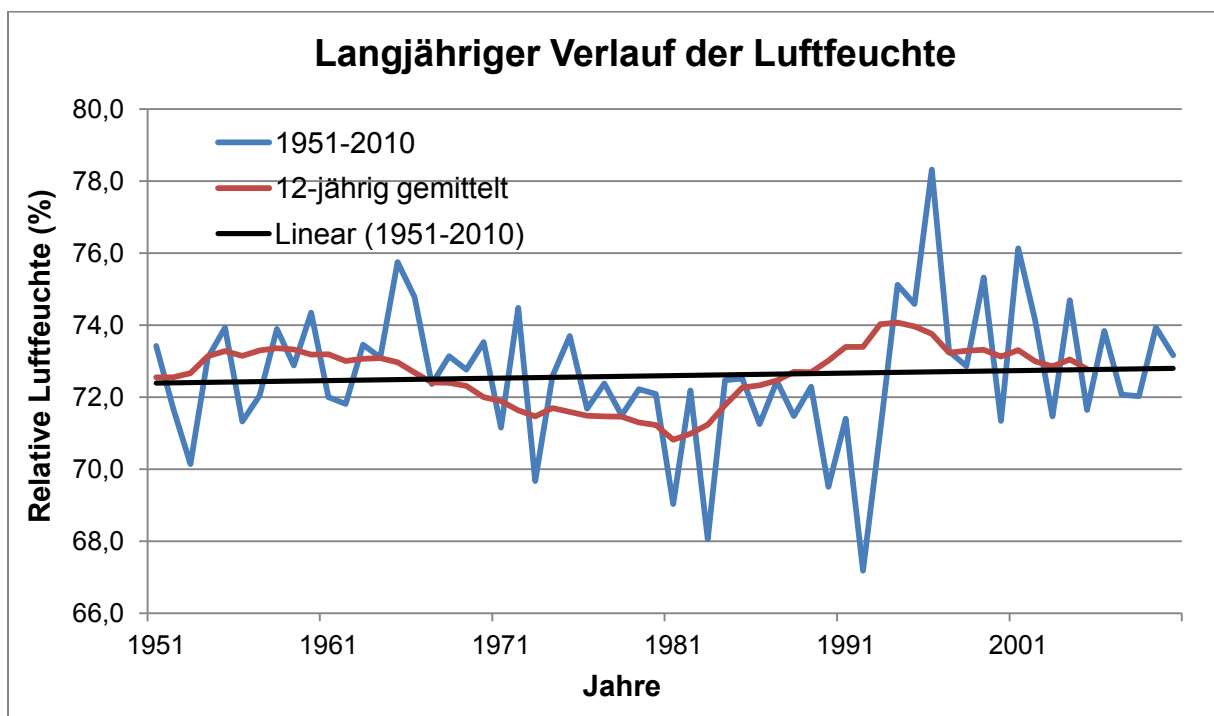


Abbildung 35: Langjähriger Verlauf der Luftfeuchte, Station Hohe Warte, 1951-2010, Jahresmittelwerte, in %, eigene Darstellung

In Betrachtung der beiden Untersuchungszeitreihen, wurden in Tabelle 13 die Mittel- und Extremwerte für die einzelnen Monate, Jahreszeiten und das Jahr berechnet. Beim Mittelwert wurden kaum Unterschiede zwischen den Perioden festgestellt. Hingegen wurde beim tiefsten Mittel eine Steigerung in den Monaten Jänner 1981 (+7% mehr als im tiefsten Mittel von 1951-1980 [Jänner 1952]), Juli 1983 (+8%) und August 1992 (+8%) im Zeitraum 1981-2010 erkannt.

Tabelle 13: Mittelwert, Streuung und Extremwerte der Monate, Jahreszeiten und das Jahr der relativen Feuchte, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung

1951-1980	Mittelwert	Streuung	Höchstes Mittel	Jahr	Tiefstes Mittel	Jahr
Jän	79,6	4	87,6	1974	73,3	1952
Feb	75,9	4	83,8	1972	67,4	1975
März	69,6	5	81,6	1964	56,5	1953
April	64,0	4	71,3	1980	54,1	1974
Mai	66,5	4	74,1	1972	58,3	1979
Juni	68,2	3	74,0	1965	57,6	1976
Juli	66,7	4	73,1	1965	59,1	1976
Aug	69,1	4	77,6	1955	59,3	1973
Sept	72,9	4	78,7	1967	63,3	1956
Okt	78,4	3	84,9	1976	69,3	1959
Nov	80,6	4	89,4	1958	69,2	1973
Dez	80,9	3	87,2	1964	72,0	1980

Frühling	66,7	5	81,6	1964	54,1	1974
Sommer	68,0	4	77,6	1955	57,6	1976
Herbst	77,3	5	89,4	1958	63,3	1956
Winter	78,8	4	87,6	1974	67,4	1975

Jahr	72,7	7	88,9	1958	52,3	1974
------	------	---	------	------	------	------

1981-2010	Mittelwert	Streuung	höchstes Mittel	Jahr	tiefstes Mittel	Jahr
Jän	78,5	5	89,8	1996	66,5	1981
Feb	74,3	4	79,7	1994	62,5	1998
März	69,5	6	77,4	2001	56,7	1990
April	65,0	5	71,5	2001	51,9	1982
Mai	67,4	4	73,0	2010	57,2	1993
Juni	68,0	4	70,4	1995	54,0	2000
Juli	66,2	5	72,1	1997	51,2	1983
Aug	67,6	5	73,8	1996	51,7	1992
Sept	73,6	5	81,7	1996	63,9	1992
Okt	78,1	3	84,0	1982	68,9	1983
Nov	80,6	3	87,3	1993	73,4	1983
Dez	81,4	3	88,6	1995	75,3	1983

Frühling	67,3	5	79,6	1996	54,5	1982
Sommer	67,3	4	76,2	1996	52,3	1992
Herbst	77,4	5	87,6	1993	63,4	1992
Winter	78,1	5	90,7	1996	64,5	1998

Jahr	72,5	8	89,8	1996	51,2	1983
------	------	---	------	------	------	------

5.5.2. Dampfdruck

Der Dampfdruck beschreibt den Partialdruck von Wasserdampf in einem Wasserdampf-Luftgemisch. Er ist abhängig von der Lufttemperatur und ein Maß für den Feuchtigkeitsgehalt in der Luft (DWD, 2015c).

Mit Hilfe der Magnus-Formel (Formel 2) konnte über die Lufttemperatur der Sättigungsdampfdruck E berechnet werden.

Formel 2: Magnus-Formel

$$E = a1 * \exp [a2 * t / a3 + t]$$

E=Sättigungsdampfdruck

a1=6,112 hPa

a2=17,62

a3=243,12 °C

t=Temperatur [K]

hPa= Hektopascal

Der Sättigungsdampfdruck ist jener Druck, bei dem sich die Gaskomponente im Gleichgewicht mit der flüssigen oder festen Komponente befindet. Folgend konnte der Dampfdruck über den Sättigungsdampfdruck und relative Luftfeuchtigkeit mit folgender Formel ausgerechnet werden, als Einheit wurde Hektopascal (hPa) verwendet.

Formel 3: Berechnung des Dampfdrucks

$$e = F * E/100$$

e=Dampfdruck

F=relative Luftfeuchtigkeit

E=Sättigungsdampfdruck

Die Berechnungen wurden auf Stundenwerte- und Tageswertebasis durchgeführt. Grund dafür ist, dass bei der Berechnung mit Stundenwerten der relativen Feuchte und Lufttemperatur die Ergebnisse nicht mit jenen der Klimacharakteristik Wiens von 1989 übereinstimmten. Erst als die Lufttemperaturwerte auf Tageswertebasis und die relative Luftfeuchtwerte auf Stundenwertebasis beruhten stimmten die Ergebnisse überein.

5.5.2.1. Allgemeine Kennzahlen

Im Gegensatz zur relativen Luftfeuchte konnte beim langjährigen Verlauf des mittleren jährlichen Dampfdruckes in Abbildung 36 eine deutliche Zunahme festgestellt werden. So ist der Jahresmittelwert seit Beginn der Zeitreihe um 1 hPa gestiegen, von durchschnittlich 9,5 hPa/Jahr auf 10,5 hPa/Jahr am Ende des Untersuchungszeitraumes. Auch bei dieser Größe ist es auffällig, dass von 1965 bis 1975 eine Verringerung des mittleren jährlichen Dampfdruckes stattgefunden hat.

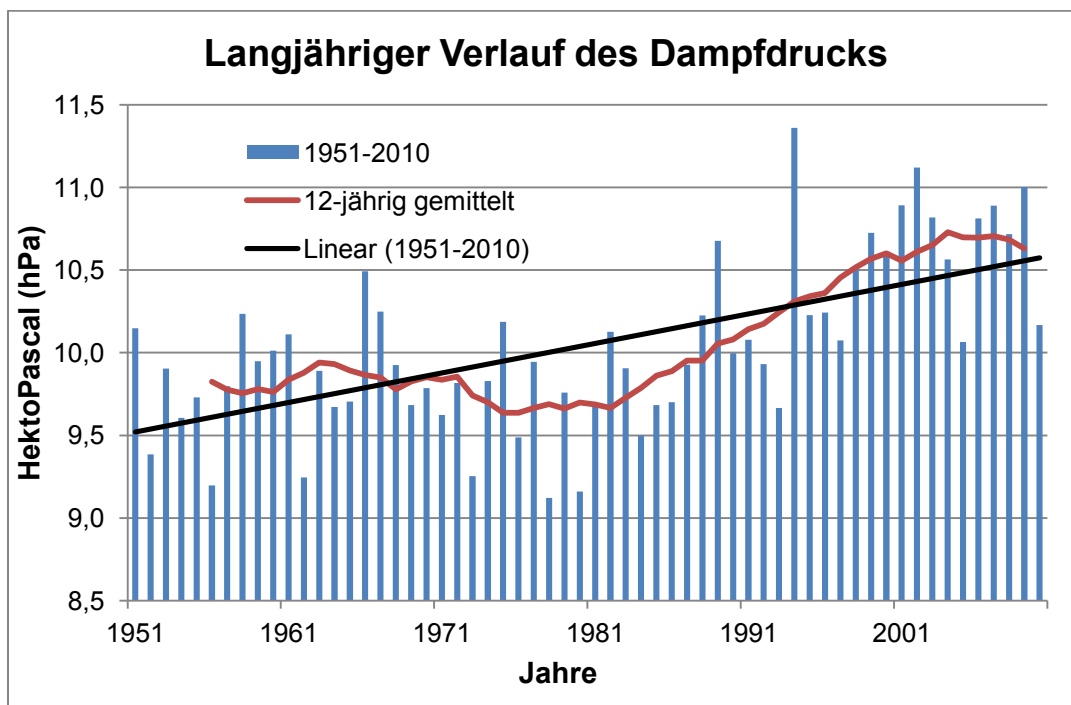


Abbildung 36: Langjähriger Verlauf des Dampfdruckes, Station Hohe Warte, 1951-2010, Jahresmittelwerte, in hPa, eigene Darstellung, eigene Darstellung

In Abbildung 37 werden die Veränderungen zwischen den Jahresgängen des Dampfdruckes von 1951-1980 und 1981-2010 dargestellt. Deutlich zu sehen sind die Steigerungen in den Sommermonaten und im Mai von durchschnittlich 0,7 bis 1 hPa im Zeitraum 1981-2010. In den restlichen 8 Monaten konnten Erhöhungen der Monatsmittel um zirka 0,1 bis 0,6 hPa festgestellt werden.

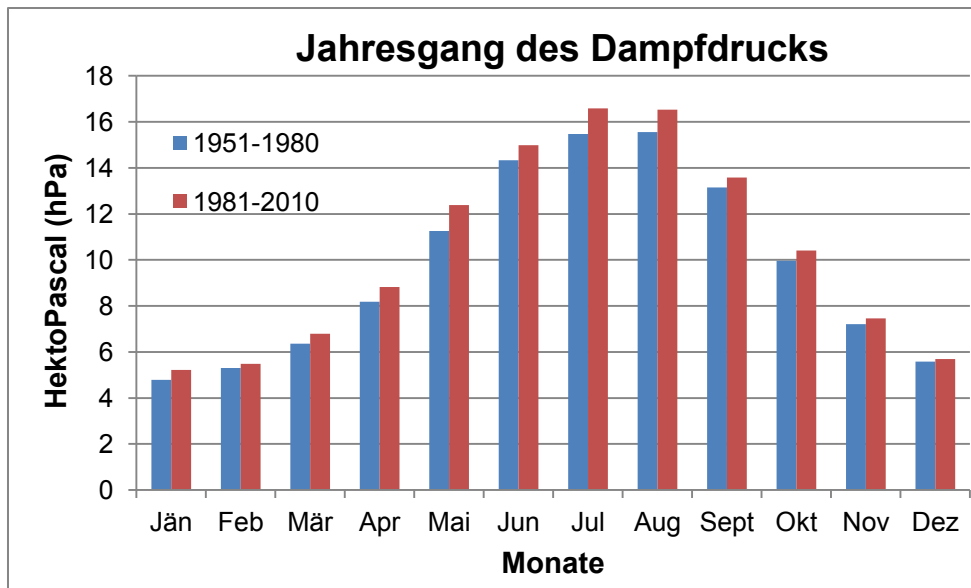


Abbildung 37: Jahresgang des Dampfdrucks, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in hPa, eigene Darstellung

Auch bei der Verteilung der verschiedenen Werteklassen konnten Veränderungen beobachtet werden (siehe Abbildung 38). Dabei hat sich die relative Häufigkeit der Kategorien "5" und "7,5" hPa im Zeitraum 1981-2010 um 1,5 und 2% verringert. Von 10 bis 15 hPa konnten nur geringe Unterschiede festgestellt werden. Erst bei den höheren Klassen hat die relative Häufigkeit der Wertekategorien 17,5 hPa (+1,2%) und ≥ 20 hPa (+3,3%) in der Periode 1981-2010 zugenommen.

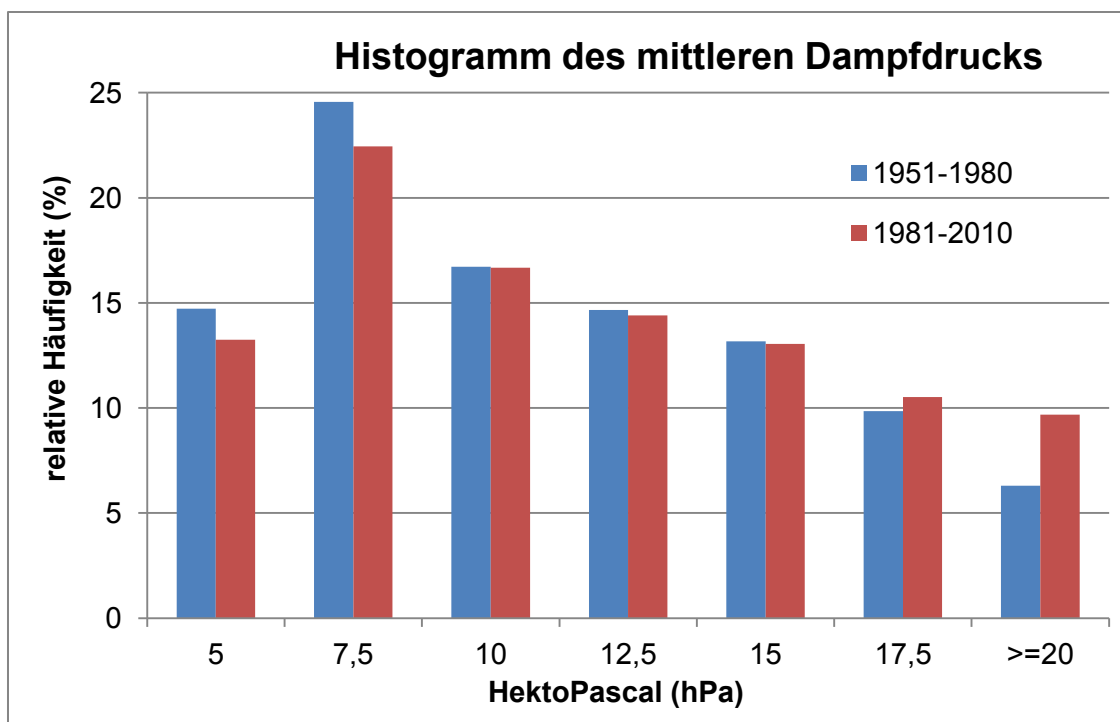


Abbildung 38: Relative Häufigkeitsverteilung des mittleren Dampfdrucks, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung

6. Diskussion

Auf den nächsten Seiten werden die Ergebnisse interpretiert und kritisch reflektiert. An dieser Stelle sollen die Forschungsfragen dieser Arbeit wiederholt werden, die wären:

- Wie hat sich das Klima der Stadt Wien von 1951 bis 2010 entwickelt, welche Veränderungen bei welchen Klimaparameter können zwischen den Untersuchungszeiträumen 1951-1980 und 1981-2010 festgestellt werden?
- Sind die Ergebnisse der Klimakartographie Wiens (1989) für gegenwärtige Anwendungen noch von Nutzen?

