



**Institut für Meteorologie  
Universität für Bodenkultur**



Universität für Bodenkultur Wien  
Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt  
Institut für Meteorologie (BOKU-Met)

**Auswirkungen des Klimawandels auf Wien  
unter besonderer Berücksichtigung von Klima-  
szenarien**

**Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb  
Mag. Dr. Herbert Formayer  
Mag. Lukas Clementschitsch**

**Dezember, 2007**

**Im Auftrag der  
Magistratsdirektion der Stadt Wien - Klimaschutzkoordination**

**Auftraggeber:**

Magistratsdirektion - Klimaschutzkoordination  
Muthgasse 62  
1190 Wien

**Auftragnehmer:**

Institut für Meteorologie  
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt  
Universität für Bodenkultur Wien  
Peter-Jordan-Str. 82  
1190 Wien, Österreich

**Autoren:**

Helga Kromp-Kolb, Prof. Dr.  
Herbert Formayer, Mag. Dr.  
Lukas Clementschitsch, Mag.

<http://www.wau.boku.ac.at/met.html>

---

## Inhaltsangabe

<b>0. EINLEITUNG</b> .....	<b>4</b>
0.1.    KERNAUSSAGEN DIESER ARBEIT .....	5
<b>1. ENTWICKLUNG DES KLIMAS VON WIEN</b> .....	<b>6</b>
1.1.    ZUSAMMENFASSUNG.....	6
1.2.    TEMPERATUR .....	6
1.2.1. <i>Tagesextrema</i> .....	6
1.2.2. <i>Frosttage</i> .....	7
1.2.3. <i>Eistage</i> .....	8
1.2.4. <i>Sommertage</i> .....	8
1.2.5. <i>Heiße Tage</i> .....	9
1.2.6. <i>Hitzetage nach Kysely</i> .....	9
1.3.    NIEDERSCHLAG .....	10
1.4.    WIND .....	12
1.5.    POTENZIELLE VERDUNSTUNG UND GLOBALSTRAHLUNG .....	13
<b>2. KLIMAMODELLE UND KLIMASZENARIEN</b> .....	<b>15</b>
2.1.    ZUSAMMENFASSUNG.....	15
2.2.    EINLEITUNG .....	16
2.3.    REGIONALMODELLE UND KLIMATRENDS FÜR DEN OSTEN ÖSTERREICHS.....	20
2.4.    KLIMATRENDS FÜR WIEN.....	22
2.4.1. <i>Hitze- und Sommertage</i> .....	23
2.4.2. <i>Hitzewellen</i> .....	23
2.4.3. <i>Wärmeinseleffekt</i> .....	24
2.4.4. <i>Nächtliche Abkühlung und „Warme Nächte“</i> .....	26
2.4.5. <i>Niederschlag</i> .....	26
2.5.    MÖGLICHKEITEN UND LIMITIERUNGEN LOKALER SZENARIEN .....	27
<b>3. EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF DIE BEREICHE UMWELT, GESELLSCHAFT UND WIRTSCHAFT</b> .....	<b>29</b>
3.1.    ZUSAMMENFASSUNG.....	29
3.2.    BEREICH <i>UMWELT</i> .....	30
3.2.1. <i>Luftqualität</i> .....	30
3.2.2. <i>Hochwasser</i> .....	31
3.2.3. <i>Wasserversorgung</i> .....	31
3.2.4. <i>Biodiversität</i> .....	31
3.3.    BEREICH <i>GESELLSCHAFT</i> .....	32
3.3.1. <i>Gebäude</i> .....	32
3.3.2. <i>Erziehung</i> .....	33
3.3.3. <i>Gesundheit</i> .....	33
3.3.4. <i>Grünraum</i> .....	36
3.4.    BEREICH <i>WIRTSCHAFT</i> .....	37
3.4.1. <i>Transport</i> .....	37
3.4.2. <i>Tourismus und Freizeit</i> .....	37
3.4.3. <i>Energie</i> .....	37
<b>4. LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>39</b>

---

## 0. Einleitung

Es ist inzwischen eine allgemein akzeptierte Tatsache, dass das globale Klima in einem Wandel begriffen ist, dessen dramatische Folgen sich bereits jetzt weltweit abzeichnen beginnen. Die zu erwartenden Kosten für die Anpassung an den Klimawandel und für die Behebung von Schäden durch Extremwetter hat Nicholas Stern in seinem Bericht an die Britische Regierung Ende 2006 mit 5 bis 20 % des globalen BIP beziffert, sollten Minderungsmaßnahmen nicht oder nicht hinreichend rasch umgesetzt werden.

Der Alpine Raum - und damit auch Österreich und Wien - sind gegenüber dem Klimawandel auf besondere Weise sensibel und verletzlich. Es ist daher davon auszugehen, dass die Kosten der Anpassung auch hier ein beachtliches Ausmaß erreichen werden. Im alpinen Raum wird das vor allem die Sicherung vor Alpingefahren bedeuten, in Wien hingegen z.B. die Anpassung an größere und länger anhaltende Hitze und Trockenheit im Sommer, möglicherweise unterbrochen von häufigeren, heftigen Niederschlägen.

Um Anpassung zeitgerecht in die Wege zu leiten und effizient zu gestalten, müssen die lokalen Ausprägungen des Klimawandels in Wien - bisher und in der Zukunft - ebenso bekannt sein, wie deren Auswirkungen etwa auf die menschliche Gesundheit und Behaglichkeit, die Vegetation in den Grünanlagen und in den Wiener landwirtschaftlichen Betrieben, auf den Verkehr, den Tourismus, sowie den Energiebedarf und die Energiebereitstellung. Daraus sind die Kosten des Klimawandels ableitbar, vor allem aber auch die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen, sowie deren Kosten. In manchen Bereichen sind Wechselwirkungen und Synergien mit Minderungsmaßnahmen zu beachten.

Alle bisherigen Untersuchungen bezüglich beobachteter Klimaänderung und zukünftigen Szenarien beziehen sich auf Stationsdaten. Durch einen Vergleich von Wien-Hohe Warte und Wien-Innere Stadt ist zwar eine gewisse Quantifizierung des Stadteffektes und der regionalen Unterschiede innerhalb des Stadtgebietes möglich, eine flächige Betrachtung des Großraumes Wiens bezüglich Klimaänderung wurde bisher noch nicht durchgeführt. Aufgrund der stark ausgeprägten Unterschiede innerhalb des Stadtgebietes, besonders bei der Temperatur aber auch beim Niederschlag muss jedoch von einer differenzierten Betroffenheit von einzelnen Stadtgebieten ausgegangen werden.

### 0.1. Kernaussagen dieser Arbeit

- **Der bisher in Wien beobachtete Klimawandel betrifft in erster Linie die Temperatur. Hierbei verändern sich nicht nur die mittleren Bedingungen, sondern besonders die Temperaturextreme wie Hitze- und Frosttage.**
- **Neben der Temperatur zeigen nur die potenzielle Verdunstung und die Globalstrahlung einen deutlichen Trend innerhalb der letzten Jahrzehnte.**
- **Stürme und Starkniederschläge zeigen keine signifikanten Änderungen.**
- **Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten sollten immer mehrere regionale Klimaszenarien verwendet - also Ensembleuntersuchungen durchgeführt werden.**
- **Aussagen über die künftigen Temperaturentwicklungen sind am besten abgesichert; es können daher auch Aussagen über Extremwerte abgeleitet werden.**
- **Beim Niederschlag sind die Unsicherheiten deutlich größer. Die saisonale Verlagerung der Niederschläge und eine Zunahme der Niederschlagsintensität sind jedoch gut abgesichert.**
- **Die räumliche Differenzierung von regionalen Klimamodellen ist derzeit noch zu gering, um die Unterschiede innerhalb des Stadtgebietes, oder überhaupt den „Stadteffekt“ direkt zu reproduzieren.**
- **Alle bisher für Wien untersuchten regionalen Klimaszenarien beziehen sich auf die Bedingungen an den meteorologischen Stationen „Wien-Hohe Warte“ bzw. „Wien-Innere Stadt“. Eine Übertragung der standardisierten Messungen auf die realen Bedingungen in den Straßenschluchten und eine räumliche Differenzierung innerhalb des Stadtgebietes aufgrund der Bebauung usw. wurde bisher noch nicht durchgeführt.**
- **Die Zunahme der Trockenperioden in Kombination mit dem Anstieg der Verdunstung wird zu einer signifikanten Abnahme des Bodenwassergehaltes führen.**
- **Höhere Temperaturen, weniger Niederschlag, geändertes Freizeitverhalten der Stadtbewohner, zunehmende Zahl der Stadttouristen und ein höherer Anteil an Neophyten verstärken den Druck auf die Naherholungsgebiete und Grünflächen innerhalb der Stadt.**
- **Durch vermehrtes Auftreten von Extremereignissen (z.B. Hitzewellen) kann es zu Komforteinbußen und Betriebsstörungen des öffentlichen und privaten Verkehrs kommen.**
- **Heizgradtage werden bis 2050 um rund 20 % abnehmen, Kühlgradtage werden um rund 117 % zunehmen. Diese Ergebnisse müssen aber als erste Grobabschätzungen interpretiert werden, da eine räumliche Differenzierung der thermischen Bedingungen nicht berücksichtigt sind. Auch ist die Genauigkeit des Kühlgradtagansatzes zur Abschätzung des Kühlbedarfs noch umstritten.**

## 1. Entwicklung des Klimas von Wien

### 1.1. Zusammenfassung

- Zwischen 1872 und 2000 nahm die jährliche Anzahl an Frosttagen um mehr als 30 Tage ab.
- Die jährliche Anzahl an Eistagen hat sich verglichen mit dem Maximum nahezu halbiert.
- Zwischen 1872 und 2000 nahm die jährliche Anzahl an Sommertagen zu. Seit etwa 1910 um rund 35 Tage. Das heutige hohe Niveau liegt um 15 Tage höher als zu Beginn der Zeitreihe 1872.
- Zwischen 1872 und 2000 nahm die jährliche Anzahl an heißen Tagen seit etwa 1910 um rund 15 Tage zu. Das heutige hohe Niveau liegt um 8 Tage höher als zu Beginn der Zeitreihe 1872.
- In der Klimanormalperiode von 1961 bis 1990 waren es durchschnittlich 5,1 Kyselytage (Hitzewelle-Tage) pro Jahr. Für die Periode 1976 bis 2005 wurden bereits 9,1 solcher Tage an der Station Wien-Hohe Warte pro Jahr beobachtet. Insgesamt zeigt die Anzahl der Kyselytage einen exponentiellen Anstieg.
- Die beobachteten Jahresniederschlagssummen unterliegen großen interannualen Schwankungen mit einer Bandbreite von 404 bis 988 mm. Ein Trend bei den Jahresniederschlagssummen ist nicht ersichtlich.
- Die Häufigkeit von Starkniederschlägen zeigt ebenfalls keinen eindeutigen Trend.
- Die höchste Anzahl an Starkwinden wurde um 1910 aufgezeichnet, gefolgt von einem rapiden Abfall. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts bewegen sich die Werte auf gleichbleibendem Niveau, wobei jedoch klare dekadische Schwankungen auftreten.
- Die potenzielle Verdunstung hat seit Mitte der 1970er Jahre um etwa 25 mm pro Dekade zugenommen, was teilweise durch den ebenfalls steigenden Trend der Globalstrahlung verursacht wird.

### 1.2. Temperatur

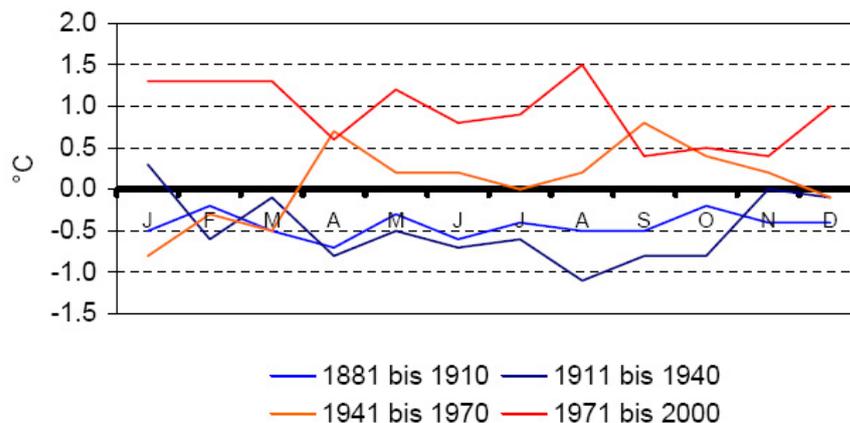
#### 1.2.1. Tagesextrema

Im Abschnitt Temperatur werden neben den Veränderungen des Temperaturmaximums bzw. -minimums auch die meteorologischen Größen wie Frost-, Eis-, Sommer- und Hitzetage sowie Hitzewellen bzw. -tage nach Kysely näher betrachtet.

Abbildung 1 zeigt die täglichen Temperaturmaxima für mehrere 30jährige Perioden. Als Vergleichsperiode diente die Reihe 1871 bis 2000. Ein Trend zu höheren Temperaturen ist zu erkennen. Lag die Periode 1881 bis 1910 noch zur Gänze unterhalb des Langzeitdurchschnitts, so gilt das für die jüngste der Perioden nicht mehr.

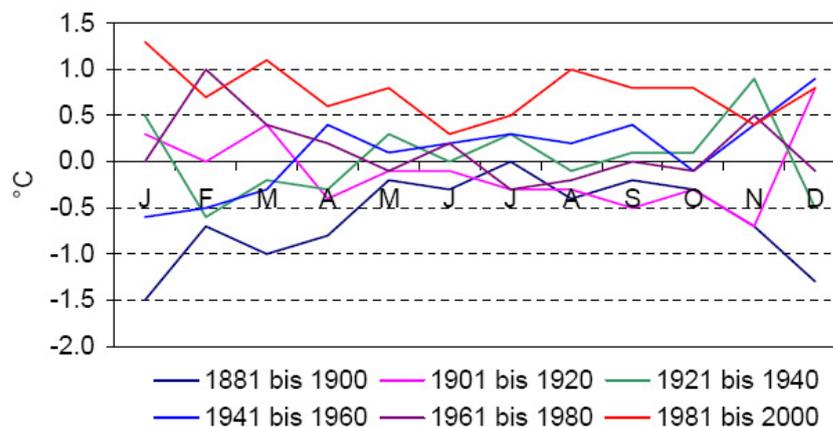
Das tägliche Temperaturmaximum der Periode 1971 bis 2000 befand sich für den gesamten Beobachtungsraum über dem langjährigen Durchschnitt. Ein Anstieg von

1,5°C gegenüber der Gesamtreihe 1872 bis 2000 konnte beobachtet werden (Abbildung 1).



**Abb. 1: Jahresgang der Abweichung des täglichen Temperaturmaximums für verschiedene 30jährige Perioden vom Jahresgang 1872-2000, Wien-Hohe Warte [1]**

So wie der Jahresgang des Temperaturmaximums, zeigt auch der Jahresgang der täglichen Temperaturminima eine Zunahme. Abbildung 2 zeigt die täglichen Temperaturminima für mehrere 20jährige Perioden. Als Vergleichsperiode dient abermals der Abschnitt 1872 bis 2000. Nur der Jahresgang der jüngsten Periode lag zur Gänze oberhalb der Referenzperiode. Sie wird durch die 0°C Linie gekennzeichnet.