Die Interpretation der Entwicklungen und Veränderungen der einzelnen Klimaparameter im 60jährigen Untersuchungszeitraum werden zusätzlich mit Hilfe eines Literaturvergleichs, im speziellen mit folgenden drei Publikationen durchgeführt:

- "Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien" (Institut für Meteorologie an der Universität für Bodenkultur)
- Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (Österreichische Akademie der Wissenschaften)
- Klima und Bioklima von Wien (ZAMG, Hohe Warte)

Neben diesen drei Arbeiten werden für bestimmte Fragestellungen auch andere Quellen herangezogen, wie auch die Klimacharakteristik von Wien aus dem Jahr 1989. Der Fokus richtet sich deswegen auf jene drei Studien, da sie sich am konkretesten mit der Thematik "Klima von Wien" beschäftigen. Die Arbeit "Klima und Bioklima von Wien" beinhaltet die ältesten verwertbaren Klimaaufzeichnungen seit dem Jahre 1775. Jene Wetterdaten der Station Hohe Warte werden in der Diskussion dargestellt um einen längerfristigen Verlauf der Parameter wiederzugeben.

Beeinflussungen zwischen einzelnen Klimagrößen werden bei der Reflexion der Ergebnisse berücksichtigt und angesprochen.

6.1.1. Lufttemperatur

In Betrachtung der berechneten Größen ist ein deutlicher Trend erkennbar: Die mittlere jährliche Lufttemperatur der Wetterstation Hohe Warte ist im Untersuchungszeitraum 1981-2010 gegenüber 1951-1980 um 0,6°C angestiegen. Auch bei den mittleren jährlichen minimalen und maximalen Lufttemperaturen konnte in der Periode 1981-2010 ein höheres Temperaturniveau festgestellt werden. Dieser Trend wird durch die Verschiebung der Häufigkeit der Werte von den kälteren zu den wärmeren Lufttemperaturklassen im Vergleichszeitraum noch weiter bestätigt. Mit Hilfe von Abbildung 39 soll der Zusammenhang zwischen Mittel- und Extremwerte erklärt werden. Durch den Anstieg der mittleren Temperatur verschiebt sich die Kurve zu einem wärmeren Temperaturniveau. Dadurch kommen Extremwerte höherer Temperaturen häufiger und Extremwerte niedrigerer Temperaturen seltener vor. Jene Abbildung ist auch für andere Parameter, bei denen eine Erhöhung des Mittelwerts festgestellt worden ist, gültig.

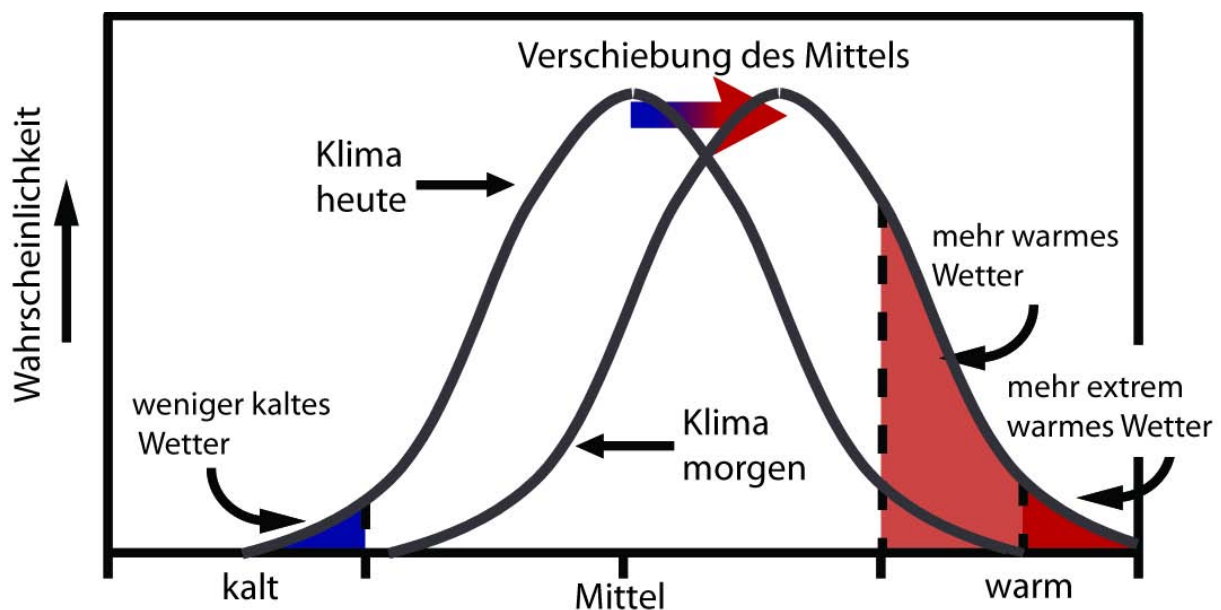


Abbildung 39: Verschiebung des Mittelwertes und ihre Folgen auf die Extremwerte, Quelle: DKK, 2015

Um die Temperaturentwicklung von 1951 bis 2010 in einem größeren Kontext darzustellen, wird in Abbildung 40 der langjährige Verlauf der mittleren jährlichen Lufttemperatur der Station Hohe Warte abgebildet. Jene Jahresmittelwerte basieren auf ein von der ZAMG ins Leben gerufenes Forschungsprojekt namens HISTALP (Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region). Ziel und Aufgabe dieses Projektes ist es, aus gesammelten historischen Wetterdaten des Alpengebietes homogenisierte und fehlerfreie Datensätze zu erstellen (ZAMG, 2015d).

Mit Hilfe dieses Projektes war es möglich, die Lufttemperaturaufzeichnungen der Station Hohe Warte bis ins Jahr 1775 wiederzugeben. Durch Betrachtung der 20jährig geglätteten Trendlinie wird ersichtlich, dass sich von 1775 bis 2010 der durchschnittliche Jahresmittelwert um 1,5°C zugenommen hat.

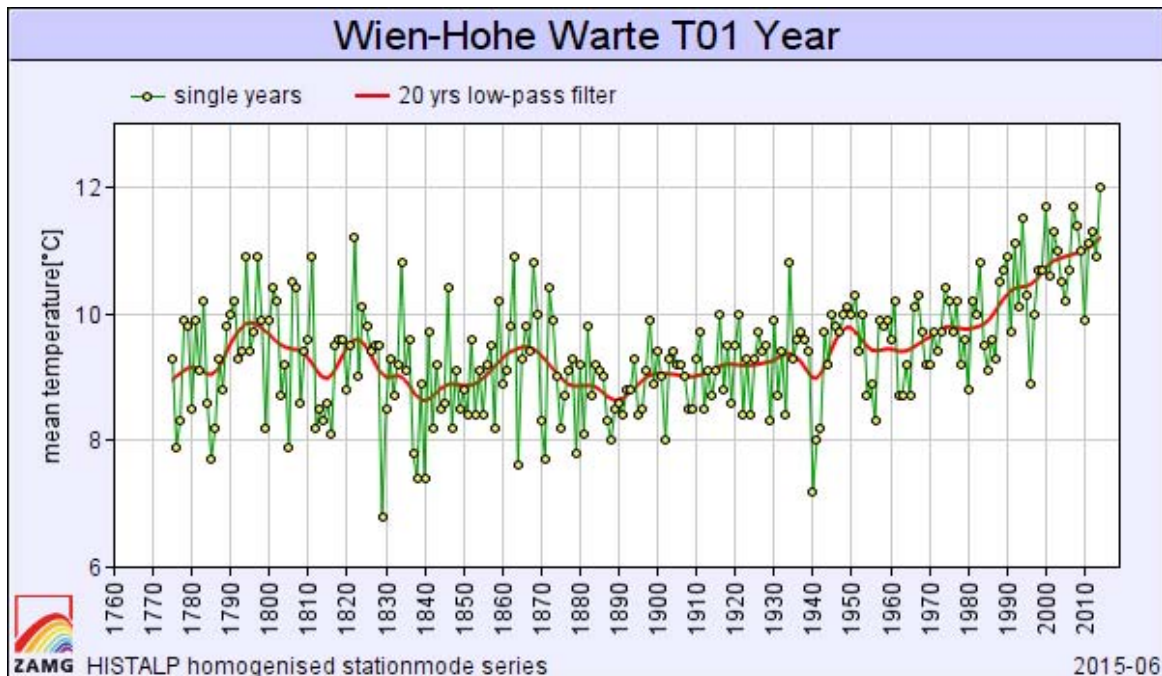


Abbildung 40: Langjähriger Verlauf der mittleren jährlichen Temperatur, 1770-2010, Station Hohe Warte, °C, berechnete und beobachtete Datensätze, Quelle: ZAMG, 2015d

Um die Genauigkeit des HISTALP-Datensatzes zu bestätigen, werden in Tabelle 15 Messwerte der Station Hohe Warte seit 1775 aus der Arbeit "Klima und Bioklima von Wien" abgebildet. Im Vergleich zwischen den HISTALP-Daten und den beobachteten Werten ergaben sich zwischen den einzelnen Monaten und Jahren Unterschiede von maximal 0,3°C. Jene Differenz fällt in die natürliche Schwankungsbreite.

Bei den beobachteten Werten wird von 1775 bis 1950 (gegliedert in 3 Perioden) eine gleichbleibende jährliche Durchschnittstemperatur von 9,4°C ersichtlich. Im Vergleich mit den Zeiträumen 1951-1980 und 1981-2010 wird eine Temperaturerhöhung sichtbar. So war der Jahresmittelwert 1951-1980 um 0,5°C, 1981-2010 um 1°C höher als 1775-1954.

Tabelle 14: Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittelwerte der Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1775-1954, 1851-1950, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet

Temperatur	1775-1954	1851-1950	1901-1950	1951-1980	1981-2010
Jän	-1,6	-1,4	-1,0	-0,8	0,3
Feb	0,3	0,3	0,4	1,1	1,6
März	4,2	4,3	4,8	4,9	5,8
April	9,6	9,4	9,5	10,1	10,8
Mai	14,6	14,2	14,3	14,7	15,7
Juni	17,8	17,5	17,4	18,2	18,8
Juli	19,6	19,4	19,3	19,9	20,9
Aug	19,0	18,6	18,5	19,2	20,2
Sept	15,1	15,0	14,9	15,4	15,5
Okt	9,7	9,7	9,5	10,0	10,3
Nov	4,0	3,9	4,4	5,0	5,1
Dez	0,1	0,1	0,8	1,2	1,1
Jahr	9,4	9,3	9,4	9,9	10,5

HISTALP	1775-1954	1851-1950	1901-1950
Jän	-1,9	-1,6	-1,3
Feb	0,2	0,0	0,0
März	4,1	4,1	4,5
April	9,4	9,3	9,2
Mai	14,3	14,1	14,3
Juni	17,5	17,5	17,4
Juli	19,4	19,5	19,4
Aug	18,6	18,4	18,2
Sept	14,8	14,7	14,4
Okt	9,5	9,4	9,2
Nov	3,8	3,8	4,2
Dez	0,0	0,0	0,7
Jahr	9,2	9,1	9,2

Ein weiterer interessanter Punkt ist die Entwicklung der Lufttemperaturwerte der Stationen Mariabrunn und Groß Enzersdorf zwischen 1950 bis 2010. Wie bei der Station Hohe Warte fand 1981-2010 eine Steigerung der durchschnittlichen Jahrestemperatur von 0,6°C gegenüber 1951-1980 statt.

Zusätzlich wurden die jährlichen mittleren Temperaturminima aller drei Stationen von 1951 bis 2010 berechnet: Im Zeitraum 1981-2010 war die Station Groß Enzersdorf um 1°C (von 5,3°C auf 6,3°C), die Station Hohe Warte um 0,8°C (von 6,2°C auf 8°C) und die Station Mariabrunn um 2,4°C (von 3,4°C auf 5,8°C) wärmer als 1951-1980. Der hohe Anstieg bei der Station Mariabrunn ist durch die drastische Erhöhung von 3°C zwischen 1962 und 1966 begründbar. Folglich ist ein einheitlicher ansteigender Trend der mittleren Jahrestemperatur und der jährlichen mittleren Temperaturminima bei allen drei Stationen ersichtlich. Anhand

der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und der Darstellung des längerfristigen Verlaufs, kann der festgestellte Temperaturanstieg in Wien mit den Erwartungen der Temperaturerhöhung auf globaler Ebene verglichen werden.

Der Wärmeinseleffekt, welcher für unterschiedliche Temperaturverteilungen innerhalb der Stadt Wien verantwortlich ist, stellt einen zusätzlichen Faktor im Bereich der Lufttemperatur dar. Wie schon in der Einleitung erwähnt, handelt es sich hierbei um das häufigere Vorkommen von höheren Temperaturniveaus in Stadtteilen, in welchen eine hohe Verbauungsdichte und ein geringer Grünflächenanteil vorhanden sind. Vor allem in den Sommernächten sind mittlere Temperaturunterschiede von bis zu 2,5°C zwischen Stadtzentrum und Stadtrand verzeichnet worden. Weiteres sind in den Wintermonaten die Lufttemperaturen durch verstärktes Heizaufkommen im Stadtzentrum höher als im Umland (Auer et. al., 1989, S. 248). Im österreichischen Sachstandbericht wird im Band "Klimawandel in Österreich: Einflussfaktoren und Ausprägungen" ebenfalls auf die Thematik des Wärmeinseleffekts in Wien näher eingegangen. Nicht nur Änderungen der Lufttemperatur sondern auch des Strahlungshaushaltes, der Feuchtigkeitsverhältnisse und der Luftqualität finden auf Grund jenes Phänomens statt (APCC, 2014a, S.356). Auch in dieser Arbeit konnte durch einen innerstädtischen Vergleich zwischen der Station Hohe Warte und Innere Stadt im Zeitraum 1981-2010 jener Wärmeinseleffekt bestätigt werden. Die mittlere Jahrestemperatur der Station Innere Stadt ist um 1°C wärmer als die der Station Hohe Warte. Mit Hilfe der Darstellung des mittleren Tagesgangs in Abbildung 41 wird der Temperaturunterschied zwischen Stadtzentrum und Stadtrand nochmals verdeutlicht. Darauf lässt sich gut erkennen, dass die Temperaturunterschiede zwischen der Station Hohe Warte und Innere Stadt während der Nachtstunden stärker ausgeprägt sind als am Tag. Der Vergleich konnte auf Grund fehlender Stundendatensätze der Station Innere Stadt erst ab dem Jahr 1984 durchgeführt werden.