**Abb. 2: Jahresgang der Abweichung des täglichen Temperaturminimums für verschiedene Perioden vom Jahresgang 1872-2000, Wien-Hohe Warte [1]**

### 1.2.2. Frosttage

Bei Frosttagen liegt das Temperaturminimum unter 0°C. Abbildung 3 zeigt die jährliche Anzahl der Frosttage für die Zeitreihen 1872 bis 2000. Ein Abnehmender Trend ist zu erkennen. Die jährliche Anzahl an Frosttagen hat seit Ende des 19. Jahrhunderts von rund 100 auf knapp über 60 Tage abgenommen [1].

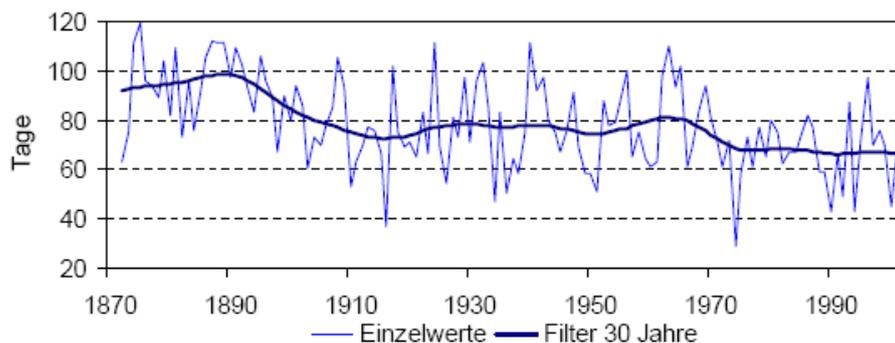


Abb. 3: Zeitreihe der jährlichen Anzahl der Frosttage in Wien-Hohe Warte [1]

### 1.2.3. Eistage

Bei Eistagen liegt das Temperaturmaximum nicht über  $0^{\circ}\text{C}$ . Ein abnehmender Trend ist zu erkennen. „In der Zeitreihe von 1872 bis 2000 hat die jährliche Anzahl Eistagen seit etwa 1940 um rund 10 Tage abgenommen. Das heutige tiefe Niveau wurde auch um 1910 herum nur wenig übertroffen. Eine starke Änderung der Eistagehäufigkeit wurde zwischen 1890 und 1900 verzeichnet.“ [1]

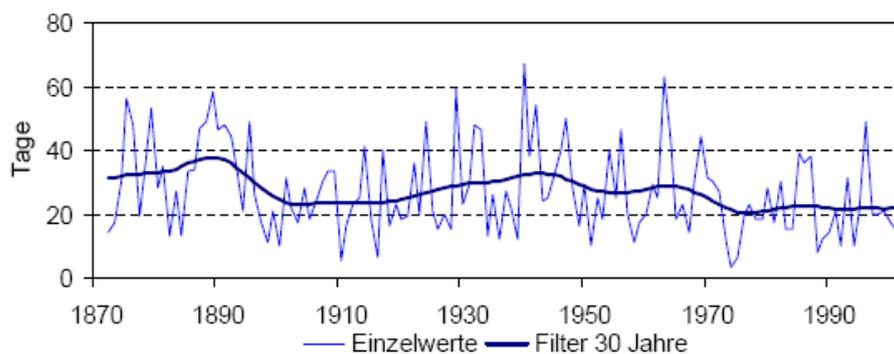


Abb. 4: Zeitreihe der jährlichen Anzahl der Eistage in Wien-Hohe Warte [1]

### 1.2.4. Sommertage

Das Temperaturmaximum bei Sommertagen liegt oberhalb von  $25^{\circ}\text{C}$ . „Die Betrachtung der Zeitreihe 1872 bis 2000 zeigt, dass die jährliche Anzahl an Sommertagen seit etwa 1910 um rund 35 Tage zugenommen hat. [1]

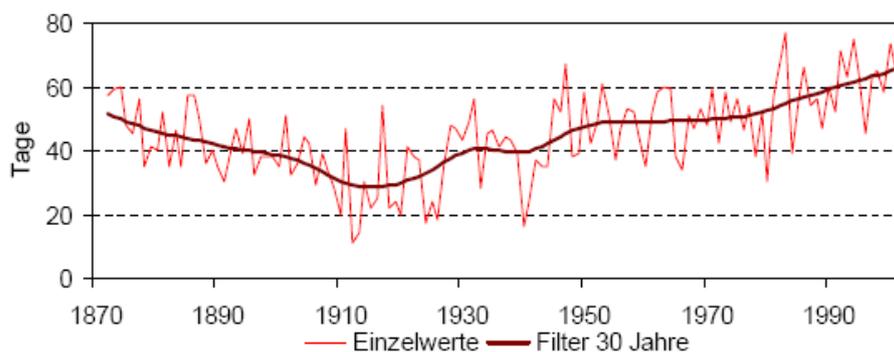


Abb. 5: Zeitreihe der jährlichen Anzahl der Sommertage in Wien-Hohe Warte [1]

### 1.2.5. Heiße Tage

Von einem heißen Tag spricht man, wenn die Temperaturen Werte über  $30^{\circ}\text{C}$  annehmen. Sie sind auch unter den Begriffen Tropentage bzw. Hitzetage bekannt. „In Hinblick auf den Zeitraum von 1872 bis 2000 hat die jährliche Anzahl an heißen Tagen seit etwa 1910 um rund 15 Tage zugenommen. Das heutige hohe Niveau liegt um 8 Tage höher als zu Beginn der Zeitreihe.“[1]

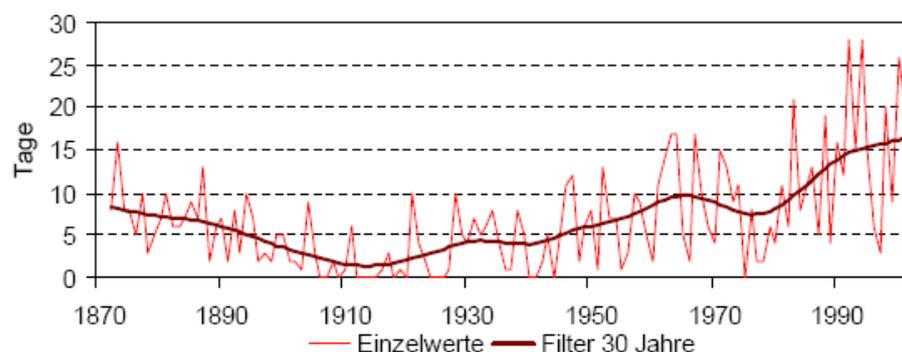


Abb. 6: Zeitreihe der jährlichen Anzahl der heißen Tage in Wien-Hohe Warte [1]

### 1.2.6. Hitzetage nach Kysely

In engem Zusammenhang zu einzelnen Tropentagen stehen Hitzewellen. Nach Kysely werden Hitzewellen, als eine Abfolge von mindestens drei Tagen an denen die Maximaltemperatur über  $30^{\circ}\text{C}$  liegt, definiert. „Die Hitzeperiode hält an solange die Maximaltemperatur über die gesamte Periode über  $30^{\circ}\text{C}$  bleibt und an keinem Tag eine Maximaltemperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  unterschritten wird.“ [2]

Die jährliche Zahl der Hitzetage nach Kysely hat sich für Wien seit Mitte des vorigen Jahrhunderts beträchtlich erhöht (Abbildung 7). Kyselytage haben größere Auswirkungen auf die Mortalität als heiße Tage an sich. Noch größer ist der Einfluss fehlender nächtlicher Abkühlung.

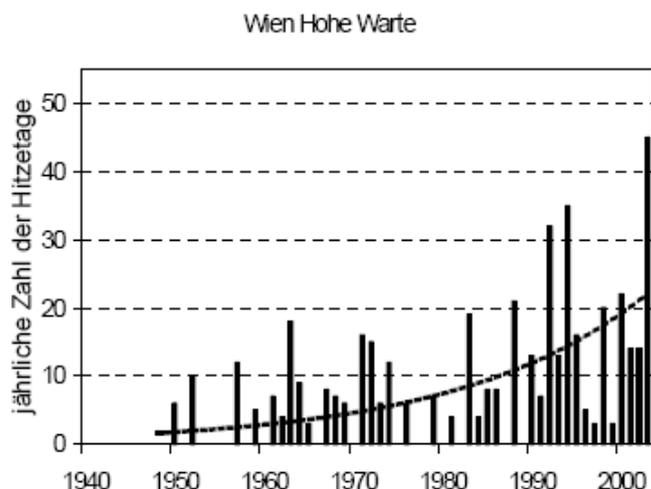


Abb. 7: Zeitreihen der Zahl der Kysely Tage pro Jahr in Wien-Hohe Warte [3]

In der Klimanormalperiode von 1961 bis 1990 waren es durchschnittlich 5,1 Kyselytage pro Jahr. Für die Periode 1976 bis 2005 wurden bereits 9,1 solcher Tage an der Station Wien-Hohe Warte pro Jahr beobachtet. [2]. Seit etwa Mitte der 1970er Jahre kann ein exponentieller Anstieg der Anzahl an Kyselytagen beobachtet werden.

### 1.3. Niederschlag

Allgemein können Niederschläge in Europa auf zwei Arten entstehen: konvektiv (Schauer und Gewitter) oder stratiform (Landregen). Ersteres verursacht Niederschläge von kurzer Dauer (einige Stunden) und kleinräumiger Wirksamkeit, aber hoher Intensität. Die Schäden sind lokal begrenzt und werden durch Murenabgänge, Hochwässer in Wildbächen und kleinräumigen Einzugsgebieten sowie von Sturmböen und Hagel verursacht. Zweiteres verursacht Regenfälle, die bis zu drei Tagen andauern können. Verglichen mit konvektiven Niederschlägen liefern sie in einer Stunde nur 20 % der Regenmenge. [4]

Abbildung 8 beschreibt den Verlauf der Niederschlagssummen. Es ist ersichtlich, dass die einzelnen Niederschlagswerte großen Schwankungen von Jahr zu Jahr unterliegen. „Diese übersteigen jeden in der Abbildung erkennbaren Trend. Besonders hervorzuheben ist der Zeitraum 1932 bis 1941, in welchem sich die jährlichen Niederschlagseinträge zwischen 404 und 988 mm bewegten. Um die Kurzzeitvariabilität zu unterdrücken, ist in der Abbildung auch ein 30jährig geglätteter Verlauf eingetragen. Dieser geglättete Verlauf lässt Perioden mit Niederschlagszunahmen bzw. - abnahmen erkennen: Niederschlagszunahme von 1860 bis 1920, darauffolgend eine starke kurze Periode mit relativ starker Niederschlagsabnahme, einen längeren Zeitabschnitt mit Niederschlagsabnahme bis zu Beginn der 1980er Jahre und eine anschließende erneute Zunahme.“ [1]

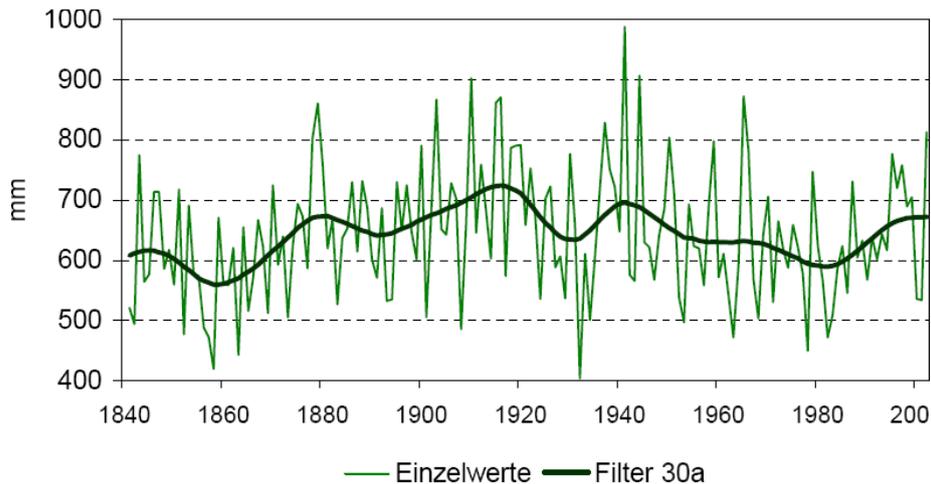


Abb. 8: Zeitreihe der Jahressummen des Niederschlages (alle Werte auf den Standort Wien-Hohe Warte umgerechnet), 1841-2002 [1]

Niederschläge, die im Verhältnis zur Dauer eine hohe Niederschlagsintensität haben und daher selten auftreten, werden auch als Starkniederschläge bezeichnet. Sie gehören zu jenen extremen Wetterereignissen die erheblichen wirtschaftlichen Schaden anrichten können.

Abbildung 9 bildet den Verlauf von Starkregenereignissen (größer gleich 20 mm) für Wien-Hohe Warte für die Periode 1948 bis 2005 ab. Mit 12 Ereignissen hat das Jahr 1960 die höchste Anzahl zu verzeichnen. Durchschnittlich gab es zwischen vier bis sechs Ereignisse pro Jahr. Nur die Jahre um 1984 (1981 bis 1988) lagen darunter. Für den gesamten beobachteten Zeitraum ist kein eindeutiger Trend ersichtlich.

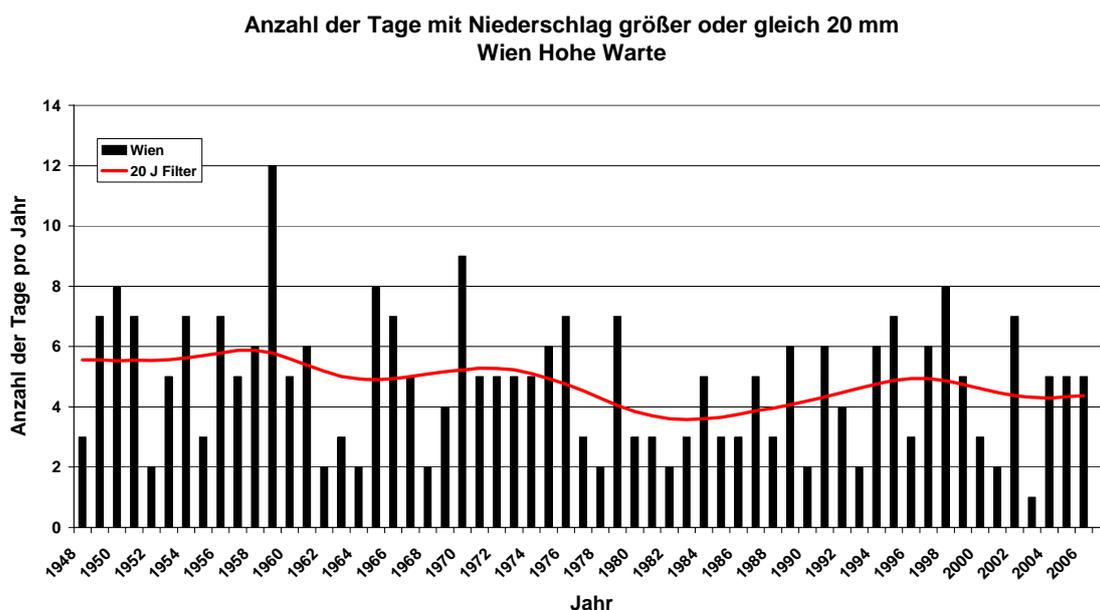


Abb. 9: Anzahl der Tage mit Niederschlägen größer oder gleich 20 mm in Wien-Hohe Warte.

## 1.4. Wind

Starkwinde entwurzeln Bäume, beschädigen Gebäude und gefährden Menschen. Tabelle 1 bietet einen Überblick über Schäden die Winde unterschiedlicher Stärke verursachen können. Neben der Einteilung der Windstärken nach Beaufort, werden auch deren Bezeichnungen, ihre Windgeschwindigkeiten in km/h sowie eine kurze Beschreibung angeführt.

**Tab. 1: Beaufort-Skala nach Windgeschwindigkeiten und nach phänomenologischen Kriterien (Siehe: [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de): Beaufortskala, 19. Nov. 2007)**

Windstärke in Bft.	Bezeichnung	Windgeschw. in km/h	Beschreibung
8	Stürmischer Wind	62 – 74	große Bäume werden bewegt, Fensterläden werden geöffnet, Zweige brechen von Bäumen, beim Gehen erhebliche Behinderung
9	Sturm	75 – 88	Äste brechen, kleinere Schäden an Häusern, Ziegel und Rauchhauben werden von Dächern gehoben, Gartenmöbel werden umgeworfen und verweht, beim Gehen erhebliche Behinderung
10	Schwerer Sturm	89 – 102	Bäume werden entwurzelt, Baumstämme brechen, Gartenmöbel werden weggeweht, größere Schäden an Häusern; selten im Landesinneren
11	Orkanartiger Sturm	103 – 117	heftige Böen, schwere Sturmschäden, schwere Schäden an Wäldern (Windbruch), Dächer werden abgedeckt, Autos werden aus der Spur geworfen, dicke Mauern werden beschädigt, Gehen ist unmöglich; sehr selten im Binnenland
12	Orkan	>118	schwerste Sturmschäden und Verwüstungen; sehr selten im Landesinneren

Matulla et al. (2006) analysierten die Entwicklung der Winde für Europa vom späten 19. Jahrhundert bis 2005 anhand von Druckgradienten auf Tagesbasis und dem daraus berechneten geostrophischen Wind (Abbildung 11). Zur größten Anzahl von Starkwindereignissen kam es um 1900. Während sich die nachfolgende Abnahme für Westeuropa langsam vollzog, konnte für Mitteleuropa ein rascherer Rückgang beobachtet werden. Nach 1920 kam es wieder zu einem stufenweisen Anstieg bis zur Mitte der 90er (für Mitteleuropa). Die neueren Beobachtungen zeigen einen Trend hin zu Durchschnittswerten bzw. zu einer Phase windschwacher Verhältnisse.

Ein in der ersten Hälfte der Periode ähnliches Bild ergab sich für die Messdaten der Station Wien-Hohe Warte. Die höchste Anzahl an Starkwinden wurde um 1910 aufgezeichnet, gefolgt von einem rapiden Abfall. Erst zwischen 1940 bis 1960 traten sie wieder vermehrt auf. Dieser Verlauf ist auch in der geglätteten Kurve (21jährig) abgebildet. Es gibt zwei Maxima: eines um 1910 und ein anderes um 1960. Nach dem zweiten ist ein Abwärtstrend zu verzeichnen, der bis zum Ende der Messreihe 1992 anhält. Da die Windmessungen sehr sensitiv auf Standortverlegungen reagieren kann die Windreihe der Hohen Warte nicht bis heute dargestellt werden, da 1992 eine Verlegung des Windmessers erfolgte.

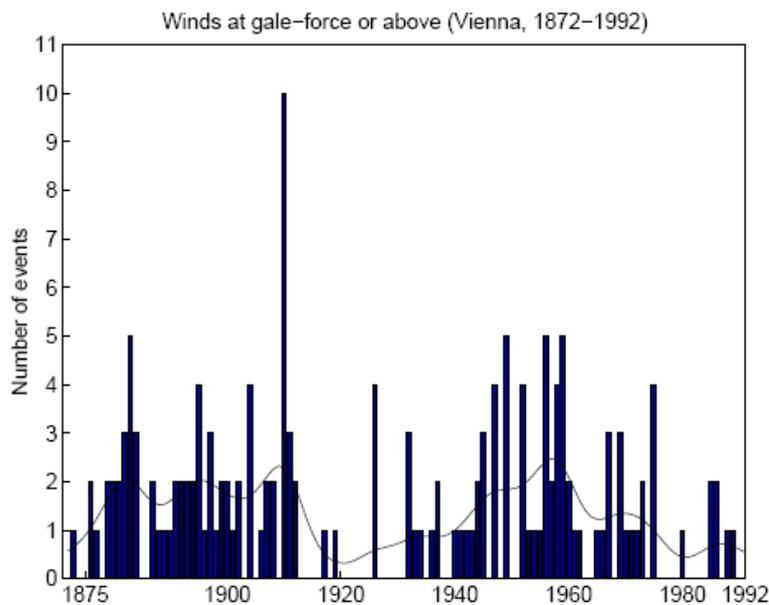


Abb. 10: Anzahl der Starkwinde (Nov-Feb) gleich oder größer acht Beaufort [5]

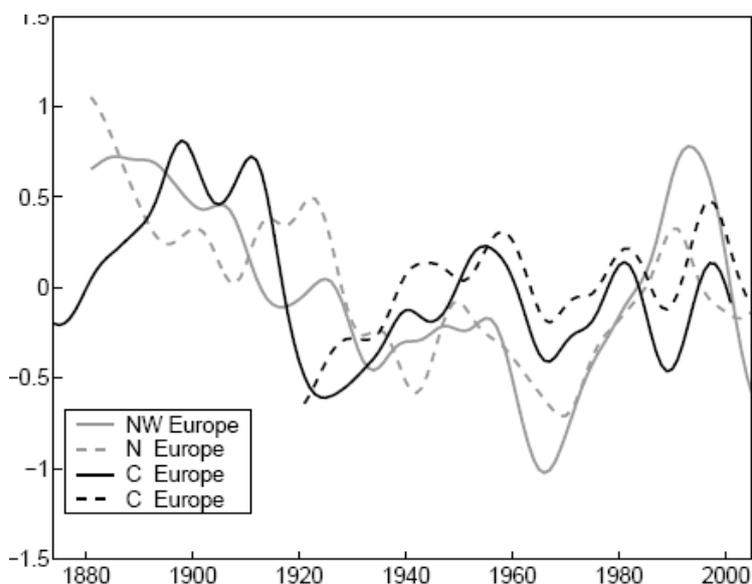


Abb. 11: Das 99er Perzentil für geostrophische Windstärken in Nordwesteuropa (NW Europe), Nordeuropa (N Europe) und Mitteleuropa (C Europa) [5]

### 1.5. Potenzielle Verdunstung und Globalstrahlung

Die mit drei verschiedenen Verdunstungsformeln berechnete Verdunstung für Wien-Hohe Werte zeigt eine deutliche Zunahme der potenziellen Verdunstung von etwa 25 mm pro Dekade seit Mitte der 1970er Jahre. Gleichzeitig kann kein Trend bei der relativen Luftfeuchtigkeit beobachtet werden. Es zeigt sich ebenfalls, dass eine Verdunstungsformel ohne Berücksichtigung der Globalstrahlung einen geringeren Trend aufweist als solche mit Berücksichtigung. Daher kann die beobachtete Zunahme an potenzieller Verdunstung nur durch den Temperaturanstieg und die Zunahme der Globalstrahlung erklärt werden.

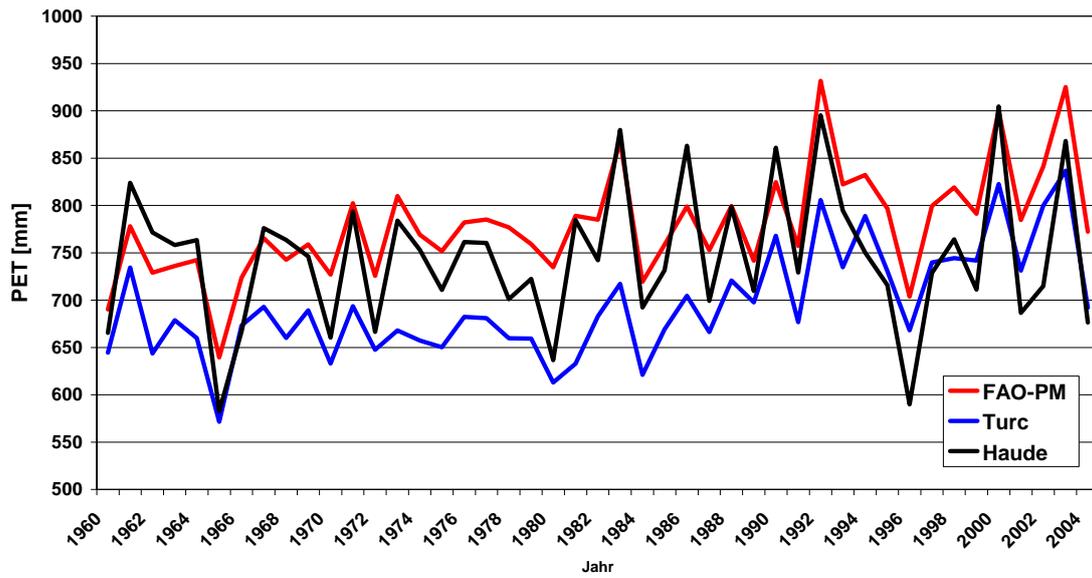


Abb. 12: Jahressumme der PET in Wien-Hohe Warte berechnet mit 3 Verfahren [6]

## 2. Klimamodelle und Klimaszenarien

### 2.1. Zusammenfassung

- Aufgrund der Unsicherheiten bei der zukünftigen Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen, sowie der Aussagen der globalen Klimamodelle für Mitteleuropa und der Regionalisierungsverfahren sollten immer mehrere regionale Szenarien ermittelt, also Ensembleuntersuchungen durchgeführt werden.
- Die Unsicherheiten der globalen Modelle und der Regionalisierungsverfahren hängen von dem betrachteten meteorologischen Parameter ab.
- Aussagen über die künftigen Temperaturentwicklungen sind am besten abgesichert; es können daher auch Aussagen über Extremwerte abgeleitet werden.
- Beim Niederschlag sind die Unsicherheiten deutlich größer. Die saisonale Verlagerung der Niederschläge und eine Zunahme der Niederschlagsintensität sind jedoch gut abgesichert.
- Aussagen bezüglich kleinräumiger, kurzfristiger, extremer Starkniederschläge sind derzeit noch nicht direkt aus regionalen Modellen ableitbar, Plausibilitätsüberlegungen machen jedoch einen Anstieg wahrscheinlich.
- Trockenperioden können von den Klimamodellen recht verlässlich modelliert werden, da diese durch großräumige Hochdruckgebiete verursacht werden.
- Die Zunahme der Trockenperioden in Kombination mit dem Anstieg der Verdunstung wird zu einer signifikanten Abnahme des Bodenwassergehaltes führen.
- Die räumliche Differenzierung von regionalen Klimamodellen ist derzeit noch zu gering, um die Unterschiede innerhalb des Stadtgebietes, oder überhaupt den „Stadteffekt“ direkt zu reproduzieren.
- Alle bisher für Wien untersuchten regionalen Klimaszenarien beziehen sich auf die Bedingungen an den meteorologischen Stationen „Wien-Hohe Warte“ bzw. „Wien-Innere Stadt“. Eine Übertragung der standardisierten Messungen auf die realen Bedingungen in den Straßenschluchten und eine räumliche Differenzierung innerhalb des Stadtgebietes aufgrund der Bebauung usw. erfolgte bisher noch nicht.
- Temperatur- und Niederschlagsänderungen für die Periode 2041 bis 2050 im Vergleich zu 1981 bis 1990 zeigen saisonale Unterschiede. Für den Osten Österreichs ergeben sich folgende Werte

Temperaturänderung		Niederschlagsänderung
Winter	+1,3 bis 1,8°C	+15 bis 30 %
Frühjahr	+1,8 bis 2,5°C	bis zu -15 %
Sommer	+2 bis 2,5°C	von -15 bis + 30 %
Herbst	+2,5 bis 3 °C	-25 bis -35 %

- **In den 2040er Jahren wird im Mittel jeder vierte Tag im Sommer ein Hitzetag sein.**
- **Ein Anstieg an Hitzetagen nach Kysely ist zu erkennen. Ein Anstieg von 5,1 Tagen für die Klimanormalperiode (1961 bis 1990) auf 17,7 für die Periode 2010 bis 2039 ist für die Wiener Innenstadt realistisch.**
- **Die Wiener Innenstadt ist aufgrund des städtischen Wärmeinseleffektes von der Hitzebelastung stärker betroffen als die Stadtrandgebiete.**
- **Eine Zunahme von Schlaf- und Gesundheitsproblemen aufgrund des Anstiegs der Nachttemperaturen wird stattfinden. Eine geringe nächtliche Auskühlung (Temperaturminimum über 18 °C) zwischen zwei Hitzetagen ist physisch besonders belastend.**

## 2.2. Einleitung

Klimamodelle simulieren mit mathematischen Gleichungen das Klimasystem der Erde auf Grundlage von physikalischen Gesetzen und können daher auch zur Berechnung von Veränderungen eingesetzt werden. Sie stellen die Komponenten des Klimasystems und ihre komplexen Wechselwirkungen vereinfacht dar und sind damit kein exaktes Abbild der Realität. Abhängig von den eingesetzten Näherungen können sich die Ergebnisse der einzelnen Modelle unterscheiden. Die Erde wird mit einem fiktiven dreidimensionalen Gitternetz überzogen und für die Gitterpunkte werden die meteorologischen Größen wie Temperatur, Feuchte, Wind berechnet. Die Maschenweite wird durch die Rechenleistung der Computer limitiert. Je enger die Punkte zusammen liegen, desto größer ist die räumlich Auflösung, aber eben auch benötigte Rechenleistung. Die räumliche Auflösung liegt derzeit bei einigen hundert Kilometern. Modelle, mit denen das Weltklima simuliert wird, werden Globale Klimamodelle genannt (GCM). [7,8]

Um verschiedene zukünftige Entwicklungen erfassen zu können, werden unterschiedliche Emissionsszenarien von anthropogenen Treibhausgasen entwickelt, mit deren Hilfe dann mögliche Klimaentwicklungen modelliert werden können.

Die bekanntesten Szenarien sind jene des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Es werden vier verschiedene Basisszenarien (A1, A2, B1, B2) und mehrere Szenarienvarianten (A1B, A1FI, A1T ...) unterschieden. Insgesamt gibt es 40 Szenarien mit unterschiedlichen Ausprägungen.