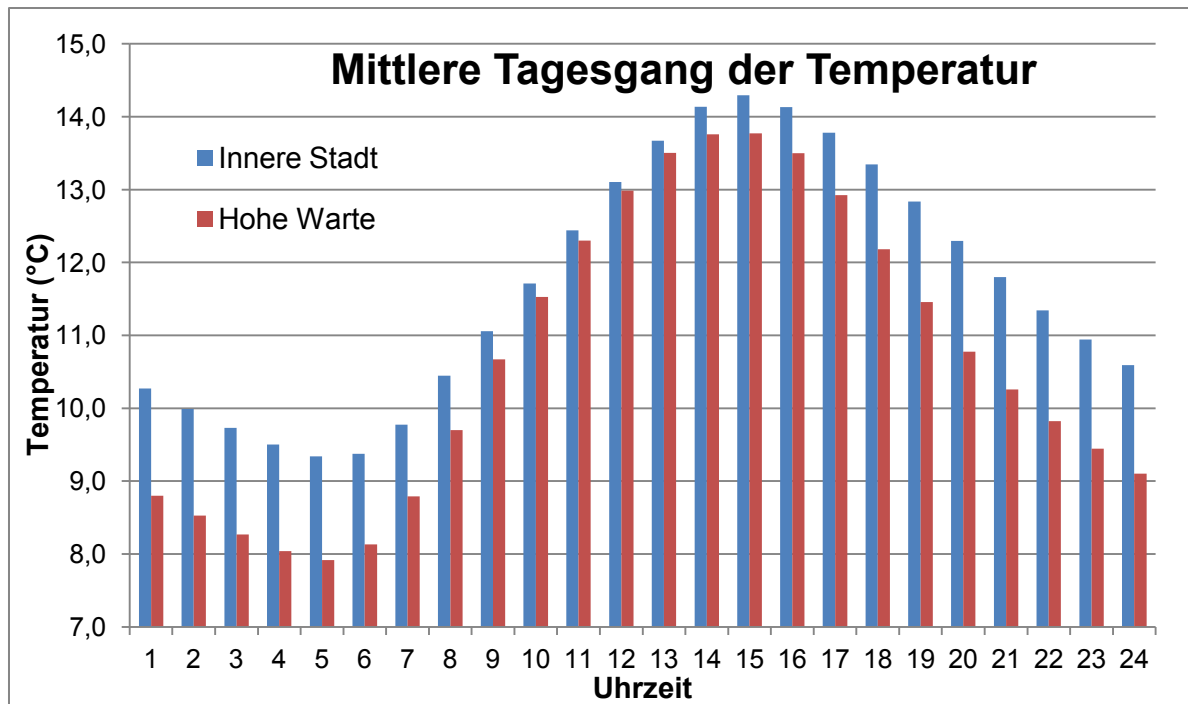


Abbildung 41: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1984-2010, Stundendaten, eigene Darstellung

Die Entwicklung des Wärmeinseleffekts seit 1951 kann auf Grund des Nichtvorhandenseins von Temperaturlaufzeichnungen der Station Innere Stadt zwischen 1951 und 1980 nicht eindeutig geklärt werden.

In Abbildung 42 wird die Bevölkerungsentwicklung Wiens seit 1600 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass die Bevölkerung zwischen 1900 und 1990 um rund 500.000 Einwohner gesunken ist. Jene stagnierende Bevölkerungsentwicklung kann ein Hinweis darauf sein, dass die Nachfrage nach Neubauten gering war und sich dadurch die Bebauungsstruktur Wiens in diesem Zeitraum nicht stark verändert hat. Somit kann von keiner starken Ausweitung des Wärmeinseleffekts zwischen 1951 und 1980 ausgegangen werden.

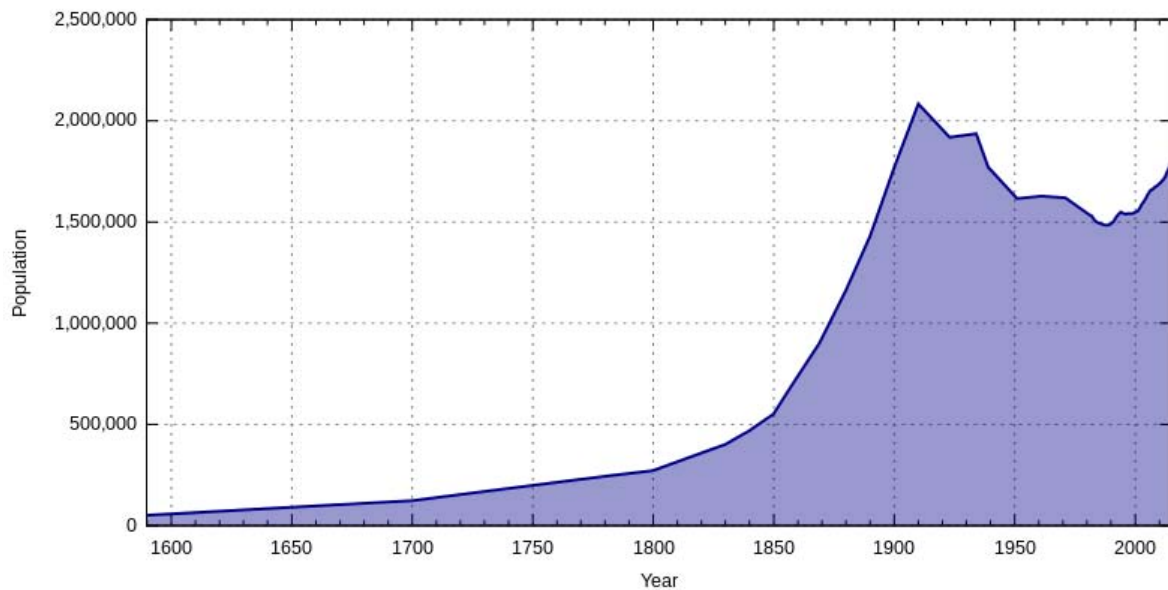


Abbildung 42: Bevölkerungsentwicklung Wiens von 1600 bis 2010, Quelle: Stadt Wien, 2015

Die Entwicklung der mittlere Lufttemperatur innerhalb der nächsten Jahrzehnten kann mit Hilfe der Arbeit von Clementschitsch et. al. (2007), in welcher auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Wien näher eingegangen wird, dargestellt werden. Unter Berücksichtigung von zukünftigen Unsicherheiten, wie zum Beispiel die Entwicklung der Treibhausgasemissionen oder die unterschiedlichen Vorhersagetrends von Klimamodellen, konnten zuverlässige Klimaszenarien über die Lufttemperaturentwicklung von Wien erstellt werden. Diese Zuverlässigkeit wurde mit Hilfe der "Downscaling Methode" erreicht, durch welche es möglich war für die östliche Region von Österreich Klimadatenätze der Vergangenheit und Zukunft mit einer hohe raum-zeitlichen Zielauflösung (von 1km) wiederzugeben. Dadurch konnten Temperaturdaten von 1981-1990 und 2041-2050 erarbeitet und miteinander verglichen werden. Bezogen auf die einzelnen Jahreszeiten konnten Steigerungen der mittleren Lufttemperatur im Zeitraum 2041-2050 von 1,3°C bis zu 3°C festgestellt werden (Clementschitsch et. al., 2007, S. 5, 15, 20).

Eine ebenfalls interessante Entwicklung von 1951 bis 2010 im Bereich der Lufttemperatur fand bei den energetischen Kennzahlen statt. Aufgrund des höheren Temperaturniveaus im Zeitraum 1981 bis 2010 hat die mittlere Zahl von Heiztagen/Jahr gegenüber 1951-1980 abgenommen (-10 Tage). Jener Trend konnte auch schon in der Klimacharakteristik Wiens von 1989 festgestellt werden, wobei diese Entwicklung als positiv angesehen worden ist, da dadurch geringere Energiekosten entstehen (Auer et. al., 1989, S. 248). Auch der Rückgang der jährlichen mittleren Summe der Lüftungsgradstunden in der Periode 1981 bis 2010 von 7300 Stunden hat einen geringeren Energieverbrauch zur Folge. Gleichzeitig kann durch die Zunahme der mittleren Kühlgradstundensummen von 875 Stunden im Untersuchungszeitraum 1981-2010 von einem erhöhten Energieaufwand ausgegangen

werden. Nach der Arbeit von Clementschitsch et. al. (2007, S.29) werden die Heizgradtage bis ins Jahr 2050 um 20% abnehmen. Parallel zu dieser Entwicklung wird mit einer Zunahme der Kühlgradtage um 117% gerechnet. Jene zukünftige Entwicklung der Kühlgradtage kann mit Hilfe der Arbeit von Taboga (2014) mittels eines Städtevergleichs veranschaulicht werden. Durch Gegenüberstellung der Kühlgradtagesummen der Städte Wien und Mailand konnte herausgefunden werden, dass die Stadt Wien den gegenwärtigen Kühlgradtagwert Mailands von 860 Tagen voraussichtlich im Jahr 2060 bis 2070 erreichen haben wird.

Auch bei den bioklimatischen Größen ist ein eindeutiger Trend erkennbar. Die Anzahl der Frost-, Eis- und Frostwechseltagen ist in der Periode 1981 bis 2010 gegenüber 1951-1980 kleiner geworden. Im Gegensatz dazu haben die Anzahl der Sommer-, Hitze- und Vegetationstage, sowie der Heißen Nächte im gleichen Zeitraum zugenommen. Vor allem der Anstieg von 13 heißen Nächten im Zeitraum 1981 bis 2010 gegenüber 1951-1980 ist ein weiterer Hinweis darauf, dass der Wärmeinseleffekt von Bedeutung ist.

Im Vergleich mit der Publikation von Clementschitsch et. al. (2007, S.15) wurde im Untersuchungszeitraum von 1872 bis 2000 ein ähnlicher Trend der bioklimatischen Größen festgestellt. Auf Grund der längeren Zeitreihe sind die Steigerungen und Abnahmen der jeweiligen Größen ausgeprägter als in dieser Arbeit. Klimamodelle und Klimaszenarien weisen darauf hin, dass in den 2040ern durchschnittlich jeder vierter Tag im Sommer ein Hitzetag sein wird. Bezogen auf die Sommertage wird die zukünftige Entwicklung durch folgende zwei Abbildungen des österreichischen Sachstandsbericht zum Klimawandel (Abbildung 43 und 44) verdeutlicht: Beide Abbildungen stellen die mittlere Anzahl der Sommertage kartographisch dar, die obere für den Zeitraum 1981-2010, die untere für den Zeitraum 2071 bis 2100. Gut zu erkennen ist der Wandel der gelben Flächen der oberen Abbildung (60-65 Sommertage/Jahr) zu roten Flächen in der unteren Abbildung (85 Sommertage/Jahr). Auch die Anzahl der heißen Nächte im Zeitraum 2070 bis 2100 wird um das 10-fache höher sein als in der Periode 1960 bis 1990 (APCC, 2014a, S.358).

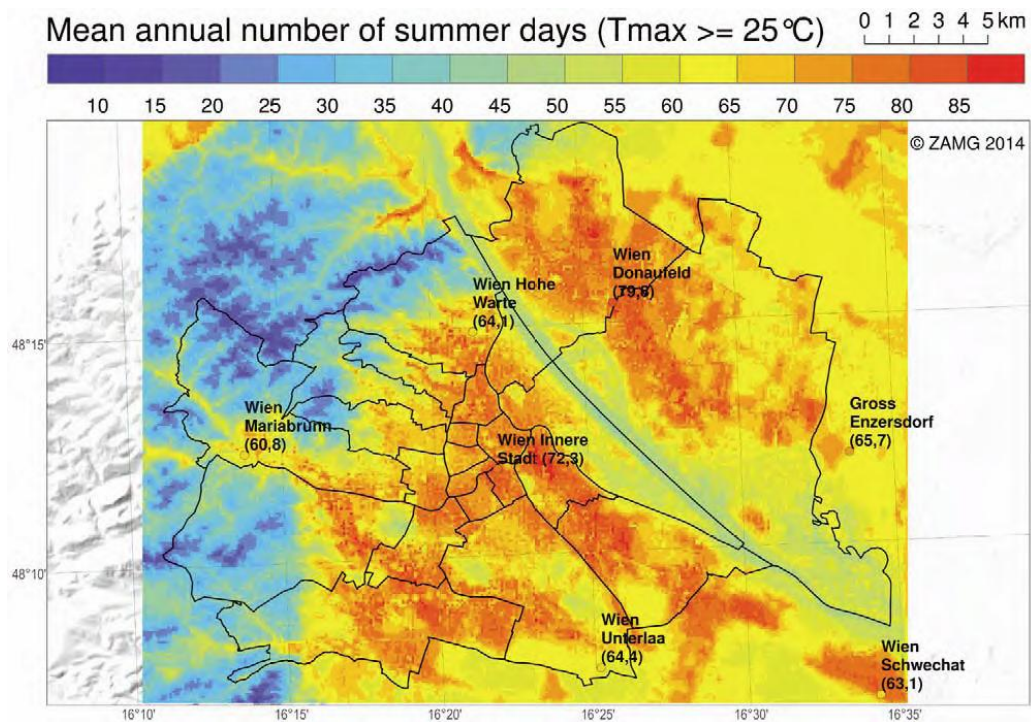


Abbildung 43: Mittlere Anzahl der Sommertage in Wien und Umgebung, 1981-2010, beobachtete Werte, Quelle: APCC, 2014a

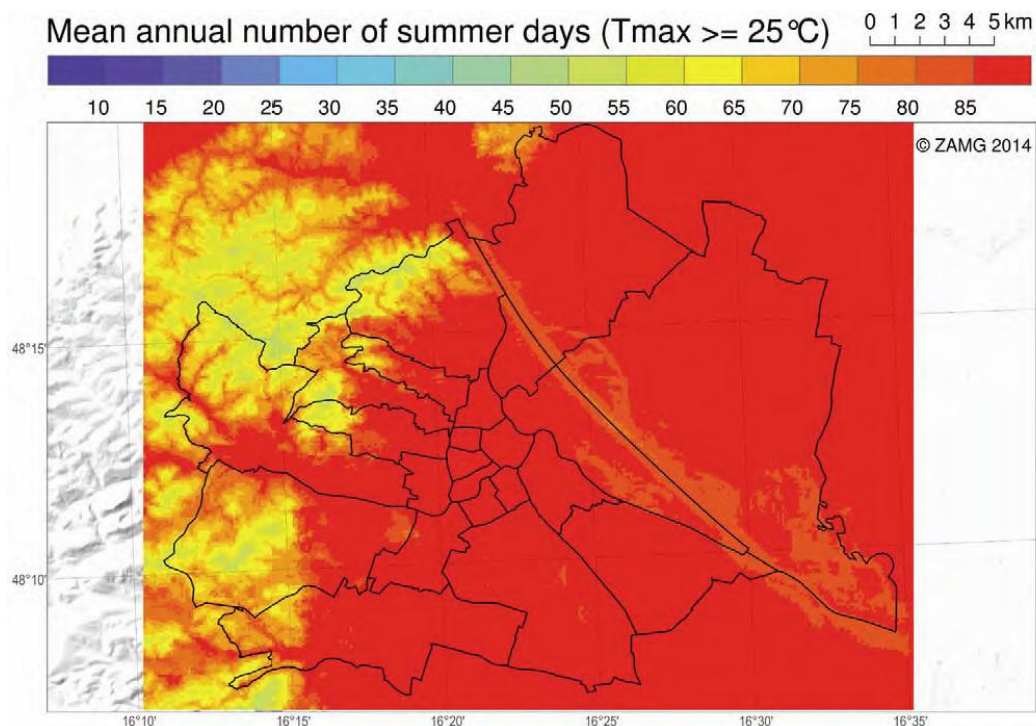


Abbildung 44: Mittlere Anzahl der Sommertage in Wien und Umgebung, 2071-2100, mittels Stadtklimamodell MULKLIMO_3 erstellte Werte, Quelle: APCC, 2014a

Der signifikante Anstieg der Lufttemperatur, sowie die Veränderungen der bioklimatischen und energetischen Größen deuten darauf hin, dass sich innerhalb der letzten 60 Jahre ein

immer wärmeres Klima in der Stadt Wien entwickelt hat. Mit Hilfe des innerstädtischen Vergleichs konnte der Einfluss des Wärmeinseleffekts in Wien bestätigt werden.

Da mit einer Fortsetzung jenes ansteigenden Temperaturtrends zu rechnen ist, kann von einem erhöhten Vorkommen von Hitzeperioden ausgegangen werden, was einen vermehrten Einsatz von Klimaanlage, einen Anstieg des Wasserverbrauchs oder das Austrocknen von Vegetationsflächen zur Folge haben könnte.

Um diese städtische Auswirkungen abzuschwächen, sollte sich die Stadtplanung auf die Reduktion der Versiegelung von Grünflächen oder auf die Verstärkung der Begrünung bei Gebäuden konzentrieren.

6.1.2. Niederschlag

Im sechzigjährigen Verlauf (1951 bis 2010) der jährlichen Niederschlagssummen der Station Hohe Warte sind zwischen einzelnen Jahren große Unterschiede (von 450 mm bis zu 900 mm) aufgetreten. Um festzustellen, ob jene großen Schwankungen eine Ausnahme in dem sechzigjährigen Untersuchungszeitraum darstellen, wird der langjährige Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen von 1840 bis 2010 in Abbildung 45 wiedergegeben. Wie bei der Lufttemperatur handelt es sich wieder um regenerierte Datensätze, welche mit Hilfe des Projekts HISTALP reproduziert wurden. Durch die 20jährig geglättete Trendlinie wird ersichtlich, dass die jährliche Niederschlagssumme seit Beginn der Zeitreihe immer wieder Schwankungen ausgesetzt war.