**Tab 2: Die vier Basisszenarien des Third Assessment Report des IPCC. [9]**

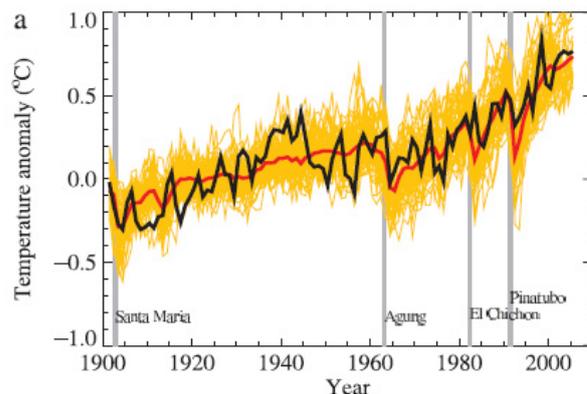
	eher ökonomisch/ materiell orientiert	eher ökologisch/ auf gesell- schaftliche Innovation orientiert
Globalisierung (homogene Welt)	A1	B1
Regionalisierung (heterogene Welt)	A2	B2

Die größte Menge an Treibhausgasen werden im Szenario A2, die geringste im Szenario B1 emittiert. Innerhalb der Szenarienfamilie können wiederum Variationen unterschieden werden.

Die geläufigsten sind A1B, A1FI und A1T. Sie unterscheiden sich im Nutzungsverhältnis von fossilen zu nicht-fossilen Rohstoffen: Im A1FI-Szenario findet eine intensive Nutzung fossiler Rohstoffe statt, das A1T-Szenario setzt verstärkt auf alternative Energiequellen und das A1B-Szenario liegt in der Mitte der beiden zuvor genannten. Es trachtet nach einer ausgewogenen Nutzung aller Rohstoffe. [10]

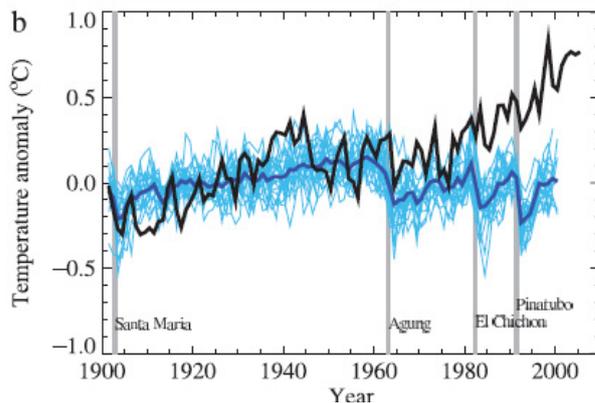
Ebenfalls vom IPCC entwickelt, aber älteren Datums, sind die IS 92a Szenarien. Sie „liegen in Hinblick auf die mögliche globale Temperaturzunahme im Mittelfeld der neuen SRES ... Szenarien ...“ [11] und stehen für ein business-as-usual (BAU, weitermachen wie bisher) Verhalten.

Die Verlässlichkeit der Modelle kann überprüft werden, indem sie zur Berechnung des Klimas der Gegenwart herangezogen werden, und die Ergebnisse mit den Aufzeichnungen verglichen werden [12]. Das Ergebnis eines solchen Versuches ist in Abbildung 13 dargestellt. Die schwarze Linie stellt das beobachtete, die rote das aus mehreren Modellen berechnete mittlere Klima dar. Die Schwankungsbreite der einzelnen Simulationen ist durch den gelben Bereich gekennzeichnet. Die weitgehende Übereinstimmung der Verläufe beider Kurven ist gut zu erkennen.



**Abb. 13:** Vergleich zwischen der berechneten (rot) mit anthropogenem Einfluss und der beobachteten (schwarz) globalen Mitteltemperatur [13]

Vereinzelt wird noch bestritten, dass der Mensch für den Klimawandel verantwortlich sei. Auch diese Aussage kann mit Hilfe von Klimamodellen entkräftet werden. Im Gegensatz zur vorigen Abbildung werden nun in Abbildung 14 die anthropogenen Einflüsse auf das Klima negiert. Deutlich zeigt sich ab den 60ern eine Diskrepanz zwischen modelliertem und beobachtetem Klima.

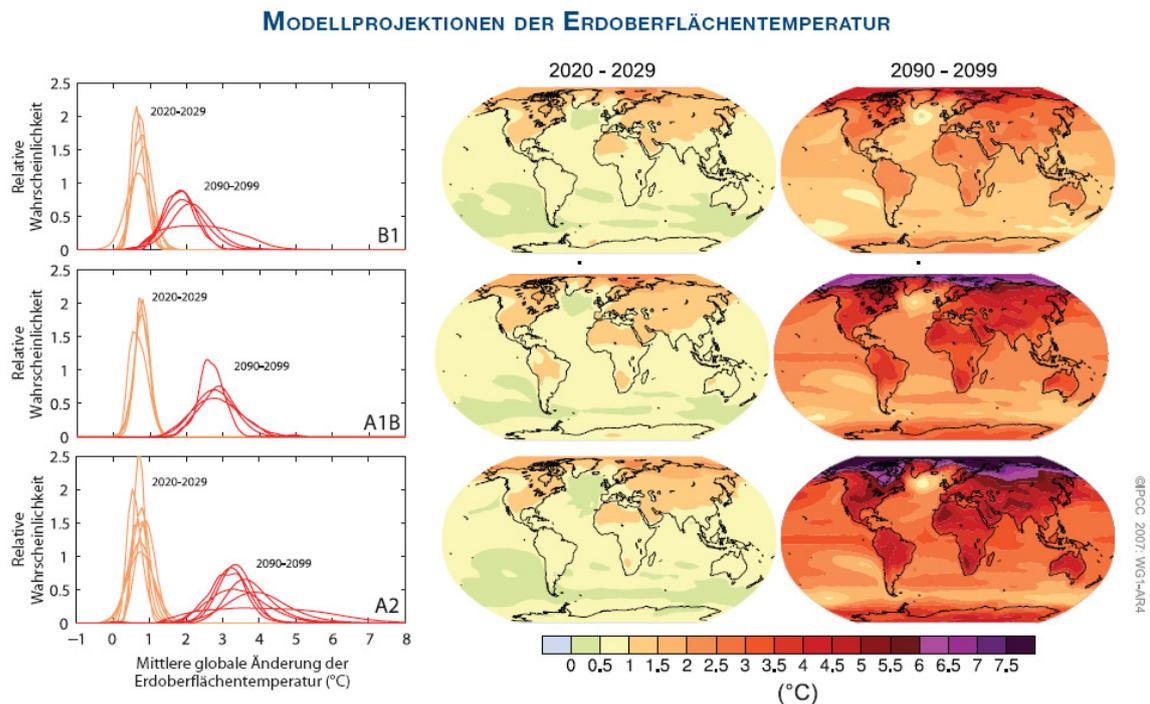


**Abb. 14:** Vergleich zwischen der berechneten (blau) ohne anthropogenen Einfluss und der beobachteten (schwarz) globalen Mitteltemperatur [13]

Die folgenden Abbildungen sind aus dem vierten Sachstandsbericht des IPCC entnommen. Es werden die A1, A1B und A2 Szenarien für die globale Oberflächentemperatur, sowie das Szenario A1B für den globalen Niederschlag dargestellt.

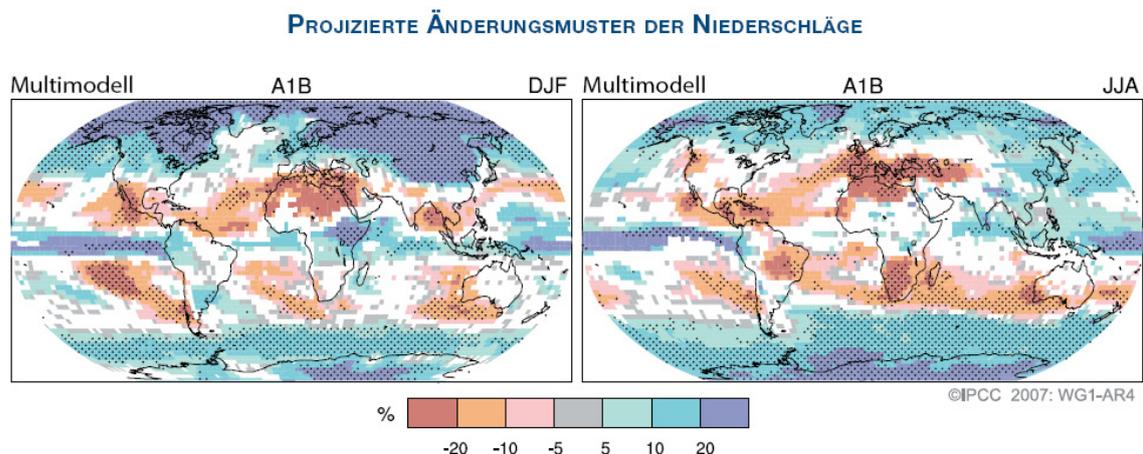
Abbildung 15 zeigt die projizierte Änderung der Erdoberflächentemperatur. „Die größte Erwärmung wird über dem Land und in den meisten hohen nördlichen Breiten erwartet, die kleinste über den südlichen Ozean und über Teilen des Nordatlantischen Ozeans.“ [14] Die mittleren und rechten Grafiken zeigen die Projektion für die oben genannten drei Szenarien. Die Grafiken auf der linken Seite bilden die entsprechenden Unsicherheiten als relative Wahrscheinlichkeiten der geschätzten mittleren globalen Erwärmung aus unterschiedlichen Studien für denselben Zeitraum ab.

Für Mitteleuropa bedeuten die Szenarien einen durchschnittlichen Temperaturanstieg von 0,5 bis 1,5°C für die Periode 2020 bis 2029, wobei kaum ein Unterschied zwischen den Emissionsszenarien zu erkennen ist. Für den Zeitraum 2090 bis 2099 fällt der Anstieg wesentlich stärker aus. Es kann mit einer Temperaturerhöhung von bis zu 4,5°C für das Szenario A2 gerechnet werden. Gegen Ende des Jahrhunderts zeigt sich auch, wie wichtig die Reduktion der Treibhausgasemissionen ist.



**Abb. 15: Änderungen der Erdoberflächentemperatur für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zu 1980-1999. [10]**

Auch für den Niederschlag zeigen sich deutliche Veränderungen. In Abbildung 16 ist die relative Niederschlagsänderung für die Wintermonate Dezember bis Februar (links) sowie für die Sommermonate Juni bis August (rechts) dargestellt. Die Werte basieren auf dem A1B Szenario. Allgemein werden die Niederschlagsmengen in höheren Breiten sehr wahrscheinlich zunehmen, während eine Abnahme über den meisten subtropischen Landregionen wahrscheinlich ist [14]. Für Mitteleuropa ist in den Wintermonaten mit einer Niederschlagszunahme zu rechnen (10 bis 20 %), für die Sommermonate muss mit einer Abnahme von bis zu 20 % gerechnet werden.



**Abb. 16: Relative Änderung der Niederschläge (in Prozent) für die Perioden 2090-2099 im Vergleich zu 1980-1999 [14]**

### 2.3. Regionalmodelle und Klimatrends für den Osten Österreichs

Wegen der geringen räumlichen Auflösung der GCMs ist eine Interpretation der Ergebnisse nur auf globaler, höchstens aber auf kontinentaler Ebene zulässig [7]. Um dennoch Aussagen auf regionaler Ebene treffen zu können, bedient man sich verschiedenster Verfahren. Sie sind unter dem Begriff „Downscaling-Methoden“ (auch „Regionalisierung“) zusammengefasst. Dabei kommen Strategien zur Anwendung, die die GCM-Ergebnisse mit regionaler Information konsistent verbinden. [15]

Abbildung 17 zeigt den Vorgang des Downscalings. Alle Modelle werden von GCMs angetrieben. Die Auflösung reicht von rund 300 km für ein GCM bis 10 km für ein regionales Klimamodell (RCM).

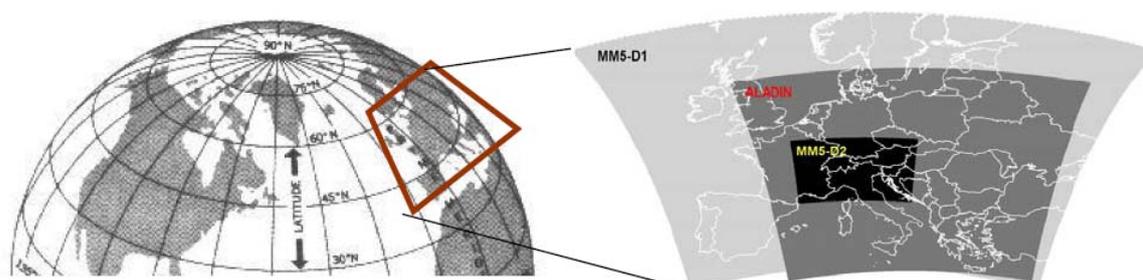


Abb. 17: Schematische Darstellung des Downscalings von reclip:more [16]

Im Zuge des „reclip:more“ Projektes wurde ein Downscaling für Österreich verwirklicht. Ziel war es die künftige regionale Klimaentwicklung für Österreich über längere Zeiträume für ein feines Raster (10 km Gitter) zu berechnen. Dabei kamen zwei RCMs (Aladin und MM5) mit nachgeschaltetem statistischem Downscaling zur Anwendung, sodass sogar eine Zielauflösung von 1 km erreicht werden konnte. Es wurden aktuelle (1981 bis 1990) und künftige (2041 bis 2050) Klimadatensätze in hoher raum-zeitlicher Auflösung generiert. Die RCMs kamen nicht immer zu übereinstimmenden Ergebnissen, so dass noch weiterer Untersuchungsbedarf gegeben ist. Zur Simulation diente das IS 92a Szenario, wo ein gemäßigter Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration von 350 ppm (1990) auf ca. 500 ppm bis 2050 angenommen wird, herangezogen [16]

Abbildung 18 zeigt die Änderung des Temperaturdurchschnittes für den Zeitraum 2041 bis 2050 im Vergleich zu 1981 bis 1990.