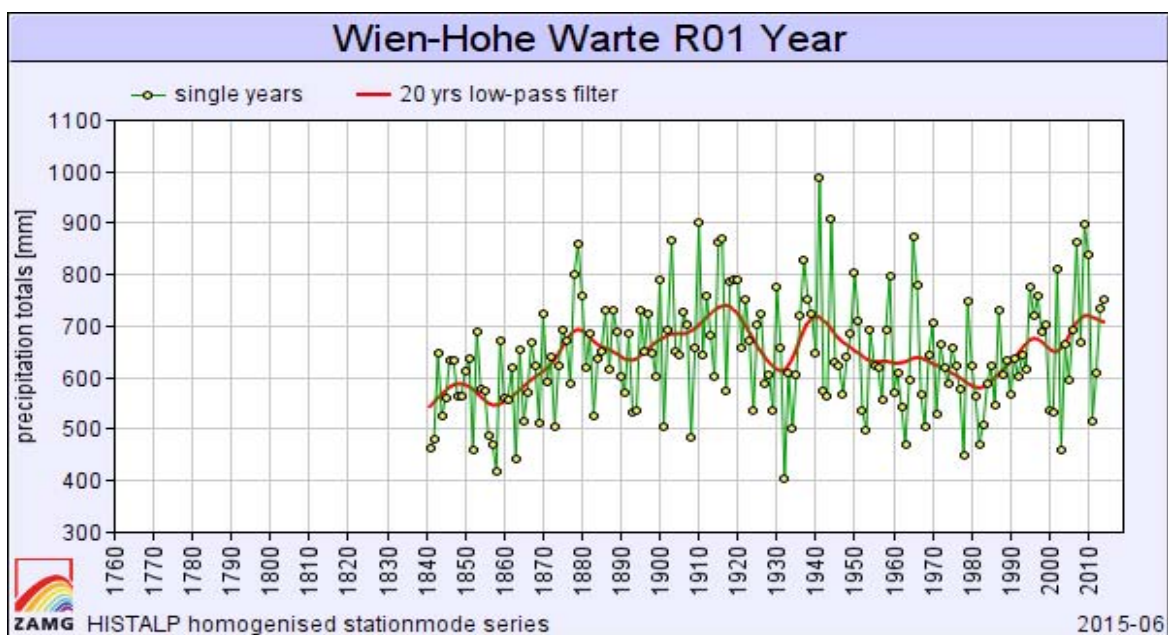


Abbildung 45: Langjähriger Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen, 1840-2010, Station Hohe Warte, 20jährig geglättete Trendlinie, berechnete und beobachtete Datensätze, in mm, Quelle: ZAMG, 2015d

In Tabelle 16 werden jene HISTALP-Daten mit den aufgezeichneten Werten der Station Hohe Warte verglichen. Auffallend ist der Unterschied von 30mm bei der mittleren jährlichen Jahressumme von 1851-1900. Die mittlere jährliche Jahressumme von 1901-1950 stimmt überein.

Bezogen auf die beobachteten Werte wurde von 1851 bis 1950 eine Steigerung von 30mm bei der mittleren jährlichen Niederschlagssumme festgestellt. 1951 bis 1980 fand eine deutliche Abnahme jenes Wertes um 60mm statt, welcher dann 1981 bis 2010 wieder um 30mm zugenommen hat.

Tabelle 15: Mittlere Monats- und Jahressummen des Niederschlags, Station Hohe Warte, 1851-1900, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet

Niederschlag	1851-1900	1901-1950	1951-1980	1981-2010
Jän	38	40	37	38
Feb	36	40	37	42
März	45	43	46	51
April	52	54	54	45
Mai	71	71	59	69
Juni	69	67	79	70
Juli	77	84	73	70
Aug	69	69	61	72
Sept	50	55	37	61
Okt	52	57	44	38
Nov	48	53	49	49
Dez	46	50	44	48
Jahr	653	683	621	652

HISTALP	1851-1900	1901-1950
Jän	37	40
Feb	33	40
März	47	43
April	49	54
Mai	72	71
Juni	70	67
Juli	70	84
Aug	68	69
Sept	44	55
Okt	48	57
Nov	43	53
Dez	42	50
Jahr	623	684

In der Klimacharakteristik Wiens von 1989 war für die Berechnungen der Kennzahlen des Niederschlags eine hohe Stationsdichte vorhanden, insgesamt 90 Messstationen. Dadurch

konnte der Raum Wien in verschiedene Niederschlagsregionen eingeteilt werden und durch Beachtung der orographischen Lage Wiens eine genaue Interpretation der Niederschlagsverhältnisse angestellt werden. Es stellte sich heraus dass auf Grund des höher liegenden Wienerwalds Staueffekte bei aus westlicher Richtung kommenden Niederschlagsereignissen entstehen können. Dadurch konnte bei Messstationen, welche im Bereich des Wienerwaldes platziert sind, Jahressummen von bis zu 800 mm gemessen werden. Je weiter östlicher die Wetterstation gelegen ist, desto geringer wurde die festgestellte Jahressumme (Auer et. al., 1989, S. 249).

In dieser Arbeit wurden zwar nur die Niederschlagsdaten von drei Messstationen in die Berechnungen mit einbezogen, jedoch bestätigen die mittleren Jahressummen jene Feststellung von damals: Bei der Station Mariabrunn, welche am nächsten zum Wienerwald gelegen ist, konnte eine durchschnittliche Jahressumme von 766 mm (1951-2010) aufgezeichnet werden. Die weiter östlich liegende Station Hohe Warte wies eine geringere mittlere Jahressumme von 637 mm (1951-2010) auf. Bei der östlichsten Station Groß Enzersdorf, welche rund 20 Kilometer von der Station Mariabrunn entfernt ist, liegt die mittlere Jahressumme nur noch bei 560 mm (1951-2010). Trotz dieser unterschiedlichen Werte, waren die mittleren Jahressummen aller drei Stationen in der Periode 1981-2010 um 30mm höher als im Zeitraum 1951-1980. Neben den von Westen kommenden Niederschlagsereignissen, können Starkniederschlagsereignisse, sogenannte konvektive Niederschläge, die von kurzer Dauer, regional und von hoher Intensität charakterisiert sind, in Zukunft für die Stadt Wien eine große Rolle spielen. Bei windschwacher Wetterlage und Überhitzung im Stadtgebiet, welche durch den Wärmeinseleffekt gefördert wird, kann es zu vermehrten Wolkenbildung kommen (Lüske, 2002).

In Bezug auf den mittleren Jahresgang wurden nach Auer et. al. 1989 die höchsten Niederschlagssummen in den Sommermonaten und im November verzeichnet (Auer et. al., 1989, S. 249). In dieser Arbeit wurde ein starker Anstieg im September im Zeitraum 1981 bis 2010 herausgefunden, ansonsten wurde auch hier die größten Niederschlagssummen während den Sommermonaten festgestellt. Jener Anstieg im September ist zusätzlich durch einen unveränderten Temperaturtrend auffallend: Die mittlere Monatstemperatur der Septembermonate hat sich von 1951 bis 2010 nur um 0,1°C geändert (15,4°C 1951-1980 und 15,5°C 1981-2010). Diese Kombination, Erhöhung der Niederschlagssumme bei gleichzeitiger nicht Veränderung der Temperatur, lässt darauf schließen, dass sogenannte "Altweibersommer" im Zeitraum 1981-2010 seltener vorgekommen sind. Jenes Wetterphänomen ist durch ein beständiges Hochdruckgebiet gekennzeichnet, welches vor allem im September für trockene Warmluft in Mitteleuropa verantwortlich ist (Polak, 2015).

Der letzte interessante Punkt handelt über die Niederschlagsdauerstufen. Im 30-Jahre Vergleich wurde bei den Dauerstufen 1 bis 6 Stunden keine große Veränderung

wahrgenommen. Grund dafür könnte die Lokalität von Starkregenereignissen sein. Jene Starkregenereignisse sind auf Grund ihrer kurzen Dauer und hohen Niederschlagsmengen für die Niederschlagssummen im Bereich der niedrigen Dauerstufen verantwortlich (GERICS, 2012). Es besteht die Möglichkeit, dass die Station Hohe Warte solche Starkregenereignisse nicht gemessen hat, da sie meist nur lokal auftreten.

Auffallend sind die Ergebnisse der Dauerstufen 12 Stunden bis 5 Tage: Es ist kein eindeutiger Anstieg der Niederschlagsmenge in der Periode 1981 bis 2010 verzeichnet worden, es wurden sogar einige Verringerungen gegenüber dem Zeitraum 1951 bis 1980 festgestellt. Warum diese Entwicklung nicht den Erwartungen entspricht kann mit Hilfe der Publikation von Calvano (2014) beantwortet werden. Teil dieser Arbeit war die Untersuchung des Verhältnisses zwischen Temperatur und Niederschlagsintensivität. Es stellte sich heraus dass bei niedrigen Dauerstufen und hohen Perzentilen die Niederschlagsintensivität umso stärker ausgeprägt ist je höher die Temperatur ist. Auch wenn die mittleren und extremen Lufttemperaturen in der Periode 1981-2010 höher sind und somit mehr Wasserdampf in der Atmosphäre vorhanden sein kann, so stellt der 60-jährige Untersuchungszeitraum eine zu kurze Zeitspanne dar, sodass jene stattgefundene Temperaturerhöhung einen signifikanten Einfluss auf die Niederschlagssumme ausüben könnte.

Im Gegensatz zur Lufttemperatur sind laut Clementschitsch et. al. (2007, S. 26-28) zukünftige Entwicklungen der Niederschlagssummen nicht so zuverlässig. Das liegt daran dass einige für die Niederschlagsbildung benötigten Abläufe in Klimamodellen noch nicht mit einberechnet werden können. Zusätzlich können Starkniederschläge, die in den Sommermonaten im östlichen Österreich einen Großteil der Jahresniederschlagssumme ausmachen, nur schwer von regionalen Klimamodellen berücksichtigt werden. Dennoch wird in der Zukunft mit höheren Niederschlagsintensitäten und Verlagerungen der Sommer- zu Winterniederschlägen für den Raum Wien gerechnet. Eine Erhöhung der Niederschlagsintensität konnte im 60 jährigen Untersuchungszeitraum nicht festgestellt werden, die mittlere Niederschlagsintensität ist kaum angestiegen (von 4,1 auf 4,2 mm/Tag).

Der Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen von 1850 bis 2010 wird nicht durch einen einseitigen Trend, sondern durch hohe jährliche Schwankungen charakterisiert. Zwar findet seit 1980 ein Anstieg der Niederschlagssumme statt, jedoch ist es unsicher, ob diese Entwicklung unverändert bleiben wird. Auch der Einfluss der ansteigenden Temperatur auf die Niederschlagsintensivität zwischen 1951 und 2010 kann nicht eindeutig geklärt werden.

6.1.3. Globalstrahlung

Nach Auer et. al. 1989 (S. 247) stellt die Globalstrahlung die “grundlegende klimatische Eingangsgröße” dar, welche unter anderem die Luftfeuchtigkeit, die Wolkenbildung und die Temperatur indirekt und direkt beeinflusst.

Im Zeitraum von 1951 bis 1980 konnte eine mittlere Jahressumme von $390.751 \text{ Joule/cm}^2$ festgestellt werden, wobei diese im 12jährig gleitenden Mittel von $394.124 \text{ Joule/cm}^2$ im Jahr 1951 auf $383.906 \text{ Joule/cm}^2$ im Jahr 1981 kontinuierlich abgenommen hat. Von 1981 bis 2010 wurde wiederum eine mittlere Jahressumme von $419.680 \text{ Joule/cm}^2$, ein Anstieg von $29.200 \text{ Joule/cm}^2$, verzeichnet. Jene auffällige Entwicklung wurde auch im österreichischen Sachstandsbericht zum Klimawandel näher betrachtet. In Abbildung 46 werden Messwerte (seit ca. 1951) und berechnete Werte (seit 1887) der Globalstrahlung der Station Hohe Warte dargestellt. Auch hier wird eine ähnliche Entwicklung ersichtlich: Von 1951 bis ca. 1977 wurde eine Verringerung von $1,7 \text{ W/m}^2$ ($14,6 \text{ Joule/cm}^2$) pro Dekade und von 1978 bis 2007 ein Zuwachs von $3,2 \text{ W/m}^2$ ($27,7 \text{ Joule/cm}^2$) pro Dekade aufgezeichnet. Als Ursache des Anstiegs der Globalstrahlung von 1978 bis 2007 wird das “Global Brightening” genannt (APCC, 2014a, S.358).

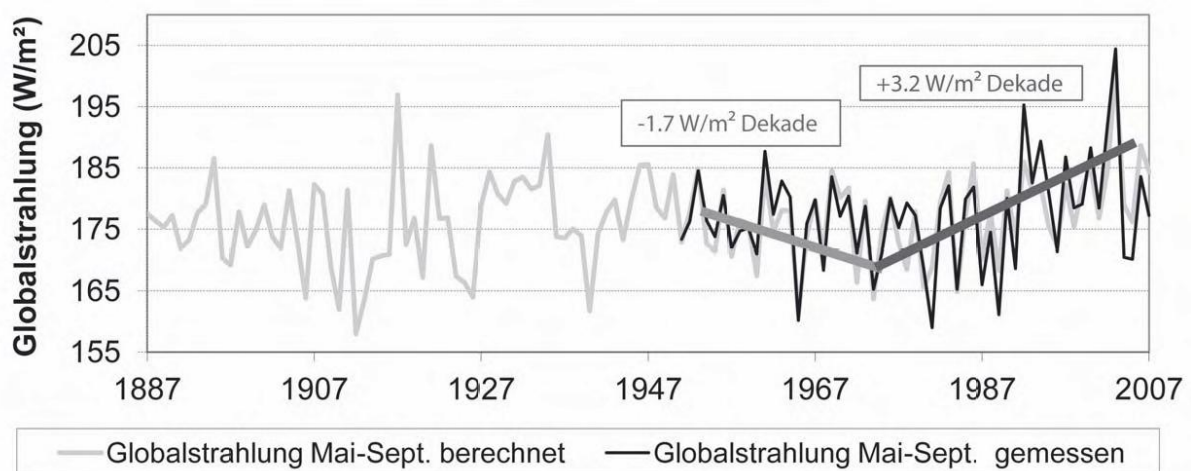


Abbildung 46: Langjähriger Verlauf der Globalstrahlung für die Periode Mai bis September, Station Hohe Warte, 1887-1950 (berechnete Werte), 1951-2007 (beobachtete Wert), in W/m^2 , Quelle: APCC, 2014a

Dabei handelt es sich um die Zunahme der Globalstrahlung auf Grund einer verringerten Konzentration von Aerosolen in der Atmosphäre. Nach Hansen et al. (2008) ist der Rückgang der Sulfataerosolenkonzentration von 60% im Zeitraum 1990 bis 2004 einer der Hauptgründe für jene Entwicklung. In Abbildung 47 wird jener Rückgang von Schwefeldioxidimmissionen seit den 1980ern veranschaulicht.