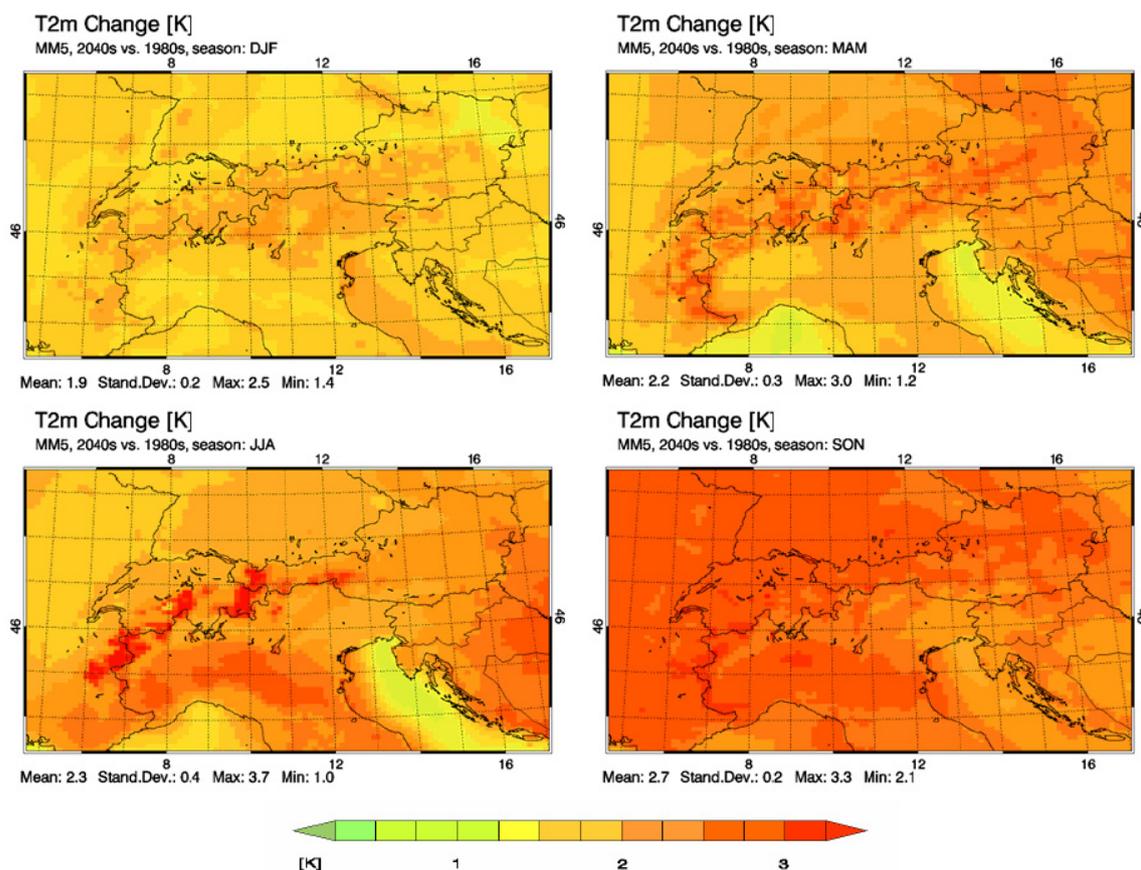


Abb. 18: Änderung des saisonalen Temperaturdurchschnitts (T2m) in °C für 2041- 2050 im Vergleich zu 1981-1990. Dargestellt für das Regionalmodell MM5. [17]

Trotz der offenen Fragen, können gewisse Aussagen auch schon auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse getroffen werden. Der Temperaturanstieg wird regional und saisonal unterschiedlich ausfallen. Für die Wintermonate Dezember, Jänner und Februar rechnet man für den Osten Österreichs mit einer Temperaturänderung von plus 1,3 bis plus 1,8°C. Die Monate März, April und Mai werden durchschnittlich um plus 1,8 bis plus 2,5°C wärmer sein als noch 1981 bis 1990. Auch für den Sommer wird mit einem Temperaturanstieg um rund plus 2 bis plus 2,5°C gerechnet. Für den Herbst (September, Oktober und November) erwartet man den stärksten Anstieg. Er bewegt sich zwischen plus 2,5 und plus 3°C. Dieser stärkere Temperaturanstieg im Sommer und Herbst ist hauptsächlich auf den Niederschlagsrückgang in diesen Jahreszeiten zurück zu führen.

Änderungen sind auch im Niederschlagsmuster sowie in der Niederschlagshäufigkeit zu erwarten (Abbildung 19). Die Niederschläge werden insgesamt abnehmen, vor allem im Osten.

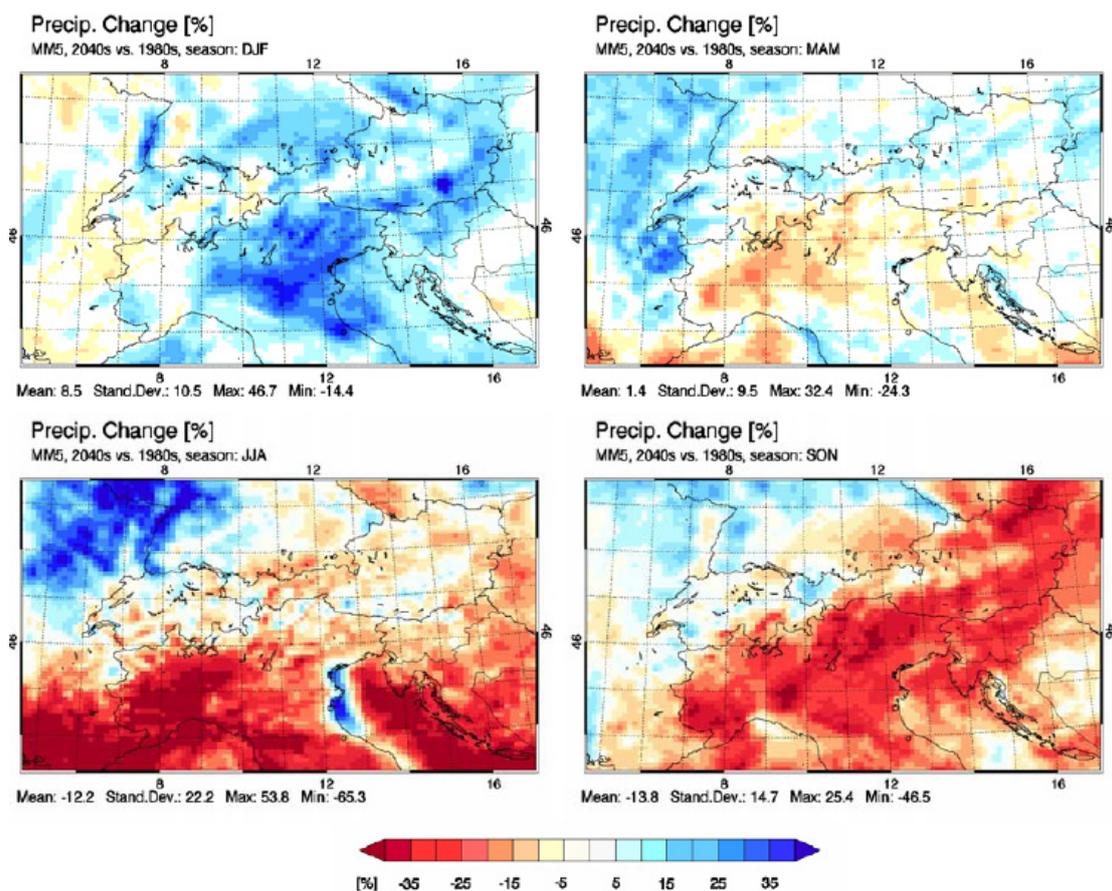


Abb. 19: Änderung des saisonalen Niederschlages in Prozent für 2041-2050 im Vergleich zu 1981-1990. Dargestellt für das Regionalmodell MM5. [17]

Für die Wintermonate Dezember, Jänner und Februar rechnet man für den Osten Österreichs mit einer Niederschlagszunahme von plus 15 bis plus 30 %. Die Monate März, April und Mai werden durchschnittlich mit bis zu 15 % weniger Regen rechnen müssen. Für den Sommer kommen die Modelle zu unterschiedlichen Trends. Die Spanne reicht von minus 5 bis plus 30 %. Auch für den Herbst wird sowohl mit einer Abnahme von minus 25 % als auch mit einer Zunahme von plus 35 % gerechnet. Es zeigt sich hierbei wieder dass es schwieriger ist, Niederschläge richtig zu erfassen, als Temperaturen.

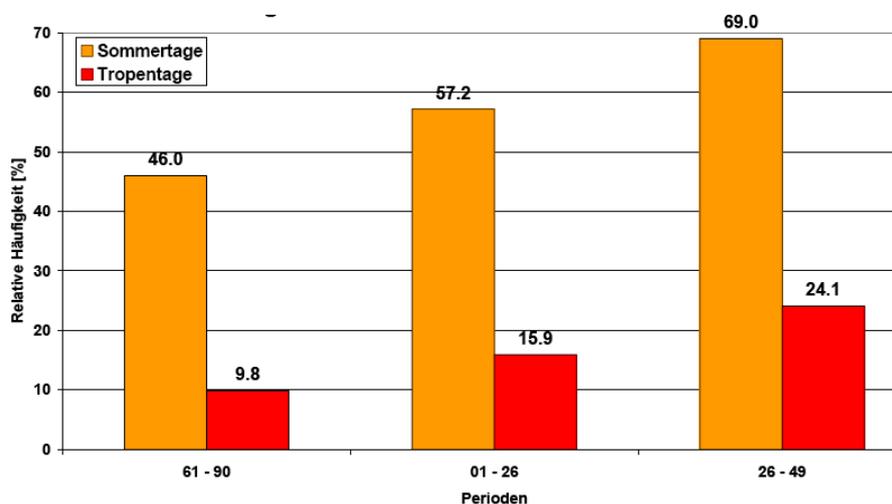
Neben den Mittel- und Jahreswerten wurde auch Änderung von Extremwerten untersucht. Im Osten werden die Frosttage um etwa 25 % zurückgehen. Die Sommertage werden sich verdoppeln. Noch extremer verhält sich der Anstieg der Hitzetage. Man rechnet mit einer Vervielfachung bis zum Jahr 2050. Ebenfalls steigen wird die Zahl der Starkregenereignisse mit 50 und mehr Millimeter Niederschlag pro Tag (1 bis 2 Ereignisse pro Jahr mehr). Da aber gleichzeitig die Niederschlagssumme abnimmt, ist in Zukunft mit längeren Dürreperioden zu rechnen.

#### 2.4. Klimatrends für Wien

Die vorigen zwei Kapitel versuchten die möglichen Auswirkungen des Klimawandels für Temperatur und Niederschlag auf globaler sowie auf regionaler Ebene (Ost-Österreich) darzustellen. Im nachstehenden Abschnitt werden diese für Wien wiedergegeben.

### 2.4.1. Hitze- und Sommertage

„Da ein guter statistischer Zusammenhang zwischen Monatsmitteltemperatur und der Temperaturverteilung innerhalb des Monats besteht“, könne mit Hilfe der Temperatur Aussagen über „moderate“ Extremereignisse wie Tropentage, Sommertage oder Eistage abgeleitet werden [11]. Abbildung 20 zeigt die relativen Häufigkeiten der Sommer- bzw. Hitzetage in Wien-Hohe Warte für die Perioden 1961 bis 1990, 2001 bis 2026 und für 2026 bis 2049.



**Abb. 20** Veränderung der relativen Häufigkeit von Sommer- bzw. Hitzetage in Wien-Hohe Warte während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts [11]

Bezogen auf die Sommermonate Juni, Juli und August steigen die Sommertage von 46 % für die Klimanormalperiode 1961 bis 1990 auf 57,2 % für die Periode 2001 bis 2026 und auf rund 70 % für den Zeitraum zwischen 2026 bis 2049. Noch deutlicher ist der Zuwachs an Hitzetage. Waren im Zeitraum 1961 bis 1990 durchschnittlich mit 9,8 % Tropentage, so sind es für Periode 2001 bis 2026 bereits 15,9 % und für die Periode 2026 bis 2049 sogar 24,1 % [18] – d.h. in den 2040er Jahren könnte bereits jeder vierte Tag im Sommer ein heißer Tag sein.

### 2.4.2. Hitzeperioden

In engem Zusammenhang mit Hitzetagen stehen Hitzeperioden bzw. Hitzetage nach Kysely. Abbildung 21 veranschaulicht die Entwicklung der Kyselytage anhand der bereits bekannten drei Szenarien. „Man erkennt, dass es in der Klimanormalperiode noch durchschnittlich 5,1 Kyselytage pro Jahr gab, in den Jahren 1976 bis 2005 wurden schon 9,1 solcher Tage an der Station Wien-Hohe Warte pro Jahr beobachtet. In den zukünftigen Jahren nimmt auch die Anzahl der Kyselytage deutlich zu, woraus man schließen kann, dass nicht nur immer mehr Hitzetage auftreten werden, sondern diese auch gehäuft vorkommen werden.“ [2]

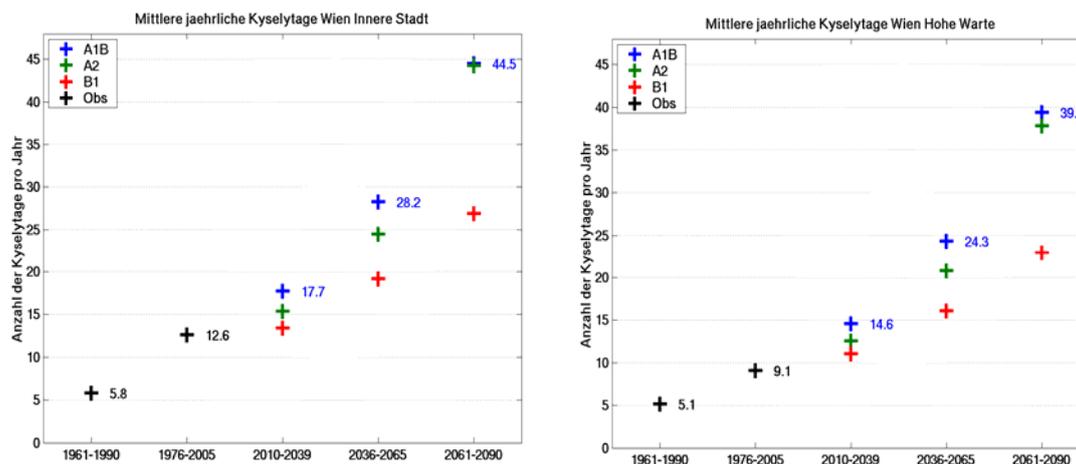


Abb. 21: Mittlere Anzahl an Tagen innerhalb von Kyselyepisoden in den projizierten Klimaszenarien. Links für die Station Wien-Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte. [2]

#### 2.4.3. Wärmeineleffekt

Städte haben klimabeeinflussende Eigenschaften. Diesen Effekt nennt man „städtische Wärmeinsel“. Sie „bezeichnet eine sich vom kühleren Umland abhebende, meist inselartig auftretende, urbane Überwärmung.“ [18]

Die Studie von Moshammer et al. (2006) lässt anhand des Vergleiches der Stationen Wien-Hohe Warte und Wien-Innere Stadt einen Wärmeineleffekt für die Stadt Wien erkennen. Hierbei repräsentiert die erst genannte Station ein Gebiet geringer Verbauung mit zahlreichen Grün- und Freiflächen, die zweit genannte steht für einen hohen Grad an Versiegelung bei gleichzeitigem geringerem Anteil an Grün- und Freiflächen.

Für den Zeitraum 1958 bis 2001 traten im Jahr für die Station Wien-Hohe Warte im Mittel 9,6, für die Station Wien-Innere Stadt hingegen 10,5 Hitzetage auf. Auch die maximale Anzahl an Hitzetagen liegt für die Innenstadt höher.