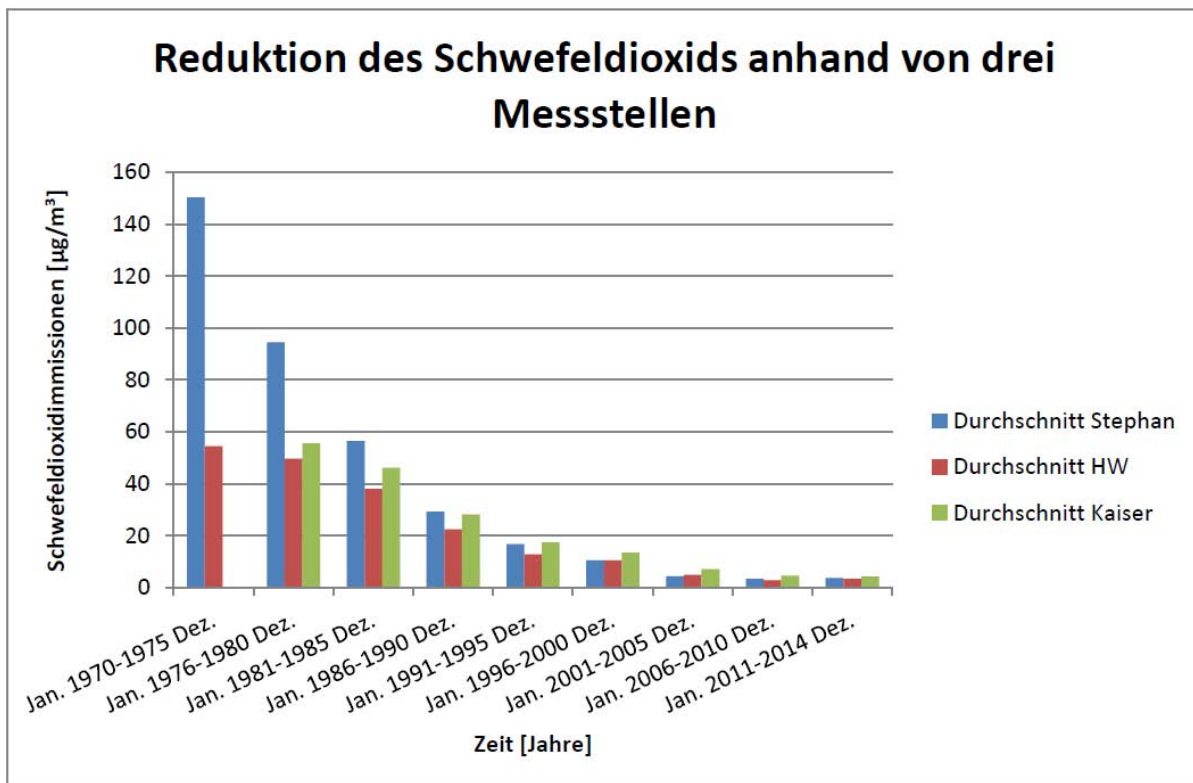


Abbildung 47: Verlauf der gemessenen Schwefeldioxidimmissionen, 5-Jahres Mittelwerte, 1970-2014, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Quelle: Spies, 2015

Neben diesen Effekt wurde auch das "Global dimming" betrachtet, wobei es sich um eine Abnahme der Globalstrahlung wegen einer erhöhten Aerosolenkonzentration in der Luft handelt. Jener Trend kann durch die verstärkte Verschmutzung der Atmosphäre bis in die 1980er erklärt werden. Somit können jene zwei Effekte als Hauptursachen für die abnehmende und zunehmende Entwicklung der Globalstrahlung im Zeitraum 1951 bis 2010 angesehen werden. Dies spiegelt sich auch in der Entwicklung des Jahresganges wieder, der vor allem in den Frühlings- und Sommermonaten der Periode 1981 bis 2010 höhere Monatssummen aufweist als 1951 bis 1980. Auch die Abnahme der Häufigkeit in den niedrigeren Globalstrahlungswerteklassen (250 und $500 \text{ Joule}/\text{cm}^2$) und die gleichzeitige Zunahme in den höheren Kategorien (2500 , 2750 und $3000 \text{ Joule}/\text{cm}^2$) im Zeitraum 1981 bis 2010 stellen ein aussagekräftigen Hinweis dar.

In der Arbeit von Clementschitsch et al. (2007, S.13) konnte durch den Anstieg der Globalstrahlung eine Zunahme der potentiellen Verdunstung von 1960 bis 2005 festgestellt werden. Durch Verwendung drei verschiedener Verdunstungsformeln wurde deutlich, dass erst durch Miteinbeziehung der Globalstrahlung, welche für die Temperaturerhöhung mitverantwortlich ist, jener ansteigende Trend der potentiellen Verdunstung ($+25\text{mm}/\text{Dekade}$ seit Mitte der 1970er) stattgefunden hat.

Ein weiterer interessanter Punkt ist der Jahresgang der Global-, Direkt- und Diffusstrahlung. Im Zeitraum 1981 bis 2010 sind alle drei Größen im Vergleich zu 1951 bis 1980 angestiegen.

Jener Trend widerspricht den eben genannten Entwicklung durch Beeinflussung des Global Brightening. Durch die Abnahme der Sulfataerosolenkonzentration in der Atmosphäre sollte eigentlich die Direktstrahlung zunehmen und die Diffusstrahlung abnehmen, da jene Strahlungskomponente durch geringere Aerosolkonzentration der Luft weniger gestreut wird. Nach Schreier (2010) üben die Wolken den größten Einfluss auf die Globalstrahlung aus. Wobei verschiedene makrophysikalische Faktoren, wie etwa die Wolkenhöhe, Wolkentyp und relativen Position der Wolke zur Sonne, Ursachen für sowohl eine erhöhte als auch eine verringerte Globalstrahlung sein können. An dieser Stelle sei erwähnt, dass jener Einfluss der Wolken auf die Globalstrahlung mehr Forschungsbedarf benötigt um klare und eindeutige Aussagen über jene Entwicklungen treffen zu können.

Mit Hilfe von regionalen Klimaprojektionen, mit Fokus auf den Alpenraum, wurde im österreichischen Sachstandsbericht zum Klimawandel die zukünftige Entwicklung der Globalstrahlung dargestellt. Dabei wurden die Zeiträume 2021 bis 2050 und 2069 bis 2098 mittels der Referenzperiode 1961 bis 1990 berechnet. Von 2021 bis 2050 wird mit nur geringeren Veränderungen im Jahresgang der Globalstrahlung gerechnet. Im Gegensatz dazu stellten sich in der Periode 2069 bis 2098 eine Erhöhung in den Sommermonaten und eine Verringerung in den Wintermonaten heraus (APCC, 2014a, S.319-322). Da sich jene Ergebnisse auf das Gebiet Österreich, speziell auf den Alpenraum, beziehen, kann die Aussagekraft jener für die Stadt Wien in Frage gestellt werden.

6.1.4. Sonnenscheindauer

Da mit Hilfe der Sonnenscheindauer die Globalstrahlung geschätzt werden kann und die Summe der Globalstrahlung abhängig von der Sonnenscheindauer ist, kann die Sonnenscheindauer als Kontrollindikator für die Globalstrahlung und umgekehrt angesehen werden. Jene festgestellten Veränderungen bei der Globalstrahlung, die Abnahme zwischen 1951 und 1980 und Zunahme von 1981 bis 2010, konnte auch bei der Sonnenscheindauer festgestellt werden. In Abbildung 48 ist der langjährige Verlauf der mittleren jährlichen Sonnenscheindauer seit 1880, welche durch das HISTALP Projekt ermöglicht wurde, dargestellt. Auch hier wird eine Abnahme von 100 Stunden zwischen 1950 und 1980 und eine Zunahme von 110 Stunden zwischen 1980 und 2010 ersichtlich. Als Erklärung für jene Entwicklung kann das "Global brightening" und "Global dimming" herangezogen werden. Auffallend ist, dass die Summe der mittleren Sonnenscheindauer im Jahr 1880 und 2010 gleich hoch ist. Zwar sind starke Schwankungen in jener Zeitreihe zu erkennen, jedoch fand auf längerfristiger Sicht keine Erhöhung der Sonnenscheindauer statt.

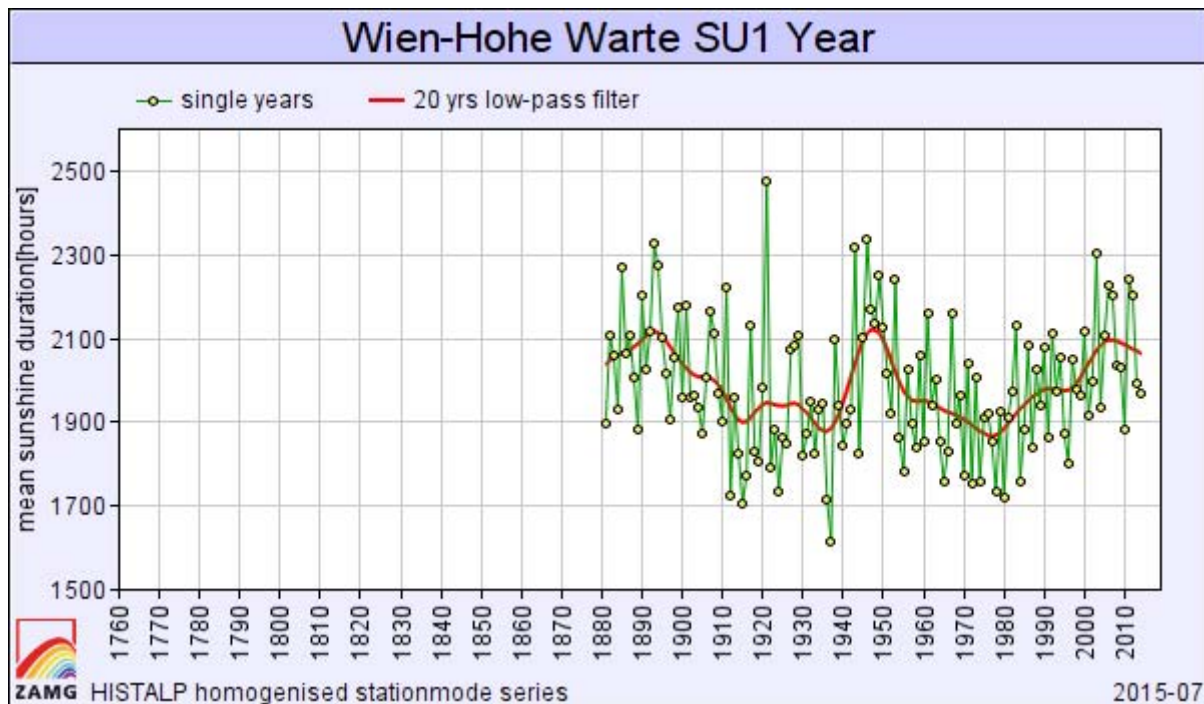


Abbildung 48: Langjähriger Verlauf der mittleren Sonnenscheindauer, 1880 bis 2010, Station Hohe Warte, 20jährige geglättete Trendlinie, berechnete und beobachtete Datensätze, Stunden, Quelle: ZAMG, 2015d

In Tabelle 17 wird der HISTALP-Datensatz mit beobachteten Werten der Station Hohe Warte verglichen. Die mittlere Jahressumme von 1901-1950 der HISTALP-Daten betrug 1971 Stunden, 137 Stunden mehr als der beobachtete Wert desselben Zeitraums (1837 Stunden). Da es sich bei den HISTALP-Werten um homogenisierte Datensätze handelt, kann davon ausgegangen werden, dass diese zuverlässiger sind als die beobachteten Werte.

In Betrachtung des HISTALP-Datensatzes war die mittlere Jahressumme von 1901-1950 um 172 Stunden länger als 1951-1980. Im Zeitraum 1981-2010 hat sie um 130 Stunden zugenommen.

Tabelle 16: : Mittlere Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer, Station Hohe Warte, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet

Sonnenscheindauer	1901-1950	1951-1980	1981-2010
Jän	56	55	70
Feb	81	75	100
März	135	125	143
April	173	175	197
Mai	238	226	239
Juni	246	232	236
Juli	265	247	263
Aug	242	235	251
Sept	184	181	182
Okt	118	138	133
Nov	58	60	66
Dez	41	49	51
Frühling	546	526	578
Sommer	753	715	750
Herbst	360	380	380
Winter	178	179	221
Jahr	1837	1799	1929

HISTALP	1901-1950
Jän	73
Feb	117
März	146
April	179
Mai	238
Juni	251
Juli	253
Aug	276
Sept	206
Okt	127
Nov	56
Dez	49
Jahr	1971

Auch bei Betrachtung der durchschnittlichen Sonnenscheindauer und bei den Extremwerten ist in der Periode 1981 bis 2010 eine Zunahme verzeichnet worden. Der Rückgang der relativen Häufigkeit von 3 % bei den sonnenfreien Stunden im Zeitraum 1981 bis 2010 und die gleichzeitige Zunahme von Stunden höherer Werteklassen unterstreichen jenen Anstieg der Sonnenscheindauer.

In Bezug auf die zukünftige Entwicklung der Sonnenscheindauer wird laut dem österreichischen Sachstandsbericht 2014 kein signifikanter Trend erwartet, jedoch wird mit einer unterschiedlichen saisonalen Entwicklung gerechnet (APCC, 2014a, S.302).

6.1.5. Relative Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck

Die relative Luftfeuchtigkeit hat sich im Mittel von 1951 bis 2010 kaum verändert. Jener Status quo konnte auch im Vergleich der beiden Perioden festgestellt werden. Sowohl im Zeitraum 1951 bis 1980 als auch von 1981 bis 2010 wurde ein mittlerer Jahreswert von 72,5% verzeichnet. Auch bei den Extremwerten wurde keine bemerkenswerte Veränderung wahrgenommen.

Demgegenüber wurde beim Dampfdruck ein deutlicher Anstieg ersichtlich. So hat dieser von 1951 bis 2010 im Jahresdurchschnitt seit Anfang der Zeitreihe um 1 hPa zugenommen. Jene Entwicklung wird auch im Vergleich beider Untersuchungszeiträume erkenntlich: So war der Jahresmittelwert von 1981 bis 2010 (10,4 hPa) um 0,6 hPa größer als 1951 bis 1980 (9,8 hPa). In Betrachtung des langfristigen Verlaufs in Tabelle 18 wird deutlich, dass sich zwischen 1871 und 1950 sowohl die relative Luftfeuchte als auch der Dampfdruck kaum verändert haben. Erst ab 1951 haben die eben genannten Veränderungen stattgefunden.

Tabelle 17: Monats- und Jahresmittel der relativen Feuchte und Dampfdruck, Station Hohe Warte, 1871-1950, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in % und hPa, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet

Relative Feuchte	1871-1950	1901-1950	1951-1980	1981-2010
Jän	79,1	78,6	79,6	78,5
Feb	77	76	75,9	74,3
März	70,9	70,7	69,6	69,5
April	66,4	66,2	64,0	65,0
Mai	68,3	68,2	66,5	67,4
Juni	68,1	67,3	68,2	68,0
Juli	67,9	67,6	66,7	66,2
Aug	70,2	70,1	69,1	67,6
Sept	74,5	74	72,9	73,6
Okt	79,9	79,4	78,4	78,1
Nov	82,1	81,3	80,6	80,6
Dez	82,5	82,1	80,9	81,4
Jahr	73,9	73,5	72,7	72,5

Dampfdruck	1871-1950	1901-1950	1951-1980	1981-2010
Jän	4,6	4,7	4,8	5,2
Feb	5,0	4,9	5,3	5,5
März	6,0	6,1	6,4	6,8
April	7,8	7,8	8,2	8,8
Mai	10,9	11,0	11,3	12,4
Juni	13,3	13,1	14,3	15,0
Juli	15,0	14,7	15,5	16,6
Aug	14,8	14,6	15,6	16,5
Sept	12,6	12,4	13,2	13,6
Okt	9,7	9,5	10,0	10,4
Nov	6,9	6,9	7,2	7,5
Dez	5,3	5,5	5,6	5,7
Jahr	9,3	9,3	9,8	10,4

Um den Zusammenhang zwischen der relative Luftfeuchtigkeit und dem Dampfdruck besser zu verstehen, sollen die durchgeführten Rechenschritte kurz erklärt werden. Zunächst wurde mit Hilfe der Magnus-Formel der Sättigungsdampfdruck ausgerechnet. Dieser wird wiederum durch Miteinbeziehung der relativen Luftfeuchtigkeit bei der Berechnung des Dampfdrucks benötigt. Da der Sättigungsdampfdruck nur mit Hilfe der Temperatur bestimmt werden kann, können jene drei Größen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck) in Bezug zueinander gesetzt werden.

Als nächstes stellt sich die Frage, warum die relative Luftfeuchtigkeit sich während des 60jährigen Untersuchungszeitraumes nicht verändert hat. Wie schon im Ergebnisteil näher erklärt, beschreibt die relative Luftfeuchtigkeit das Verhältnis des tatsächlichen vorhandenen Dampfdrucks zum maximal möglichen Dampfdruck. An dieser Stelle sei erwähnt dass mit Hilfe der Gasgleichung ($p = \rho \cdot R \cdot T$) der Wasserdampfgehalt der Luft durch Einbeziehung der Temperatur als Partialdruck, Dichte oder als Mischungsverhältnis angegeben werden kann (Formayer, 2014). In dieser Arbeit wird der Partialdruck, also der Dampfdruck, verwendet, um die Beziehung zwischen relativer Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck besser darzustellen.

Dabei nimmt der maximale Wasserdampfdruck der Luft mit steigender Temperatur zu. Diese Korrelation zwischen Dampfdruck und Temperatur bei Phasenübergängen wird über die Clausius-Clapeyron-Gleichung definiert, welche in Abbildung 49 dargestellt wird. Die logarithmische Kurve verdeutlicht den Anstieg des Dampfdrucks schon bei geringen Temperaturerhöhungen. Bei 100°C wird der Normdruck von 1013 hPa erreicht, was den maximalen Sättigungsdampfdruck ausmacht. Ab diesem Punkt würde Wasser zum Sieden anfangen und somit einen Phasenübergang von flüssig- zu gasförmig stattfinden.