In Abbildung 22 sind die Entwicklungen der Hitzetage für die Szenarien A1B, B2 und B1 zusammengefasst. Man erkennt, dass für alle drei Szenarien mit einem Anstieg an heißen Tagen zu rechnen sein wird. „Weiters wird deutlich, dass das näher untersuchte und durchaus realistische A1B-Szenario die extremsten Temperaturänderungen beinhaltet. Betrachtet man das optimistische B1-Szenario, bei dem der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft allmählich wieder abnimmt, so steigt die Zahl der Hitzetage pro Jahr zwar deutlich langsamer, aber dennoch merkbar an. In den Jahren 2010 bis 2039 treten dann im Mittel 15 Hitzetage pro Jahr auf, in der Mitte des Jahrhunderts bereits 19 und gegen Ende des Jahrhunderts schon 26, wenn man die Werte der Station Wien-Hohe Warte betrachtet.“ [2]

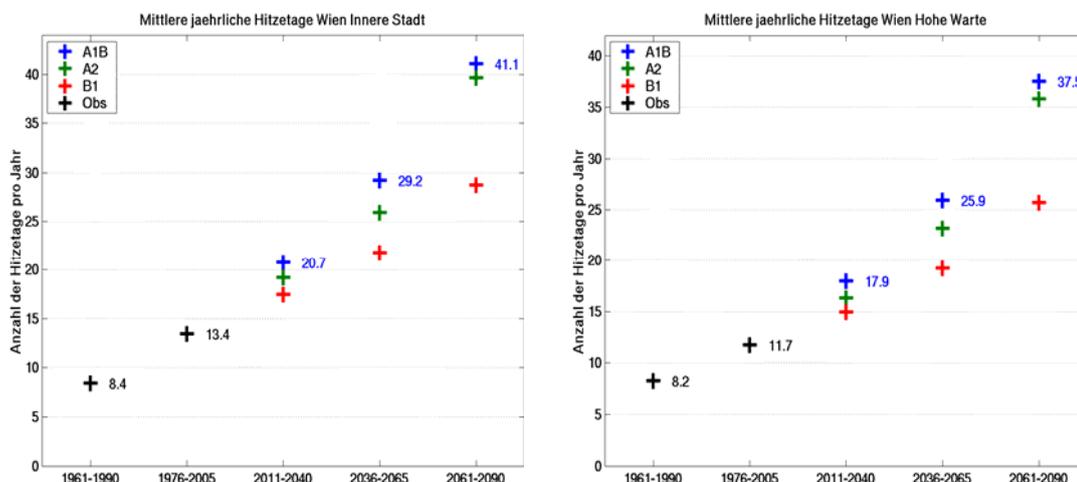


Abb. 22 Anzahl der Hitzetage pro Jahr für verschiedene Zeiträume und drei unterschiedliche Klimaszenarien. Links: Station Wien-Innere Stadt; Recht: Station Wien-Hohe Warte. [2]

Für das A1B Szenario ist für beide Stationen mit einer deutlichen Zunahme der Hitzetage pro Jahr zu rechnen. „In der Innenstadt nimmt die Zahl der Hitzetage etwas mehr zu als am Stadtrand. Treten in der Klimanormalperiode (1961-90) im Mittel noch 8 Hitzetage pro Jahr auf, so steigt diese Zahl für die letzten 30 Jahre (1976-2005) im Mittel bereits auf 11 bis 13 Tage an. Für die 30 Jahre von 2010 bis 2039 sind aufgrund des gewählten Klimaszenarios im Mittel 17 bis 20 Hitzetage pro Jahr zu erwarten. Zur Mitte des Jahrhunderts muss man demzufolge bereits mit 26 bis 29 Hitzetagen pro Jahr rechnen, was mehr als eine Verdopplung der gegenwärtigen Situation bedeutet. In den letzten untersuchten 30 Jahren setzt sich dieser Trend fort und im Mittel kann mit 37 bis 40 Hitzetagen pro Jahr gerechnet werden.“ [2]. Damit entspricht zu diesem Zeitraum ein mittleres Jahr den Bedingungen wie sie in dem besonders heißen Sommer 2003 aufgetreten sind.

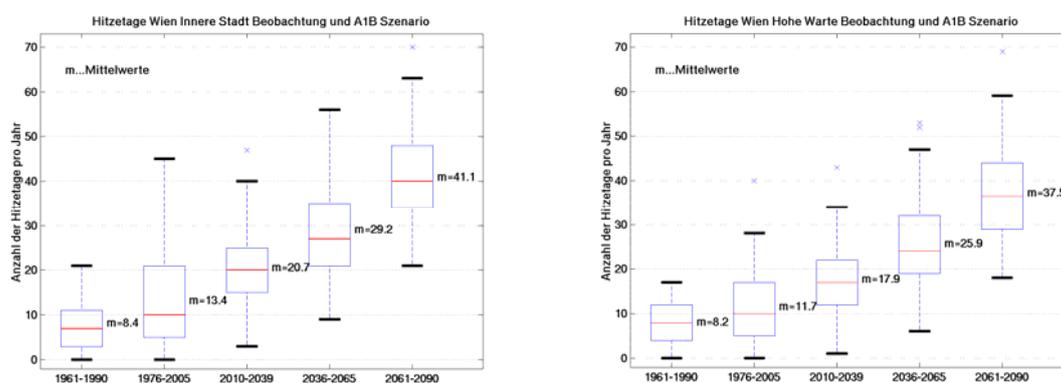


Abb. 23: Anzahl der Hitzetage pro Jahr ermittelt aus Daten des A1B-Szenarios für unterschiedliche Zeiträume. Links für die Station Wien-Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte. Zahl der Tage mit Temperaturen über 30°C in Wien, Wien-Innere Stadt, für verschiedene Zeitperioden, teils gemessen (bis 2005), teils aus regionalisierten Klimaszenarien ermittelt. Eingezeichnet sind jeweils der Median, sowie die 25er und 75er Perzentile (Box) und die 10er und 90er Perzentile (Whiskers). Der Mittelwert ist als Zahl angeführt. [2]

Die gleiche Aussage kann anhand der Hitzetage nach Kysely getroffen werden. Es zeigt sich ebenfalls eine Diskrepanz zwischen den Stationen Wien-Hohe Warte und Innerer Stadt (Abbildung 21).

Die mittleren Bedingungen werden natürlich noch durch die interannuale Variabilität überlagert. In Abbildung 23 ist auch die Bandbreite der in einzelnen Jahren vorkommenden Hitzetage dargestellt. Gegen Ende des Jahrhunderts können in Einzeljahren bis zu 70 Hitzetage im Sommer auftreten.

#### 2.4.4. Nächtliche Abkühlung und „Warme Nächte“

„Warme Nächte“ bezeichnet die Abfolge eines heißen Tages vor und nach einer Nacht mit geringer Abkühlung (Temperaturminimum über 18 °C) [18]. Eine nächtliche Abkühlung ist für einen gesunden Schlaf und für die Erholung während der Nachtruhe von großer Bedeutung. Der geringere Erholungswert während „Warmer Nächte“ spiegelt sich in einer erhöhten Sterblichkeitsrate wider.

Gerersdorfer et al. (2006) ermittelten mit Hilfe eines empirisches Downscaling Verfahren die Entwicklung von „Warmen Nächten“. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass mit einem Anstieg an „Warmen Nächten“ gerechnet werden muss. „Die Häufigkeit von ‚Warmen Nächten‘ an der Station Wien-Hohe Warte könnte von 6,4 (Periode 1985-2005) auf 8,3 in der Szenario-Periode 1989-2018 ansteigen, was immerhin einer Zunahme von etwa 2 ‚Warmen Nächten‘ pro Jahr entspricht. Noch deutlicher fällt unter diesem Szenario die Steigerung in der Periode 2019-2048 aus: 13,2 ‚Warme Nächte‘ pro Jahr bedeuten eine Zunahme um mehr als 6 ‚Warme Nächte‘ im Vergleich zur Periode 1985-2005.“ [18]

#### 2.4.5. Niederschlag

Aussagekräftige Niederschlagsszenarien für Wien sind weitaus schwieriger zu erstellen als Temperaturszenarien. Das liegt vor allem daran, dass verschiedene Prozesse zur Niederschlagsbildung führen können, und dass speziell die kleinräumigen konvektiven (Gewitter-) Prozesse von den regionalen Klimamodellen noch nicht vollständig aufgelöst werden können. Diese kleinräumigen Prozesse sind jedoch im Wiener Raum im Sommerhalbjahr sehr wichtig.

Abbildung 24 zeigt einen Vergleich der Häufigkeitsverteilung von Niederschlagsklassen in Wien für die Periode 1948 bis 2000 und den Analogszenerarien 2001 bis 2050.

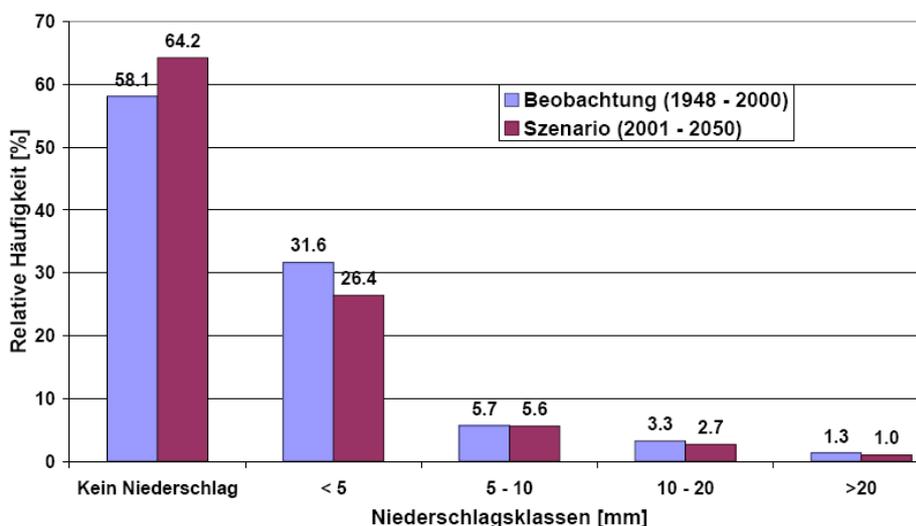


Abb.24: Vergleich der Häufigkeitsverteilung von Niederschlagssummen in Wien. [11]

„Nach diesem Szenario würde die Anzahl von niederschlagsfreien Tagen um rund 6 % zunehmen. Dies kommt hauptsächlich durch eine Reduktion der Niederschlagstage mit weniger als 5 mm zustande.“ [11]

## 2.5. Möglichkeiten und Limitierungen lokaler Szenarien

Bei der Erstellung von regionalen bzw. lokalen Klimaszenarien ergeben sich eine Vielzahl an Unsicherheitsfaktoren, die auf folgenden Prozessebenen auftreten können.

- Zukünftige Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen
- Unterschiede der globalen Klimamodelle in Mitteleuropa
- Unterschiede bei den Regionalisierungsmethoden.

Die einzige Möglichkeit mit diesen Unsicherheiten seriös umzugehen, ist nicht nur ein regionales Szenario zu betrachten, sondern möglichst verschiedene Realisierungen auf allen Prozessebenen - also Ensembleuntersuchungen durchzuführen.

Bezüglich der Unsicherheit bei den Treibhausgaskonzentrationen werden derzeit bevorzugt die drei Szenarien B1, A1B und A2 verwendet (siehe auch Beginn des Kapitels).

Die Unsicherheiten der Klimamodelle und der Regionalisierungsverfahren zeigen deutliche Unterschiede, je nachdem welchen meteorologischen Parameter man betrachtet.

Die Temperatur ist hierbei ein sehr günstiger Parameter, da die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Modellen und Regionalisierungsansätzen im Vergleich zum Klimaänderungssignal meist gering sind. Weiters gibt es bei der Temperatur klare Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der mittleren Monatswerte und den täglichen Werten, wodurch Aussagen auf Tagesbasis und damit auch Auswertungen bezüglich Extremereignissen wie Hitzewellen möglich sind.

Beim Niederschlag, der ja für viele Klimafolgenuntersuchungen wichtiger ist als die Temperatur, sind die Bedingungen deutlich schlechter. Zwar zeigen die Globalen

Klimamodelle für Europa eine recht einheitliche Entwicklung, nämlich Niederschlagsabnahme im Mittelmeerraum und Westeuropa und Niederschlagszunahme in Nordosteuropa (siehe Abbildung 16), jedoch liegt der Alpenraum und damit auch Wien gerade in dem Übergangsbereich dieser beiden Regionen und damit sind die Unterschiede der GCMs im Alpenraum wieder deutlich größer und können sogar das Vorzeichen wechseln. Dennoch zeigt sich großräumig für unser Gebiet eine Niederschlagsverlagerung aus dem Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr.

Auch die Regionalisierungsverfahren haben mit dem Niederschlag große Schwierigkeiten. Dies liegt daran, dass im alpinen und pannonischen Raum durch kurzfristige, kleinräumige Gewitterzellen große Niederschlagsmengen produziert werden können, die speziell im Sommer wesentlich zum Gesamtniederschlag beitragen. Diese Prozesse werden aber sowohl von den dynamischen regionalen Klimamodellen als auch insbesondere durch statistische Regionalisierungsverfahren nur sehr schlecht wiedergegeben. Da derartige Ereignisse jedoch für viele Extremereignisse verantwortlich sind, muss man bezüglich Aussagen zu Niederschlagsextremen besonders vorsichtig sein. Generell zeigen die regionalen Klimamodelle aber eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten. Diese Entwicklung scheint auch plausibel, da eine wärmere Atmosphäre mehr Wasserdampf halten kann und daher bei Auftreten eines konvektiven Niederschlagsereignisses mehr Feuchtigkeit zur Verfügung steht. Aus physikalischen Gründen sollte daher die Niederschlagsintensität zunehmen. Über die Häufigkeit derartiger Ereignisse lässt sich jedoch mit rein physikalischen Überlegungen nichts sagen.

Der Mangel an Niederschlag, also Trockenperioden, können sowohl von den globalen Modellen als auch von den Regionalisierungsansätzen recht gut reproduziert werden. Dies liegt daran, dass Auslöser von Trockenperioden großräumige stabile Hochdruckgebiete sind, die sogar von den globalen Modellen aufgelöst werden können. Aussagen bezüglich Trockenperioden sind daher wesentlich verlässlicher als Aussagen zum Niederschlag.

Starkwinde können im Wiener Raum entweder großräumig durch atlantische Sturmtiefs verursacht werden oder durch kleinräumige Starkwinde, verursacht durch Gewitter. Bezüglich atlantischer Sturmtiefs zeigen einige GCMs zwar eine Zunahme, jedoch zeigen die Modelle auch eine Verschiebung der Zugbahnen nach Norden, wodurch das Auftreten im Donauraum abnehmen müsste. Zugbahnen atlantischer Sturmtiefs, die über Wien führen, sind an sich eher selten, und nur sehr starke Sturmtiefs können hier noch Schaden verursachen, da sie aufgrund der Bodenreibung im Donauraum schon abgeschwächt ankommen. Wie sich die Verschiebung der Zugbahnen auf diese besonders starken, nach Mitteleuropa ziehenden Sturmtiefs auswirkt ist wiederum unklar.

Zu den von Gewittern verursachten Starkwinden können die regionalen Klimamodelle nichts sagen, da diese Prozesse nicht realistisch aufgelöst werden können. Auch die physikalischen Plausibilitätsüberlegungen, die für den Niederschlag ein klares Bild ergeben, sind bei den Starkwinden nicht mehr so eindeutig, da es hier eher um die Luftmassengegensätze geht als um den Feuchtigkeitsgehalt.

Für den Wiener Raum kann man daher derzeit bezüglich Starkwindereignisse noch keine belastbaren Szenarien ableiten. Es gibt derzeit auch keine Anzeichen, dass sich die Starkwindsituation aufgrund des Klimawandels stark ändern sollte.

Zu ebenfalls durch Gewitter verursachte Schäden wie Blitzschlag oder Hagel können aus den gleichen Gründen wie für die Starkwindereignisse bei Gewittern keine belastbaren Szenarien abgeleitet werden.

### **3. Einfluss des Klimawandels auf die Bereiche Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft**

#### **3.1. Zusammenfassung**

##### **Bereich *Umwelt***

- Eine steigende Mischungsschichthöhe bedeutet eine bessere Verdünnung der Luftschadstoffe. Seit 1976 hat ein Anstieg der Mischungsschichthöhe stattgefunden. Bei einer Fortsetzung dieses Trends könnte aufgrund einer besseren Verdünnung in Zukunft die Wahrscheinlichkeiten einer erhöhten Feinstaubbelastung abnehmen.
- Um eventuelle Fragen über den Einfluss des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung zu klären, wurde ein Arbeitskreis „Quellenschutz“ von der MA 31 und MA 49 eingerichtet. Erste Ergebnisse sollen in der ersten Hälfte des nächsten Jahres (2008) vorliegen.
- Untersuchungen über den Einfluss des Klimawandels auf die Artenvielfalt in Wien gibt es nicht. Es gibt Hinweise auf eine sich ändernde Flora und Fauna. Ein Rückschluss auf den Klimawandel ist ohne genaues Monitoring jedoch nicht zulässig.

##### **Bereich *Gesellschaft***

- Eine frühzeitige Anpassung von Baunormen ist besonders wichtig. Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das künftige Klima ausgerichtet werden.
- Die Kühlung der Wiener Büroflächen würde rund 57 Millionen Euro Mehrkosten verursachen. (Grobschätzung nach Schweizer Untersuchungen)
- Der Klimawandel stellt eine Herausforderungen an das Gesundheitssystem dar.
- Höhere Temperaturen, weniger Niederschlag, geändertes Freizeitverhalten der Stadtbewohner, zunehmende Zahl der Stadttouristen und ein höherer Anteil an Neophyten verstärken den Druck auf die Naherholungsgebiete und Grünflächen innerhalb der Stadt.

##### **Bereich *Wirtschaft***

- Durch vermehrtes Auftreten von Extremereignissen (Hitzewellen, Starkregen, usw.) kann es zu vermehrten Komforteinbußen und Betriebsstörungen des öffentlichen und privaten Verkehrs kommen.
- Heizgradtage werden bis 2050 um rund 20 % abnehmen, Kühlgradtage werden um rund 117 % zunehmen. Diese Ergebnisse müssen aber als erste Grobabschätzungen interpretiert werden, da eine räumliche Differenzierung der thermischen Bedingungen nicht berücksichtigt sind. Auch ist die Genauigkeit des Kühlgradtagansatzes zur Abschätzung des Kühlbedarfs noch umstritten.

Die Auswirkungen einer Klimaänderung werden erst seit einer relativen kurzen Zeit auf internationaler und nationaler Ebene intensiv diskutiert. Daher ist es nicht verwunderlich, dass geeignete Studien, die gesicherte Folgen einer Klimaerwärmung behandeln, noch kaum vorhanden sind. In diesem Kapitel wird versucht, die bereits vorhandenen Studien für Wien zusammenzufassen und Lücken aufzuzeigen.

### 3.2. Bereich *Umwelt*

#### 3.2.1. Luftqualität

Die Mischungsschichthöhe stellt einen wichtigen Parameter für die vertikale Verteilung von in Bodennähe freigesetzten Luftschadstoffen dar. Sie bestimmt u.a. die vertikale Verteilung der Schadstoffe. Die Gestaltung von Siedlungsräumen, lokalen Gegebenheiten (Topographie, Windsysteme, vorhandene Heizflächen) und die Bodenbeschaffenheit beeinflussen ihre Höhe und zeitliche Entwicklung. [19]

Eine schematische Darstellung der Mischungsschichthöhe ist in Abbildung 25 wiedergegeben. In unseren Breiten erreicht die Mischungsschichthöhe im Sommer an Schönwettertagen gegen Mittag rund 1000 m Höhe, im Winter liegt sie niedriger.

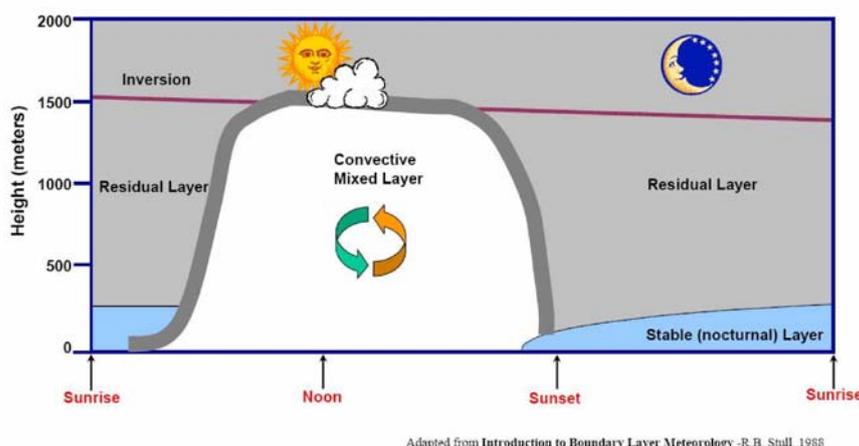


Abb. 25: Tagesgang der Mischungsschichthöhe [19 zit. nach Karppinen et al. 2007]

Eine Studie von Krüger et al. [20] beschäftigt sich mit der Auswirkung des Klimawandels auf die Mischungsschichthöhe am Beispiel Wiens. Eine Mischungsschicht von geringer Höhe ist eine Vorbedingung für erhöhte Schadstoffkonzentrationen. [19]

Für Wien konnte innerhalb der letzten 32 Jahre, seit 1976, ein leichter Anstieg der Mischungsschichthöhe beobachtet werden. Liegt sie für die Periode 1975 bis 1984 noch durchschnittlich 800 m über Grund, steigt sie zwischen 1985 bis 1996 auf 900 m an. Zurzeit liegt der Durchschnitt der Mischungsschichthöhe bei rund 1.000 m über Grund. „Man kann also davon ausgehen, dass der positive Trend der Mischungsschichthöhe mit dem positiven Trend der Temperaturen im Beobachtungszeitraum zusammenhängt.“ [19]

Bei einer Fortsetzung dieses Trends könnte aufgrund einer besseren Verdünnung in Zukunft die Wahrscheinlichkeiten einer erhöhten Feinstaubbelastung abnehmen. Weiters konnte um eine zwei Wochen frühere Anhebung bzw. ein um zwei Wochen ver-

zögerter Absinken der Mischungsschichthöhe im Frühjahr bzw. im Herbst beobachtet werden. [19]

### 3.2.2. Hochwasser

Von Hochwasser spricht man, wenn sich der Wasserstand eines Gewässers deutlich über dem normalen Pegelstand befindet. Hochwässer sind nichts Ungewöhnliches. Sie sind ein natürliches Phänomen und werden erst dann zur Katastrophe, wenn menschliche Werte betroffen sind.

Zurzeit wird vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMWF) ein Projekt namens „Danubia“ finanziert, das sich mit dem Donaupegel der Zukunft befasst. Entwickelt werden Zukunftsszenarien, die Klima-, Wirtschafts- und Bevölkerungsmodelle berücksichtigen. Auch sollen die politische Entwicklung und der technologische Fortschritt mit einfließen. Ziel ist es nicht, konkrete Zahlen zu liefern, sondern realistische Entwicklungen aufzuzeigen. Eine Fragestellung könnte z.B. sein: Wie wirken sich zwei Grad Temperaturerhöhung auf den Wasserhaushalt der Donau aus? Untersucht wird dies für den deutschen und österreichischen Donauroum. Bis zum Jahr 2010 soll ein Simulationstool ins Internet gestellt werden, so dass die Entscheidungsträger von Projekten mögliche Risiken frühzeitig erkennen können. [21]

### 3.2.3. Wasserversorgung

Wien hat eine sehr gute Wasserversorgung, sowohl was die Qualität als auch die Quantität des Wassers anbelangt. Jedoch können Faktoren wie Starkregenereignisse, ein verändertes Niederschlagsmuster, eine sich nach oben verschiebende Waldgrenze sowie eine sich wandelnde Biodiversität Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnungsgebiete haben. Um Einflüsse dieser Art zu untersuchen, wurde ein Arbeitskreis „Quellenschutzgebiet“, bestehend aus Vertretern der MA 31 (Wasserwerke) und MA49 (Forstamt), eingerichtet. Mit ersten Ergebnissen wird in der ersten Hälfte des nächsten Jahres (2008) gerechnet. [Weidinger H.; per. Komm]

Im Auftrag des Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, der Wiener Wasserwerke (MA 31) und des Forstamts der Stadt Wien (MA 49) wurde bereits im Jahr 2003 eine Studie erstellt, die Modelle zur Vegetationsentwicklung unter veränderten Nutzungs- und Klimaverhältnissen und ihre Auswirkung auf den Karstwasserhaushalt in den Quelleneinzugsgebieten der Stadt Wien behandelte. Verfasst wurde die Arbeit vom Institut für Waldbau und vom Institut für Freiraumgestaltung und Landschaftspflege der Universität für Bodenkultur. [22]

### 3.2.4. Biodiversität

Eine Studie über den Einfluss des Klimawandels auf die Flora und Fauna Wiens ist derzeit noch nicht vorhanden. Jedoch zeigt eine Untersuchung von Landolt (2001), für das Züricher Stadtgebiet, bemerkenswerte Ergebnisse.

In einem Zeitraum von 13 Jahren, 1984 bis 1997, wurde das Stadtgebiet von Zürich mehrmals systematisch untersucht. Danach besteht die Pflanzenwelt, welche heute in überbauten Gebieten wachsen (Urbanitätsstufen U4 und U5; Erklärung siehe Tab. 2), zu fast zwei Drittel aus Neophyten<sup>1</sup> und zu einem Drittel aus Archaeophyten<sup>2</sup>. Dage-

---

<sup>1</sup> Pflanzen, die *nach* 1492 in Gebiete eingeführt wurden, in denen sie natürlicherweise nicht vorkommen

gen gehören Arten, die sich außerhalb in der Stadt ansiedeln (Urbanitätsstufen U1 und U2) überwiegend zu den Idiochorophyten<sup>3</sup> (Tab. 2). [23]

**Tab. 2: Anteil (in Prozent) der in den einzelnen Urbanitätsstufen U. [23]**

Urbanitätsstufen	Idiochorophyten	Archaeopyhten	Neophyten
U1	95	4	1
U2	82	7	11
U3	59	14	27
U4	8	53	<b>39</b>
U5	0	37	<b>63</b>

U1: nicht in der überbauten Stadt vorkommend

U2-U4: Zwischenstufen

U5: nur in der überbauten Stadt wachsend

Den Erfolg vieler Neophyten lässt sich dadurch erklären, „dass sie von einheimischen Insekten und Herbivoren oft nur ungern angenommen und auch von Pilzen nur wenig befallen werden. Sie konkurrieren deshalb recht erfolgreich mit einheimischen Arten und bewirken langfristig auch einen Rückgang vieler mit diesen vergesellschafteten oder von diesen abhängigen anderen Organismen. Sie sind also nicht nur Lückenbüßer in ökologischen Nischen, die von einheimischen Arten nicht eingenommen werden, sondern sie verdrängen an vielen Orten einheimische Arten und bringen deren Populationen unter eine für das Überleben kritische Größe.“ [23]

Die Langzeitstudie lässt darauf schließen, dass die deutlich höheren Sommer- und mildereren Wintertemperaturen der letzten beiden Jahrzehnte die Ausbreitung der meisten neuen Arten in Zürich zusätzlich gefördert haben.[23]

### 3.3. Bereich *Gesellschaft*

#### 3.3.1. Gebäude

Relevante Studien zur Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand von Wien sind derzeit nicht vorhanden.

Im Rahmen des Dissertationsprogramms DokNE (Doktoratskolleg nachhaltige Entwicklung) soll eine Arbeit über den Anpassungsbedarf und Anpassungsstrategien für Großstädte am Beispiel Wien mit dem Schwerpunkt Gebäude-Innenraumtemperaturen verfasst werden. Ziel ist es die „Erarbeitung einer praxisnahen Klimawandel-Anpassungsstrategie im Bereich Gebäudesanierung und -planung für Wien unter gleichzeitiger Berücksichtigung regionaler Klimaschutzziele.“ (siehe: [www.dokne.boku.ac.at](http://www.dokne.boku.ac.at))

Anpassungen der Gebäude an ein verändertes Klima sind mit Kosten verbunden. Jakob et al. (2006) haben für die Schweiz die zusätzlichen Kosten eines Überhitzungsschutzes für bestehende Gebäude berechnet.

<sup>2</sup> Pflanzen, die vor 1492 in Gebiete eingeführt wurden, in denen sie natürlicherweise nicht vorkamen.

<sup>3</sup> Einheimische Pflanzen, die ohne menschliches Zutun in ein Gebiet eingewandert sind.

[23] Landolt E. Flora der Stadt Zürich (1984-1998). Berlin u.a., 2001.

Gemäß der Untersuchung sind 10 Franken/m<sup>2</sup> (ca. 6,05 Euro/m<sup>2</sup>) und Jahr zu bezahlen, will man eine ausreichende Kühlung der Gebäude gewährleisten. Ende 2001 betrug der Büroflächenbestand in Wien rund 9,5 Millionen m<sup>2</sup>. Allein die Kühlung dieser Fläche würde 57 Millionen Euro an Mehrkosten für die Eigentümer der Gebäude bringen.

Der Kühlbedarf wird nicht nur im Sommer zunehmen, sondern die Kühlsaison wird insgesamt länger werden. Ein zusätzlicher Bedarf an Kühlung über die Sommermonate hinaus wird wahrscheinlich sein. [24]. Berechnungen für einen prognostizierten Kühlbedarf für Wien bestätigen diese Aussage [25].