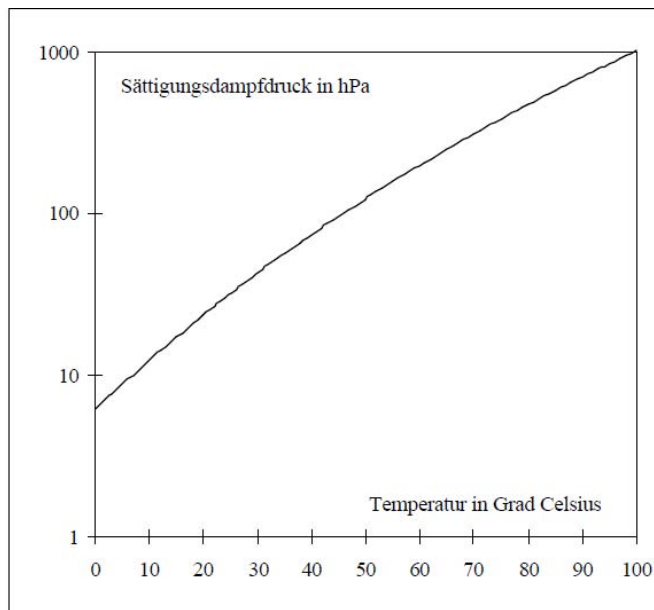


Abbildung 49: Abhängigkeit der Sättigungsdampfdrucks von der Temperatur, logarithmische Kurve, Quelle: Dengler, 2007, S.15

Als Beispiel können die unterschiedlichen Siedetemperaturen auf verschiedenen Höhenlagen genannt werden. Je höher die Lage, desto geringer ist der vorhandene Luftdruck, wodurch eine geringere Temperatur benötigt wird um eine bestimmte Wassermenge zum Sieden zu bringen (Dengler, 1997). Jenes Beispiel stellt zwar den Luftdruck als abhängige Größe dar, jedoch dient sie als Veranschaulichung der Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Größen. Ein Anstieg der Temperatur bei einem unveränderten Wasserdampfgehalt hat eine Senkung der relative Luftfeuchtigkeit zur Folge (Auer et. al., 1989, S.61). Da der Dampfdruck und die Temperatur zugenommen haben, und der Dampfdruck als Maß für die absolute Luftfeuchtigkeit angesehen werden kann, ist die relative Luftfeuchtigkeit gleich geblieben (APCC, 2014a, S.270).

Jener Anstieg des Dampfdrucks und der Temperatur haben Auswirkungen auf das Vorkommen von schwülen Tagen. Ein schwüler Tag ist durch eine Äquivalenttemperatur von 56°C gekennzeichnet. Damit ist jene Temperatur gemeint, die bei einer vollständigen Kondensation des Wasserdampfs und die aus der daraus entstandene Wärme entstehen würde. In einer Untersuchungsarbeit der ZAMG-Klimaforschungsabteilung stellte sich heraus, dass die Anzahl an schwülen Tagen während der Sommermonate innerhalb der letzten Jahre überdurchschnittlich zugenommen hat. Als Hauptgrund wird das höhere Temperaturniveau genannt, wodurch mehr Wasserdampf in der Luft aufgenommen wird (ZAMG, 2015e). Dies führt zu einer hohen Luftfeuchtigkeit, wodurch der menschliche Körper bei der Transpiration (Schwitzen), also bei der Wärmeabgabe, beeinträchtigt wird. Folgend kann es zu Beeinträchtigungen des Wohlbefindens sowie zu lebensbedrohlichen Hitzeschlägen führen (DWD, 2015d). Jener Anstieg an schwülen Tagen während der Sommermonate ist in Abbildung 50 ersichtlich. Zu sehen ist der deutliche Anstieg jener Tage

ab dem Jahr 1985 (obere Abbildung) sowie die kontinuierliche positive Abweichung vom klimatologischen Mittel seit 2000 (untere Abbildung).

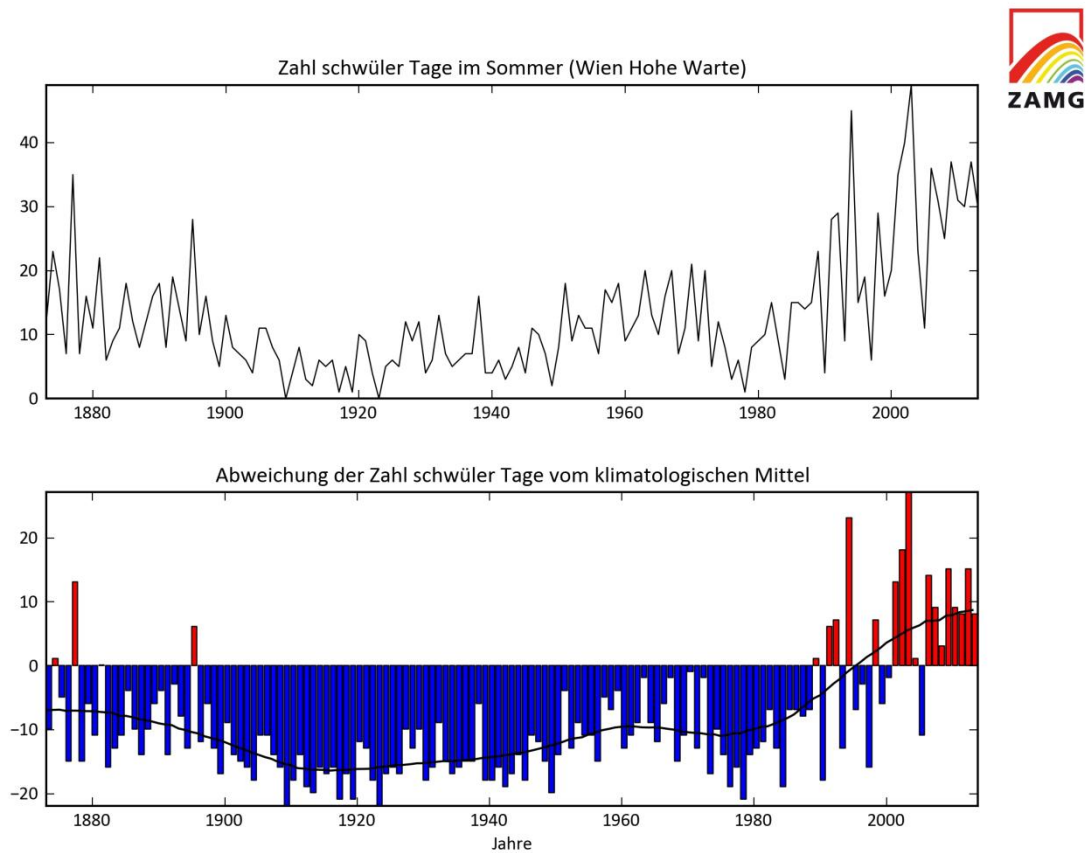


Abbildung 50: Anzahl der schwülen Tage während der Sommermonate (oben), Abweichung der Zahl schwüler Tage vom klimatologischen Mittel (unten), Station Hohe Warte, 1873 bis 2010, Quelle: ZAMG, 2015e

6.2. Klimacharakteristik Wiens von 1989

Die in der Einleitung gestellte Forschungsfrage, ob die Ergebnisse der Klimakartographie Wiens (1989) für gegenwärtige Anwendungen noch von Nutzen sind, soll in diesem Kapitel beantwortet werden.

Die im Kapitel Temperatur festgestellte Entwicklung der energetischen Kennzahlen, wie etwa die Abnahme der Zahl der Heiztage von 5% und die Zunahme der Kühlgradstundensumme von 24% im Zeitraum 1981-2010, sollte bei Fragestellungen des gegenwärtigen Energiebedarfs berücksichtigt werden. Auch das häufigere Vorkommen von heißen Extremwerten und die Zunahme von Sommer- und Hitzetage zwischen 1981-2010 sind ein Hinweis darauf, dass in der Gegenwart mit intensiveren und vermehrten Hitzeperioden zu rechnen ist.

Die Zunahme der Globalstrahlung und der Sonnenscheindauer auf Grund des Rückgangs der Sulfataerosolen in der Atmosphäre stellt seit Mitte der 80ern eine außergewöhnliche Entwicklung dar, die in der Arbeit von 1989 noch nicht feststellbar war. Jene Entwicklung sollte bei der Bestimmung des gegenwärtigen Strahlungsklimas Wiens mit einbezogen werden.

Neben diesen Größen wurde auch beim Dampfdruck ein Anstieg von 1981-2010 sichtbar. In Kombination mit dem ansteigenden Temperaturtrend, kann in der heutigen Zeit mit einem häufigeren Vorkommen von schwülen Tagen gerechnet werden.

Bei den Parametern Niederschlag und relative Luftfeuchtigkeit wurden nur geringe Unterschiede zwischen 1951-1980 und 1981-2010 festgestellt, wodurch die Ergebnisse dieser Parameter aus der Klimacharakteristik Wiens von 1989 für heutige Zwecke noch verwendbar sind.

Die Ergebnisse der Größen Temperatur, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer und Dampfdruck der vorliegenden Arbeit (1981-2010) scheinen für gegenwärtige Anwendungen nützlicher zu sein als jene aus der Klimacharakteristik Wiens von 1989.

7. Fazit

Ziel dieser Arbeit ist es, das Stadtklima Wiens von 1951 bis 2010 zu untersuchen und anhand eines Vergleichs der 2 gewählten Untersuchungszeiträume (1951-1980 und 1981-2010), Veränderungen festzustellen und jene zu interpretieren. Aus diesem Grund wurden Wetterdaten von drei verschiedenen Wetterstationen statistisch ausgewertet und dargestellt. Es stellt sich heraus, dass die Aufzeichnungen der Station Hohe Warte am vollständigsten waren und somit der Fokus auf jene Daten gerichtet worden ist. Dabei wurden die Parameter Temperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, relative Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck sorgfältig sortiert und gewissenhaft ausgewertet. Die Annahme, dass sich das Klima seit 1951 verändert hat, wurde anhand der Ergebnisse bestätigt. Dabei stellt die Temperatur einen aussagekräftigen Parameter dar. Sowohl im Mittel- als auch im Extremwertbereich wurde ein Anstieg der Lufttemperatur im Zeitraum 1981 bis 2010 festgestellt. Jener Anstieg stimmt mit der globalen Entwicklung der Lufttemperatur überein. Mit Hilfe eines innerstädtischen Vergleichs konnte der Einfluss des Wärmeinseleffekts in Wien gezeigt werden. Auch bei den bioklimatischen und energetischen Kennzahlen wurde jene Entwicklung ersichtlich.

Die Tatsache, dass sich die relative Luftfeuchtigkeit kaum verändert hat und der Dampfdruck angestiegen ist, ist auf die Erhöhung der Lufttemperatur zurückzuführen. In Bezug auf den Niederschlag konnte die Niederschlagsabnahme von westlicher nach östlicher Richtung innerhalb des Stadtgebietes und somit der Einfluss des Staueffekts des Wienerwaldes, welcher schon in der Klimacharakteristik Wiens von 1989 erwähnt wurde, bestätigt werden. Die jährlichen Schwankungen der Niederschlagssumme konnten durch einen Vergleich mit einem längerfristigen Datensatz als Teil einer jahrzehntelangen Entwicklung angesehen werden. Der Anstieg der Sonnenscheindauer und Globalstrahlung kann durch das Auftreten des "global brightening" und "global dimming" begründet werden, wobei der genaue Einfluss der Bewölkung auf die Diffus- und Direktstrahlung nicht eindeutig geklärt werden konnte.

Für die Stadt Wien wäre es sinnvoll, jene Trends ernsthaft wahrzunehmen und sich mit der Thematik eines veränderten Stadtklimas anzunehmen.

8. Literaturverzeichnis

APCC, 2014. APCC- Austrian panel on climate change, Wien. Verfügbar in:

<http://www.ccca.ac.at/de/apcc/oesterreichischer-sachstandsbericht-klimawandel-2014-infos-und-materialien/> [Abfrage am 19.01.2015].

APCC, 2014a. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14), Verlag: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, S. 28, 29-30, 268, 270, 302, 319-322, 356-359, 361-362.

Auer, I.; Böhm, R.; Mohnl, H., 1989. Klima von Wien-Eine anwendungsorientierte Klimatographie, Verlag: Magistrat der Stadt Wien, Wien, S. "Zu diesem Buche", 32, 34, 47, 61, 197, 247, 248.

BMLFUW, 2015. Klimawandel verursacht jährlich bis zu 8,8 Mrd. Euro Schaden bis 2050.

Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. Verfügbar in:

<http://www.bmlfuw.gv.at/presse/umwelt/150115coin.html> [Abfrage am 17.02.2015].

Calvano, S., 2014. PRECIPITATION INTENSITY AND TEMPERATURE DEPENDENCIES: Three case studies in Central Europe – Austria. Institut für Geographie und Geologie, Universität von Kopenhagen; Institut für Meteorologie, BOKU Wien. S.21.

Clementsitsch, L; Formayer, H; Kromp-Kolb, H, 2007. Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien. Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur, Wien, S. 5, 13, 15, 20, 23, ,26-28, 29, 32-37.

Conrad, K; Manhart, B; Rosner, K; Vymetal Dorothe, 2005. Klima und Hydrologie in Wolkersdorf. Institut für Landschaftsplanung und Gartenkunst, TU Wien, Wien, S. 3. Verfügbar in:

http://p2.iemar.tuwien.ac.at/p2_05_wolkersdorf/isis.iemar.tuwien.ac.at/_p2/stb4/download/LAP/Klima_Hydrologie_STB4_fertig.pdf [Abfrage am 10.03.2015].

Dengler, R., 1997. Dampf und Tropfen, Betrachtung rund um die Luftfeuchtigkeit. Plus Lucis, Universität Wien. Verfügbar in: <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/973/dengler.pdf> [Abfrage am 20.07.2015].

DKK, 2015. Verschiebung des Mittels. Herausgeber: Deutsches Klima Konsortium. Verfügbar in: http://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pics/faq/111208_10-1-TS-Box5_110306.ms.jpg [Abfrage am 19.10.2015].

DWD, 2015. Lufttemperatur. Herausgeber: Deutscher Wetterdienst. Verfügbar in: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=L&DAT=Lufttemperatur> [Abfrage am 11.04.2015].

DWD, 2015a. Standardatmosphäre. Herausgeber: Deutscher Wetterdienst. Verfügbar in: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=S&DAT=Standardatmosphaere> [Abfrage am 13.09.2015].

DWD, 2015b. Globalstrahlung. Herausgeber: Deutscher Wetterdienst. Verfügbar in: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=G&DAT=Globalstrahlung> [Abfrage am 02.06.2015].

DWD, 2015c. Dampfdruck. Herausgeber: Deutscher Wetterdienst. Verfügbar in: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=D&DAT=Dampfdruck> [Abfrage am 12.07.2015].

DWD, 2015d. Schwüle. Herausgeber: Deutscher Wetterdienst. Verfügbar in: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=S&DAT=Schwuele> [Abfrage am 20.07.2015].

Eckel, O.; Sauberer, F.; Steinhauser, F., 1955. Klima und Bioklima von Wien. 1. Teil: Ergebnisse der langjährigen Meßreihen an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien, Verlag: Österreichische Gesellschaft für Meteorologie, Wien, S. 3-4.

Eurostat, 2015. Bevölkerung am 1. Januar nach Geschlecht und Altersgruppe. Herausgeber: Eurostat, s.l.. Verfügbar in: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=met_pjanaggr3&lang=de [Abfrage am 17.02.2015].

Fellner, A. 2015. KliP I (1999 bis 2009). Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wien. Verfügbar in: <https://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/programm/klip1/index.html> [Abfrage am 26.02.2015].

Fellner, A. 2015a. KliP II (2010 bis 2020). Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wien. Verfügbar in: <https://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/programm/klip2/index.html> [Abfrage am 26.02.2015].

Formayer, H., 2014. Grundlagen der numerischen Wettervorhersage und der Klimamodellierung. Institut für Meteorologie, BOKU Wien. Folie 12.

GERICS, 2012. Starkregen. Herausgeber: GERICS-Climate Service Center Germany. Verfügbar in: http://www.climate-service-center.de/033610/index_0033610.html.de#int [Abfrage am 10.09.2015].

Hansen, A.; Kristjansson, J.; Stjern, C., 2008. Global dimming and global brightening – an analysis of surface radiation and cloud cover data in northern Europe. RMetS-Royal Meteorological Society, Wiley. S.652.

Jurkovic, 2012. Climate data rescue. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Verfügbar in: http://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_messnetze/endberichte/endbericht-climate-data-rescue-2012_ [Abfrage am 15.03.2015].

Katzensteiner, K., 2015. Standortkunde 1. Institut für Waldökologie, BOKU Wien. Verfügbar in: <https://www.dropbox.com/sh/35m160xv6ibvcxo/AACcthSltiU1OH4rKntvkEy6a/Standortkunde%201/Standortkunde%201%20WS%20201415/16%20WasserEnergiehaushalt.pdf?dl=0> [Abfrage am 10.09.2015].

LANUV, 2015. Klimaatlas Nordrhein-Westfalen, Sonnenscheindauer. Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Verfügbar in: <http://www.klimaatlas.nrw.de/site/nav2/Strahlung.aspx?P=2#Datenbasis> [Abfrage am 08.06.2015].

Lüske, 2002. Das Stadtklima. Geographisches Institut, Universität Mannheim. S.5.

MA 18, 2014. STEP 2025-Stadtentwicklungsplan Wien. Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wien. Verfügbar in: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/b008379.html> [Abfrage am 26.02.2015].

MA 18, s.a.. Wohin wächst die Stadt?. Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wien.
Verfügbar in: <https://wien2025.wien.gv.at/site/wohin-wachst-die-stadt/> [Abfrage am 26.02.2015].

MA 23, 2015. Bevölkerungsentwicklung in Wien nach Geburtsland und Geschlecht 2024 bis 2033 – Projektionsergebnisse. Herausgeber: Wirtschaft, Arbeit und Statistik (Magistratsabteilung 23), Wien. Verfügbar in: <https://www.wien.gv.at/statistik/bevoelkerung/tabellen/bev-gebland-m-w-projektion-24-33.html> [Abfrage am 25.02.2015].

MA 23, 2015a. Wiener Stadtgebiet 2013 – Geografische Eckdaten. Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wien. Verfügbar in: <http://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/stadtgebiet-eckdaten.html> [Abfrage am 26.02.2015].

MA 23, 2015b. Stadtgebiet - Statistiken. Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wien. Verfügbar in: <http://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/stadtgebiet/index.html> [Abfrage am 26.02.2015].

MA 23, 2015c. Wind, Niederschlag und Schnee in Wien seit 1953. Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien, Wien. Verfügbar in: <https://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/wind-schnee-regen-zr.html> [Abfrage am 25.05.2015].

N.N., 2001. Wien Info. Herausgeber: Citytype Internet-Portal BetriebsgesmbH, Wien. Verfügbar in: <http://www.wien-vienna.at/index.php?ID=491> [Abfrage am 10.03.2015].

Nachtnebel, H.P., 2004. Gewässerkunde, Hydrometrie und Hydroinformatik. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien. Verfügbar in: https://iwhw.boku.ac.at/gewaesserkunde_alt/html/Kapitel5.html [Abfrage am 25.05.2015].

Paschotta, R., s.a.. Heizgradtage. Herausgeber: RP-Energie-Lexikon. Verfügbar in: <https://www.energie-lexikon.info/heizgradtage.html> [Abfrage am 13.05.2015].

Polak, F., 2015. Wetterlexikon-Altweibersommer. Herausgeber: Q-met. Verfügbar in: <http://www.wetter.net/lexikon/altweibersommer.html> [Abfrage am 10.09.2015].

Schreier, S., 2010. Variabilität der Bewölkung und Auswirkungen auf die Solarstrahlung in Wien, Universität Wien. S.101.

Schwarz, J., s.a.. Perzentil-bzw. Zentilwerte. Herausgeber: Methodological Education for the Social Sciences. Verfügbar in:
http://www.mesosworld.ch/lerninhalte/Univ_Beschreib/de/html/MasseVar_Perzentil.html
[Abfrage am 29.04.2015].

Stadt Wien, 2015. Die Wiener Bevölkerung in den letzten Jahrhunderten. Herausgeber: Rathauskorrespondenz (Magistratsabteilung 53). Verfügbar in:
<https://www.wien.gv.at/rk/msg/2001/0618/002.html> [Abfrage am 21.10.2015].

Taboga, P., 2014. Diffusion der Klimatisierung anhand der Stadt Wien im Vergleich mit der Stadt Mailand. Institut für Meteorologie, BOKU Wien. S.75.

ZAMG, 2015. Wetterstationen. Herausgeber: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Verfügbar in:
<http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/messnetze/wetterstationen> [Abfrage am 15.03.2015].

ZAMG, 2015a. TAWES Wetter-Station. Herausgeber: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Verfügbar in:
http://www.zamg.ac.at/cms/de/images/klima/bild_messnetze/tawes-messinstrumente
[Abfrage am 15.03.2015].

ZAMG, 2015b. Datenprüfung. Herausgeber: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Verfügbar in:
<http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/messnetze/datenpruefung> [Abfrage am 15.03.2015].

ZAMG, 2015c. Analyse für Wien. Herausgeber: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Verfügbar in: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterwerte-analysen/wien> [Abfrage am 13.09.2015].

ZAMG, 2015d. HISTALP - Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region. Herausgeber: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Verfügbar in: <http://www.zamg.ac.at/histalp/> [Abfrage am 14.07.2015].

ZAMG, 2015e. Schwüle Tage werden häufiger. Herausgeber: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Verfügbar in: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/schwuele-tage-werden-haeufiger> [Abfrage am 20.07.2015].

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Langjähriger österreichischer (1768-2011) und globaler (1850-2011) Verlauf der mittleren Lufttemperatur, in °C, Quelle: APCC, 2014a, S.268	3
Abbildung 2: Landnutzungskarte von Wien, 1764 – 1787, Quelle: APCC, 2014a, S.361-362	5
Abbildung 3: Landnutzungskarte von Wien, 2007/2008, Quelle: APCC, 2014a, S.361-362 ...	5
Abbildung 4: Veränderung der relativen Häufigkeit von Sommer- bzw. Hitzetage in Wien-Hohe Warte, 1961-1990, 2001-2026 und 2026-2049, Quelle: Clementschitsch et. al., 2007, S.23.....	6
Abbildung 5: Klimadiagramm von Wien, Station Hohe Warte, Datensatz: 1981-2010, in mm und °C, eigene Darstellung.....	9
Abbildung 6: Karte von Wien mit eingezeichneten Wetterstationen, Quelle: Google Maps (bearbeitet).....	11
Abbildung 7: Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur von 1951 bis 2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung	16
Abbildung 8: Durchschnittliche jährliche maximale Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981-2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung.....	19
Abbildung 9: Durchschnittliche jährliche minimale Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981-2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung.....	19
Abbildung 10: Durchschnittliche jährliche mittlere Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981-2010, Station Hohe Warte, in °C, eigene Darstellung.....	20
Abbildung 11: Relative Häufigkeitsverteilung der minimalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung.....	22
Abbildung 12: Relative Häufigkeitsverteilung der maximalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung.....	22
Abbildung 13: Relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung.....	23
Abbildung 14: Mittlere jährliche Lüftungsgradstunden bei Raumtemperatur von 22°C, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, eigene Darstellung	25
Abbildung 15: Mittlere jährliche Kühlgradstunden bei Raumtemperatur von 19°C, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, eigene Darstellung	26
Abbildung 16: Summe der jährlichen Frosttage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung	27

Abbildung 17: Summe der jährlichen Eistage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung	27
Abbildung 18: Summe der jährlichen Frostwechseltage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung	28
Abbildung 19: Summe der jährlichen Hitzetage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung	29
Abbildung 20: Summe der jährlichen Sommertage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesextremwerte, eigene Darstellung	29
Abbildung 21: Summe der jährlichen Vegetationstage von 1951 - 2010, Station Hohe Warte, Tagesmittelwerte, eigene Darstellung.....	30
Abbildung 22: Relative Häufigkeitsverteilung der maximalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1981-2010, in %, eigene Darstellung	34
Abbildung 23: Relative Häufigkeitsverteilung der minimalen Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1981-2010, in %, eigene Darstellung	34
Abbildung 24: Langjähriger Verlauf der Niederschlagssummen, Station Wien-Hohe Warte, 1951-2010, in mm, eigene Darstellung	36
Abbildung 25: Jahresgang der Monatsniederschlagssummen, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung	36
Abbildung 26: Anzahl von Tagen pro Jahr mit einer bestimmten Mindestniederschlagssumme, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung	39
Abbildung 27: Langjähriger Verlauf der Globalstrahlung, Station-Hohe Warte, 1951-2010, J/cm ² , eigene Darstellung.....	41
Abbildung 28: Jahresgang der Globalstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, Monatssummen, in J/cm ² , eigene Darstellung	43
Abbildung 29: Prozentuale Veränderung der monatlichen Globalstrahlung, in %, eigene Darstellung	43
Abbildung 30: Relative Häufigkeitsverteilung der Summen der Globalstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung.....	44
Abbildung 31: Mittlere Stundensummen der Globalstrahlung für die Jahreszeit Frühling, Wien Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in J/cm ² , eigene Darstellung.....	45
Abbildung 32: Mittlerer Jahresgang der Global-, Diffus- und Direktstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in J/cm ² , eigene Darstellung	46

Abbildung 33: Langjähriger Verlauf der Sonnenscheindauer, Station Hohe Warte, 1951-2010, in Stunden, eigene Darstellung.....	47
Abbildung 34: Relative Häufigkeitsverteilung der Sonnenscheindauertagessummen, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung	49
Abbildung 35: Langjähriger Verlauf der Luftfeuchte, Station Hohe Warte, 1951-2010, Jahresmittelwerte, in %, eigene Darstellung.....	50
Abbildung 36: Langjähriger Verlauf des Dampfdrucks, Station Hohe Warte, 1951-2010, Jahresmittelwerte, in hPa, eigene Darstellung, eigene Darstellung.....	53
Abbildung 37: Jahresgang des Dampfdrucks, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in hPa, eigene Darstellung.....	54
Abbildung 38: Relative Häufigkeitsverteilung des mittleren Dampfdrucks, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung.....	54
Abbildung 39: Verschiebung des Mittelwertes und ihre Folgen auf die Extremwerte, Quelle: DKK, 2015.....	56
Abbildung 40: Langjähriger Verlauf der mittleren jährlichen Temperatur, 1770-2010, Station Hohe Warte, °C, berechnete und beobachtete Datensätze, Quelle: ZAMG, 2015d	57
Abbildung 41: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1984-2010, Stundendaten, eigene Darstellung.....	60
Abbildung 42: Bevölkerungsentwicklung Wiens von 1600 bis 2010, Quelle: Stadt Wien, 2015	61
Abbildung 43: Mittlere Anzahl der Sommertage in Wien und Umgebung, 1981-2010, beobachtete Werte, Quelle: APCC, 2014a	63
Abbildung 44: Mittlere Anzahl der Sommertage in Wien und Umgebung, 2071-2100, mittels Stadtklimamodell MULKLIMO_3 erstellte Werte, Quelle: APCC, 2014a	63
Abbildung 45: Langjähriger Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen, 1840-2010, Station Hohe Warte, 20jährig geglättete Trendlinie, berechnete und beobachtete Datensätze, in mm, Quelle: ZAMG, 2015d.....	64
Abbildung 46: Langjähriger Verlauf der Globalstrahlung für die Periode Mai bis September, Station Hohe Warte, 1887-1950 (berechnete Werte), 1951-2007 (beobachtete Wert), in W/m ² , Quelle: APCC, 2014a.....	68
Abbildung 47: Verlauf der gemessenen Schwefeldioxidimmissionen, 5-Jahres Mittelwerte, 1970-2014, in µg/m ³ , Quelle: Spies, 2015	69

Abbildung 48: Langjähriger Verlauf der mittleren Sonnenscheindauer, 1880 bis 2010, Station Hohe Warte, 20jährige geglättete Trendlinie, berechnete und beobachtete Datensätze, Stunden, Quelle: ZAMG, 2015d.....	71
Abbildung 49: Abhängigkeit der Sättigungsdampfdrucks von der Temperatur, logarithmische Kurve, Quelle: Dengler, 2007, S.15	75
Abbildung 50: Anzahl der schwülen Tage während der Sommermonate (oben), Abweichung der Zahl schwüler Tage vom klimatologischen Mittel (unten), Station Hohe Warte, 1873 bis 2010, Quelle: ZAMG, 2015e	76
Abbildung 51: Durchschnittliche jährliche mittlere Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981.2010, Station Groß Enzersdorf, in °C, eigene Darstellung	94
Abbildung 52: Durchschnittliche jährliche mittlere Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981.2010, Station Mariabrunn, in °C, eigene Darstellung.....	94
Abbildung 53: Jahresmittelwerte der Temperaturminima, 1981-2010 Station Groß Enzersdorf, Hohe Warte und Mariabrunn, in °C, eigene Darstellung	95

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten Abbildungen und Tabellen der Größen Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung sowie Allgemeine, eigene Darstellung	14
Tabelle 2: Statistische Parameter der Lufttemperatur für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr der Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung	18
Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der Jahreszeiten- und Jahresmittel der Lufttemperatur in Perzentildarstellung, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung	21
Tabelle 4: Mittlere Heizgradetagszahl und mittlere Zahl von Heiztagen aller drei Stationen, 1951-1980 und 1981-2010, Veränderungen in %, eigene Darstellung	24
Tabelle 5: Statistische Parameter bioklimatisch relevanter Größen, ableitbar aus der Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, Tagesbasis.....	31
Tabelle 6: Eintrittszeiten von Früh- und Spätfröste, frühestes, mittleres und spätestes Datum, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, eigene Darstellung	32
Tabelle 7: Statistische Größen der Lufttemperatur, Innerstädtischer Vergleich der Lufttemperatur, Station Hohe Warte und Innere Stadt, 1981-2010, in °C, eigene Darstellung	33
Tabelle 8: Mittlere Niederschlagssummen, größte und kleinste Niederschlagssummen der Jahreszeiten und das Jahr, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung	37
Tabelle 9: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Jahreszeiten- und Jahressummen des Niederschlages in Perzentildarstellung, Station Wien-Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung	38
Tabelle 10: Länge von Niederschlagsereignissen für unterschiedliche Dauerstufen und Jährlichkeiten, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in mm, eigene Darstellung	40
Tabelle 11: Monats-, Jahreszeiten- und Jahressummen der Globalstrahlung, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in J/cm ² , eigene Darstellung	42
Tabelle 12: Statistische Parameter der Sonnenscheindauer für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, eigene Darstellung	48
Tabelle 13: Mittelwert, Streuung und Extremwerte der Monate, Jahreszeiten und das Jahr der relativen Feuchte, Station Hohe Warte, 1951-1980 und 1981-2010, in %, eigene Darstellung	51

Tabelle 14: Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittelwerte der Lufttemperatur, Station Hohe Warte, 1775-1954, 1851-1950, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet	58
Tabelle 15: Mittlere Monats- und Jahressummen des Niederschlags, Station Hohe Warte, 1851-1900, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet.....	65
Tabelle 16: : Mittlere Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer, Station Hohe Warte, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in Stunden, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet.....	72
Tabelle 17: Monats- und Jahresmittel der relativen Feuchte und Dampfdruck, Station Hohe Warte, 1871-1950, 1901-1950, 1951-1980 und 1981-2010, in % und hPa, beobachtete und berechnete Werte, bearbeitet	73
Tabelle 18: Statistische Parameter der Lufttemperatur für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr der Station Groß Enzersdorf, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung	92
Tabelle 19: Statistische Parameter der Lufttemperatur für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr der Station Mariabrunn, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung	93

11. Formelverzeichnis

Formel 1: Umrechnung von Watt/m^2 in Joule/cm^2	40
Formel 2: Magnus-Formel	52
Formel 3: Berechnung des Dampfdrucks.....	52

12. Anhang

Tabelle 18: Statistische Parameter der Lufttemperatur für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr der Station Groß Enzersdorf, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung

1951-1980	Mittel	amin	amax	Varianz	schiefe	excess	min.Tag	max.Tag	STABW
Jän	-1,1	-23,8	13,2	20,5	-0,5	0,0	-4,0	1,4	4,5
Feb	0,8	-23,4	18,5	23,0	-0,7	1,1	-2,4	4,1	4,8
Mär	4,7	-20,2	25,0	21,1	-0,2	0,0	0,5	9,1	4,6
Apr	10,0	-4,8	28,2	15,2	0,2	-0,2	4,8	15,1	3,9
Mai	14,6	-1,0	31,9	13,2	0,0	-0,2	8,9	19,8	3,6
Jun	18,1	3,0	32,5	10,5	-0,1	-0,4	12,4	23,3	3,2
Jul	19,8	5,1	37,0	10,0	0,1	-0,2	13,9	25,1	3,2
Aug	19,1	4,0	36,3	9,0	0,2	-0,2	13,5	24,7	3,0
Sept	15,4	-0,6	32,7	11,6	0,1	-0,5	10,2	20,8	3,4
Okt	10,0	-5,6	27,3	13,3	0,1	-0,2	5,5	14,9	3,6
Nov	4,9	-11,0	22,5	14,4	0,1	0,0	2,0	7,8	3,8
Dez	1,0	-20,3	15,6	18,6	-0,3	0,6	-1,6	3,5	4,3
Frühling	9,7	-20,2	31,9	33,1	-0,3	-0,2	4,7	14,6	5,7
Sommer	19,0	3,0	37,0	10,3	0,0	-0,1	13,3	24,4	3,2
Herbst	10,1	-11,0	32,7	31,4	0,0	-0,6	5,9	14,5	5,6
Winter	0,2	-23,8	18,5	21,5	-0,5	0,5	-2,7	2,9	4,6
Jahr	9,8	-23,8	37,0	68,2	-0,2	-0,7	5,3	14,2	8,3

1981-2010	Mittel	amin	amax	Varianz	schiefe	excess	min.Tag	max.Tag	STABW
Jän	-0,2	-23,3	19,5	26,4	-0,2	0,3	-2,7	2,9	5,1
Feb	1,2	-19,8	18,8	24,1	-0,4	0,3	-1,8	5,0	4,9
Mär	5,3	-18,8	24,7	18,1	-0,3	0,6	1,7	10,1	4,3
Apr	10,4	-4,0	27,2	13,7	-0,1	-0,4	5,6	16,1	3,7
Mai	15,5	0,0	33,2	11,0	-0,1	-0,3	10,3	21,1	3,3
Jun	18,5	3,6	36,7	11,1	0,1	-0,5	13,2	23,9	3,3
Jul	20,8	6,6	37,9	9,0	0,1	-0,2	15,1	26,8	3,0
Aug	20,2	6,0	37,4	9,1	-0,1	-0,1	15,0	26,2	3,0
Sept	15,4	1,4	31,9	9,0	0,0	-0,4	11,3	21,0	3,0
Okt	10,0	-8,0	28,5	15,2	-0,2	-0,2	6,6	15,0	3,9
Nov	4,8	-14,8	20,8	17,3	-0,1	0,1	2,4	8,1	4,2
Dez	0,7	-23,1	18,1	18,9	-0,3	0,6	-1,5	3,4	0,7
Frühling	10,4	-18,8	33,2	31,7	-0,3	-0,2	5,8	15,7	5,6
Sommer	19,8	3,6	37,9	10,6	-0,1	-0,3	14,4	25,7	3,3
Herbst	10,1	-14,8	31,9	32,3	-0,3	-0,5	6,7	14,7	5,7
Winter	0,6	-23,3	19,5	23,4	-0,3	0,4	-2,0	3,7	4,8
Jahr	10,3	- 23,3	37,9	70,8	- 0,2	- 0,8	6,3	15,0	8,4

Tabelle 19: Statistische Parameter der Lufttemperatur für die Monate, die Jahreszeiten und das Jahr der Station Mariabrunn, 1951-1980 und 1981-2010, in °C, eigene Darstellung

1951-1980	Mittel	amin	amax	Varianz	schiefe	excess	min.Tag	max.Tag	STABW
Jän	-1,4	-24,4	13,8	20,8	-0,6	0,2	-4,6	1,5	4,6
Feb	0,4	-25,3	17,9	22,7	-0,8	1,1	-3,2	4,0	4,8
Mär	4,1	-23,1	25,4	19,9	-0,2	0,3	-0,5	9,0	4,5
Apr	9,2	-6,5	27,8	14,6	0,2	-0,2	3,4	14,8	3,8
Mai	13,8	-2,5	33,0	13,6	0,0	-0,3	7,4	19,6	3,7
Jun	17,6	0,5	33,9	11,3	-0,1	-0,4	11,4	23,0	3,4
Jul	19,0	4,0	38,9	10,3	0,0	-0,3	12,7	24,8	3,2
Aug	18,3	3,6	37,0	9,3	0,2	-0,3	12,1	24,5	3,0
Sept	14,3	-3,6	32,5	11,5	0,0	-0,4	8,9	20,5	3,4
Okt	9,0	-8,4	27,2	13,3	0,0	-0,3	4,3	14,4	3,6
Nov	4,3	-12,4	22,0	14,2	0,0	0,2	1,1	7,4	3,8
Dez	0,5	-23,7	16,8	18,8	-0,4	0,9	-2,5	3,2	4,3
Frühling	9,0	-23,1	33,0	32,2	-0,2	-0,1	3,4	14,4	5,7
Sommer	18,3	0,5	38,9	10,6	0,0	-0,2	12,1	24,1	3,3
Herbst	9,2	-12,4	32,5	29,6	-0,1	-0,5	4,8	14,1	5,4
Winter	-0,2	-25,3	17,9	21,5	-0,6	0,7	-3,4	2,9	4,6
Jahr	9,1	-25,3	38,9	66,1	-0,2	-0,7	4,3	13,9	8,1

1981-2010	Mittel	amin	amax	Varianz	schiefe	excess	min.Tag	max.Tag	STABW
Jän	-0,4	-25,6	18,5	24,9	-0,3	0,5	-3,0	2,7	5,0
Feb	0,8	-23,2	18,9	24,9	-0,4	0,3	-2,3	4,8	5,0
Mär	4,8	-20,7	24,6	17,8	-0,4	0,8	1,0	9,9	4,2
Apr	9,8	-5,0	27,9	13,6	0,0	-0,3	4,5	15,8	3,7
Mai	14,9	-1,7	32,9	11,9	-0,2	-0,3	9,2	20,8	3,4
Jun	18,0	2,0	35,7	11,5	0,0	-0,5	12,6	23,7	3,4
Jul	20,1	4,6	36,5	9,1	0,0	-0,4	14,5	26,3	3,0
Aug	19,3	5,0	37,4	9,7	0,0	-0,1	14,2	25,7	3,1
Sept	14,5	0,4	31,4	8,9	0,0	-0,4	10,4	20,4	3,0
Okt	9,5	-7,2	28,0	15,2	-0,3	-0,2	6,1	14,5	3,9
Nov	4,5	-14,8	21,2	16,5	0,0	0,1	2,1	7,8	4,1
Dez	0,7	-21,3	16,0	18,2	-0,4	0,4	-1,5	3,4	4,3
Frühling	9,8	-20,7	32,9	31,6	-0,2	-0,2	4,9	15,5	5,6
Sommer	19,1	2,0	37,4	10,8	-0,1	-0,3	13,8	25,2	3,3
Herbst	9,5	-14,8	31,4	30,2	-0,3	-0,5	6,2	14,2	5,5
Winter	0,3	-25,6	18,9	22,9	-0,4	0,5	-2,3	3,6	4,8
Jahr	9,7	- 25,6	37,4	68,1	- 0,2	- 0,7	5,7	14,7	8,3

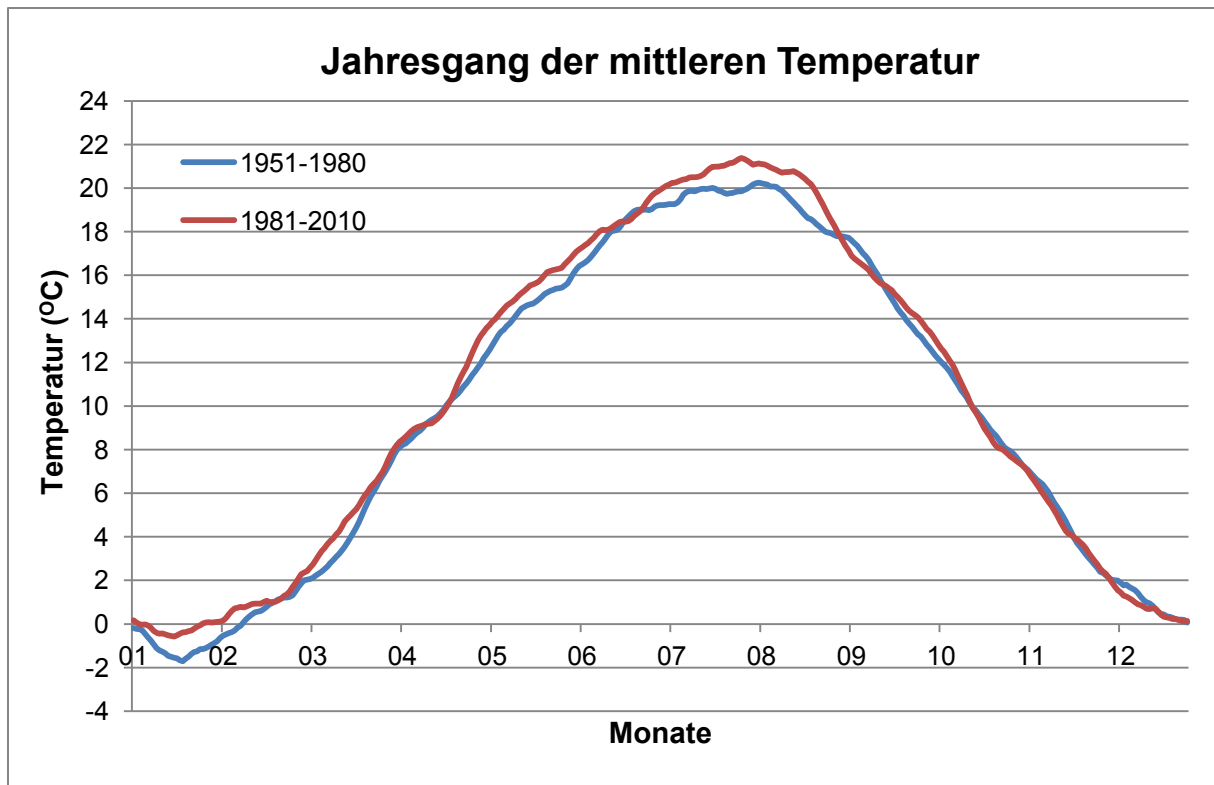


Abbildung 51: Durchschnittliche jährliche mittlere Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981.2010, Station Groß Enzersdorf, in °C, eigene Darstellung

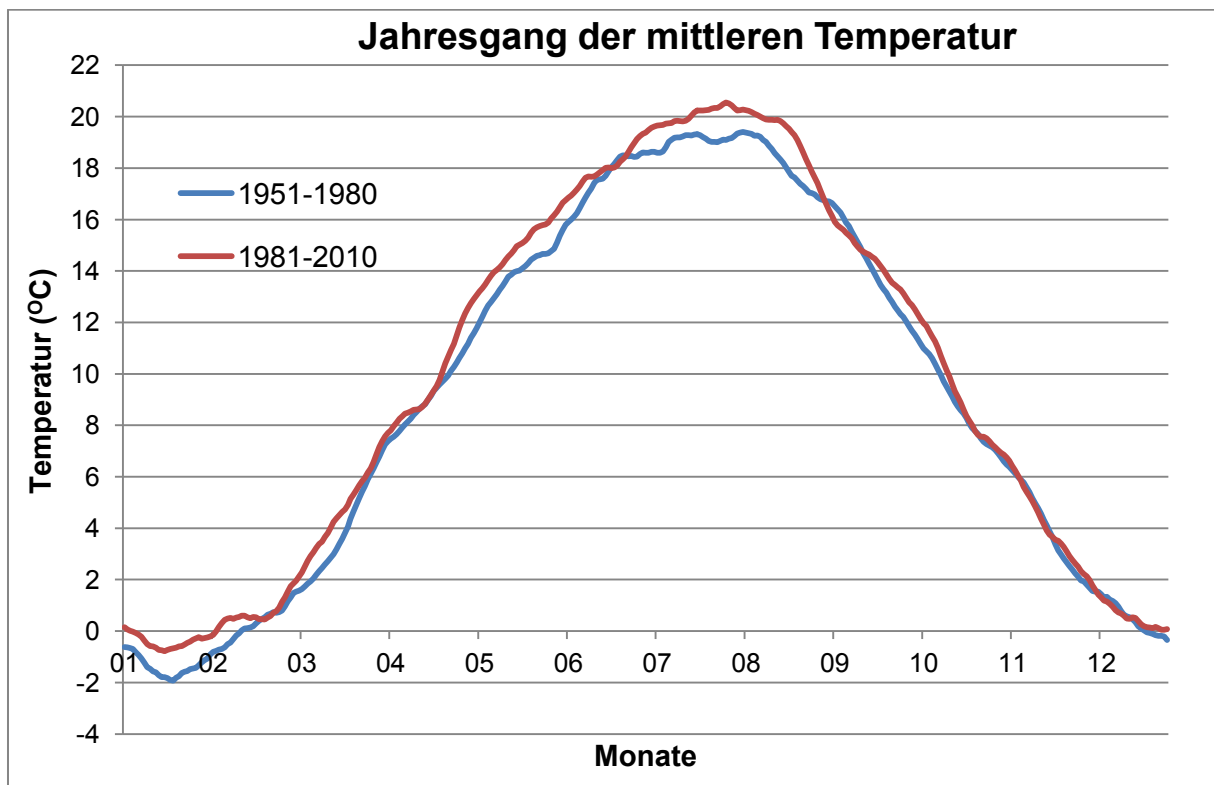


Abbildung 52: Durchschnittliche jährliche mittlere Lufttemperatur, 14tägig gemittelt, 1951-1980 und 1981.2010, Station Mariabrunn, in °C, eigene Darstellung

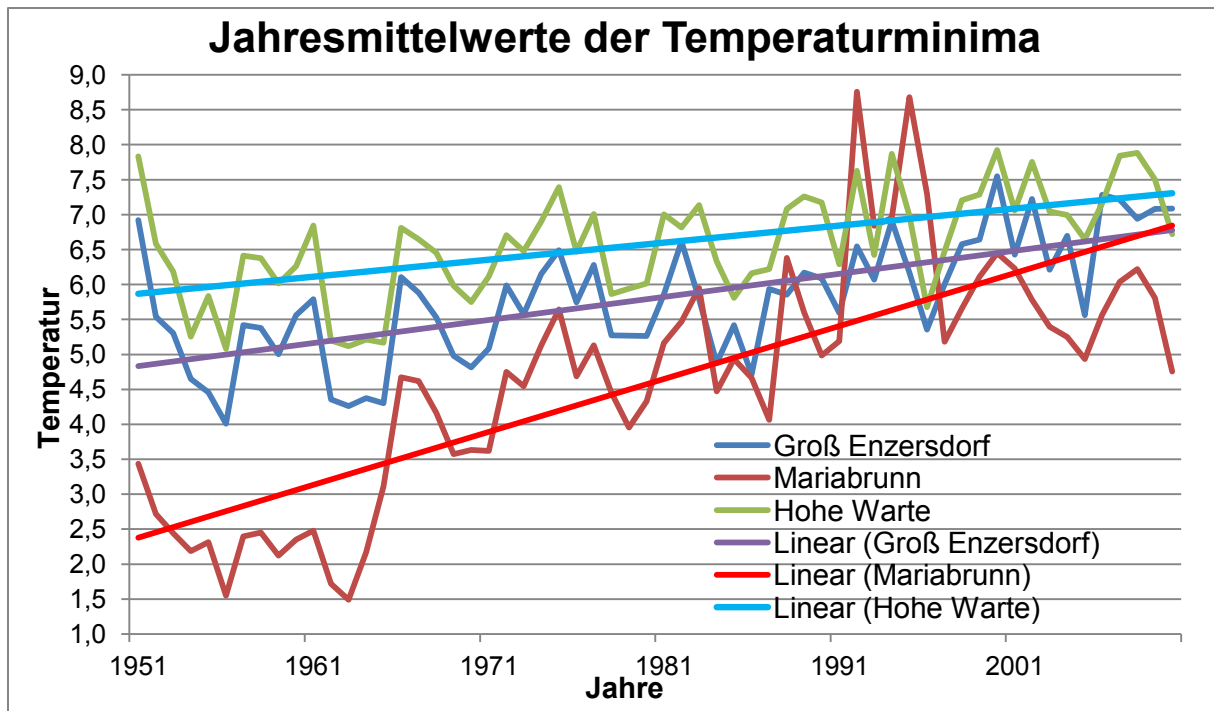


Abbildung 53: Jahresmittelwerte der Temperaturminima, 1981-2010 Station Groß Enzersdorf, Hohe Warte und Mariabrunn, in °C, eigene Darstellung