Nicht nur die bestehenden Gebäude müssen an die Klimaänderung angepasst werden, sondern auch geplante Bauten müssen auf ihre Klimatauglichkeit hin untersucht werden. Diesbezüglich benötigt es einer Anpassung der Baunormen. In einer Studie des beratenden Organs für Fragen der Klimaänderung der Schweiz (OcCC) wird eine „frühzeitige Anpassung von Baunormen“ als besonders wichtig empfunden. „Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das künftige Klima ausgerichtet werden.“ [24]

### 3.3.2. Erziehung

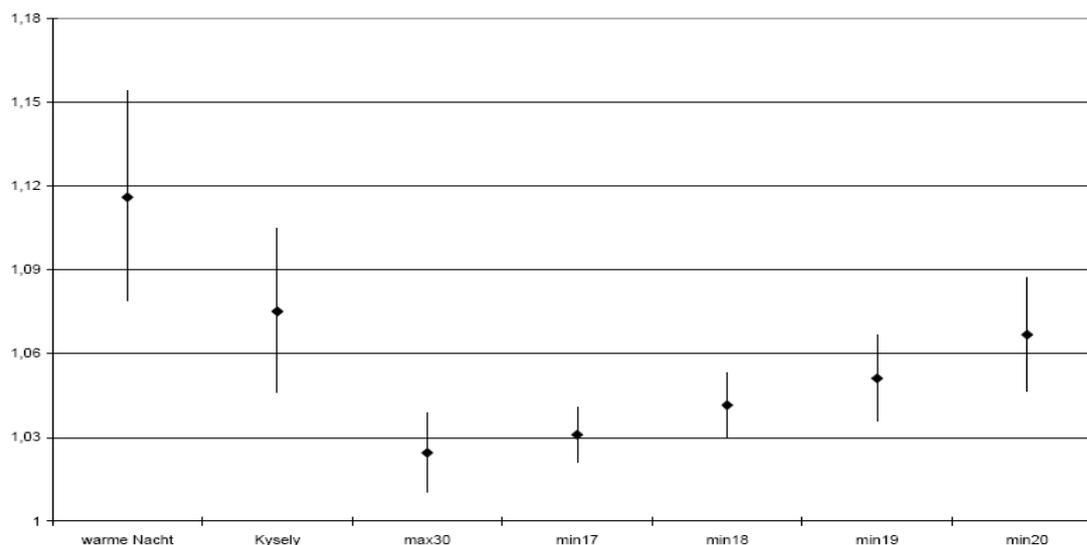
Schwarzl et al. (2005) haben in ihrer Untersuchung an einem Wiener Oberstufenrealgymnasium den Effekt von steigenden Temperaturen auf die Leistungsfähigkeit untersucht. „Als Maß diente die Konzentrationsleistung, die eine notwendige Voraussetzung zur Erbringung von Leistung ist.“ [26] Es konnte ein quantifizierbarer Zusammenhang zwischen der Raumtemperatur und der Konzentrationsleistungsfähigkeit beobachtet werden. Mit zunehmender Temperatur ließ die Konzentrations- bzw. die Leistungsfähigkeit der Schüler nach.

### 3.3.3. Gesundheit

Der Gesundheitszustand hängt neben sozio-ökonomischen Ausprägungen, wie Wohnverhältnissen, Beschäftigung, Erziehung und Lebensstil [27 zit. LHC 2002] auch von klimatischen Größen ab. In einer Studie von Moshhammer et al. (2006) wurde der Einfluss der Temperatur auf die Sterblichkeit sowie Krankenhauseinweisungen und Notarzteinsätze untersucht. Ebenfalls wurde die Übersterblichkeit für Wien aufgrund von Hitzewellen für das A1B Szenario berechnet. Neben den Ergebnissen dieser Studie, wird auch die gesundheitsschädliche Wirkung von Neophyten, am Beispiel der Ambrosie, an dieser Stelle in Kürze vorgestellt

#### 3.3.3.1. *Einflüsse der Temperatur auf die Sterblichkeit*

Gemäß der oben erwähnten Studie von Moshhammer et al. (2006) konnte gezeigt werden, dass Hitzewellen ein Ansteigen der Sterblichkeitsrate verursachen. Wichtig für Sterblichkeit ist nicht nur die maximale Temperatur, sondern auch die Art ihres Auftretens. So verursachen Hitzetage nach Kysely eine höhere Sterblichkeit als heiße Tage. Aber noch wirkungsvoller sind Hitzetage, kombiniert mit geringer nächtlichen Abkühlung (Abbildung 26) [18].



**Abb.: 26: Zunahme der Sterbezahlen (relatives Risiko) in Abhängigkeit der gewählten Parameter bzw. der definierten Perioden, bezogen auf die Periode 1990-2004, Wien, Gesamtsterblichkeit. (Formayer et al. 2006)**

Betrachtet man das Sterberisiko geschlechterspezifisch, so zeigen sowohl Männer als auch Frauen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Atemwegserkrankungen eine deutliche Gefährdung. Nur bei Männern konnte ein Zusammenhang zwischen Temperatur und einer Zunahme von traumatischen Todesursachen beobachtet werden. In diese Kategorie fallen zumeist Unfälle, aber natürlich auch Folgen von Eigen- und Fremdaggressivität. Allgemein zeigen Männer über alle Altersstufen ein erhöhtes Sterberisiko während einer Hitzeperiode. Oft wird argumentiert, dass die höheren Temperaturen nur das Lebensende vorzögen und die kurzfristig erhöhte Sterblichkeitsrate durch eine Untersterblichkeit nach dem Hitzetag ausgeglichen werden würde (Harvesting-Effekt). Moshhammer et al. (2006) bewiesen jedoch, dass etwa eine Woche nach einem Hitzetag zwar eine geringere Sterblichkeit beobachtet werden kann, diese aber über eine Zeitspanne von 15 Tagen mehr als ausgeglichen wird [2].

Weiters konnte in der Studie die Hypothese bestätigt werden, „dass die dicht bebauten Bezirke (1,5,6,7,8,15), wegen der mangelhaften nächtlichen Abkühlung, stärker unter einer Hitzewelle leiden“ als weniger dicht verbaute (3,18,19,21,22,23) [2].

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse einer prognostizierten jährlichen Übersterblichkeit durch Hitzewellen für das Szenario A1B. Unterschieden wird in eine Übersterblichkeit laut Berechnung und laut Zählung. Die zweitgenannte Projektion umfasst sowohl den Effekt extremer Hitzeereignisse als auch den kontinuierlichen Anstieg der Sterblichkeit bei bereits moderat heißen Tagen. Die Differenz zwischen beiden Berechnungen entspricht dem Effekt einer moderaten Temperatursteigerung, gegen die eventuell andere Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind. Der erste Prognosezeitraum (2010 bis 2039) zeigt kaum einen Unterschied zu den letzten Jahren auf. Das liegt vor allem am Hitzesommer 2003, der den Durchschnitt an Kyselytagen ansteigen ließ. Bis zum Ende des Jahrhunderts kann aber mit einer deutlichen Zunahme der Todesfälle durch Hitzewellen gerechnet werden. [2]

**Tab. 3: Erwartete jährliche Übersterblichkeit durch Hitzewellen für Wien (A1B Szenarium) [2]**

Prognosezeitraum	Übersterblichkeit	
	laut Berechnung	laut Zählung
2010-2039	53,0	107,0
2036-2065	88,2	178,1
2061-2090	143,0	288,8

### 3.3.3.2. *Einfluss der Temperatur auf Krankenhauseinweisungen und Notarzteinsätze*

Im Zuge der oben genannten Studie von Moshhammer et al. (2006) wurde auch der Einfluss der Temperatur auf Krankenhauseinweisungen und Notarzteinsätze untersucht. Dabei kam die Studie zu dem Ergebnis, dass die höchsten Aufnahmezahlen bei moderaten Temperaturen stattfanden, während extreme (sowohl heiße als auch kalte) Temperaturen eine niedrige Krankenhauseinweisung aufwiesen. [2]

Eine Abnahme, jedoch nicht signifikant, war auch bei Kyselyepisoden zu beobachten. „Diese Beobachtungen wiederholten sich bei der Untersuchung einzelner Diagnosen, wobei vor allem Aufnahmen wegen Herz-Kreislaufkrankungen untersucht wurden. ‚Alle‘ Herz- Kreislauf-Erkrankungen zeigten ein ‚allen‘ Aufnahmen weitgehend gleiches Bild. Auch bei Betrachtung nur der akuten Herzinfarkte allein und selbst bei Beschränkung auf akute Herzinfarkte im höheren Alter fanden sich die höchsten Aufnahmezahlen bei mittleren Temperaturen und Hitzewellen erschienen protektiv.“ [2]

Ursache für das überraschende Ergebnis können ein Hinweis auf eine mangelnde Flexibilität des österreichischen Gesundheitssystems mit klimabedingte Krisensituationen umzugehen, oder mangelhafte Qualität der Daten bzw. die Anwendung eines falschen Modells sein. Es muss auch noch erwähnt werden, dass amerikanische Studien diesen Befund nicht teilen [2].

Für die Jahre 2002 bis 2005 wurde die Einsatzhäufigkeit von Notarztwagen, Notarzteinsatzfahrzeugen und Notarzt-Hubschraubern untersucht.

Nur für den Hubschrauber galt, dass er an heißen Tagen signifikant häufiger zum Einsatz kommt. Dies ist hauptsächlich auf die guten Flugeigenschaften bei Hitzewellen zurückzuführen. Für Notarztwagen und Notarzt-Einsatzfahrzeuge konnte dieser Zusammenhang nicht bestätigt werden.

In der Studie von Moshhammer et al. (2006) konnte weiters gezeigt werden, dass in Wien eine langfristige Anpassung an erhöhte regionale Temperaturen kaum bis gar nicht festzustellen ist. Er ging von der Überlegung aus, dass die optimale Temperatur, das ist jene Temperatur bei der die geringste Sterblichkeit auftritt, umso höher liegt, je wärmer die Durchschnittstemperatur der Region ist. [2 zit. Kovats und Jendritzky 2006] Seit 1970 ist die durchschnittliche Temperatur in Wien um ca. 1°C gestiegen, aber eine Anpassung konnte dennoch nicht belegt werden. „Die Empfindlichkeit gegenüber Hitzetagen in Wien [weist] über die Jahre keinen abnehmenden Trend [auf].... Im Unterschied dazu scheint sich bei der ... optimalen Temperatur ... eine geringe Zunahme anzudeuten. Diese Zunahme ist jedoch nicht sehr deutlich ausgeprägt.“ [2]

### 3.3.3.3. *Ambrosie*

Die Studie von Landolt (2001) hat gezeigt, dass städtische Lebensräume gute Bedingungen für Neophyten bilden. Manche der Neankömmlinge können negative Folgen für Mensch und Natur haben. War bislang die Temperatur ein limitierender Faktor für viele, nicht einheimische Tier- und Pflanzenarten sich dauerhaft in Österreich anzusiedeln, so wird diese Schranke mit zunehmender Erwärmung abgeschwächt [28 zit. nach Walther 2003]. Ein Beispiel für eine eingewanderte Pflanzenart ist die *Ambrosie* (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Sie „ist momentan die aus medizinischer Sicht bedenklichste neophytische Pflanzenart in Österreich“ [28 zit. Jäger und Litschau, 1998]. Sie stammt ursprünglich aus dem südöstlichen Teil der USA. Sie bevorzugt trockene, nährstoffreiche, humusarme, lockere, auch salzhaltige Böden in warmen Lagen [23].

Kleinbauer et al. (2006) haben die Verbreitung der Ambrosie unter verschiedenen Temperaturszenarien simuliert. Sie reichten von rezenten Klimabedingungen bis hin zu einem Anstieg von 6,4°C für das Jahr 2100. In allen Szenarien bot Wien ein optimales Habitat für diese Pflanzenart.

Derzeit gehen im Wiener Raum rund 30 % aller Pollenallergien auf die Ambrosie zurück [28]. Abbildung 24 zeigt den Anstieg der Pollenbelastung und den Anstieg jener Personen mit Allergieerkrankungen in Wien. Beide Kurven weisen über den Beobachtungszeitraum einen linear steigenden signifikanten Trend auf.

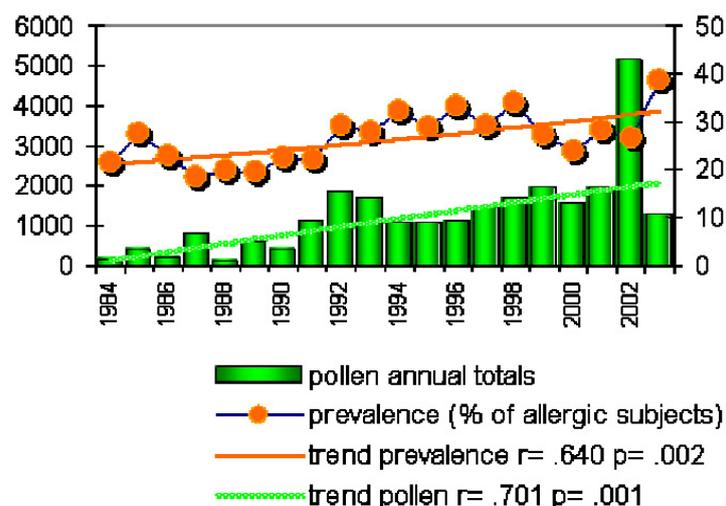


Abb. 24: Vergleich zwischen Pollenbelastung und des Anteils allergisch reagierender Personen in Wien [28 zit. Jäger, unpubl.]

### 3.3.4. Grünraum

Höhere Temperaturen und geringere Niederschlagssummen bedeuten Stress für die Grünräume einer Stadt. Durch einen geänderten Lebensstil der Bewohner und einer höheren Anzahl an Stadttouristen können zusätzliche Belastungen entstehen.

Im Rahmen des Dissertationsprogramms DokNE (Doktoratskolleg nachhaltige Entwicklung) wird eine Arbeit über die nachhaltige Gestaltung und Pflege von öffentlichen Grün- und Freiräumen in Wien unter Berücksichtigung des Klimawandels verfasst. Ziel dieser Studie ist es „landschaftsarchitektonisch relevanten Fragestellungen

des Klimawandels nachzugehen und Gestaltungsansätze und Grundsätze zu entwickeln“ (siehe: [www.dokne.boku.ac.at](http://www.dokne.boku.ac.at)).

### **3.4. Bereich Wirtschaft**

#### **3.4.1. Transport**

Der Klimawandel hat auch Einfluss auf das Transportwesen. Höhere Temperaturen können z.B. die Infrastruktur von Bahn und Straße beschädigen. Schienenwölbungen und schmelzender Asphalt können zu Betriebsstörungen und Einbußen im Benutzerkomfort führen. Nicht klimatisierte U-Bahnstationen und U-Bahngarnituren können zu gesundheitliche Risiken der Benutzer führen. Starkstürme können Signal- und Strommasten beschädigen. Starkregenereignisse können zu lokalen Überflutungen und somit zu Verspätungen und Zugausfällen führen. [27]

Untersuchungen über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Transportwesen in Wien sind nicht vorhanden. Dass aber Extremereignisse Folgen für PKW, Schiffs- oder Bahnverkehr haben können, beweist das letzte Jahrhundert-Hochwasser in Wien im August 2002. Die Linie U1 musste aus Sicherheitsgründen für wenige Minuten gesperrt werden. Grund war ein treibendes Schubschiff auf der Donau. Wegen überlasteter Kanäle und Grundwasseraustritt wurde die Linie U4 für zwei Tage nur im Gleiswechselbetrieb geführt. Weiters mussten mehrere Bahn- und Buslinien entweder abgelenkt oder eingestellt werden. Auch der Individualverkehr hatte Einschränkungen in Kauf zu nehmen. So wurden z.B. Teile der A23 Richtung Stockerau gesperrt [20].

#### **3.4.2. Tourismus und Freizeit**

Längere Schönwetterperioden verbunden mit höheren Temperaturen und weniger Niederschlägen können zu einem Anstieg des Städtetourismus führen. Dies wirkt sich positiv auf die lokale Wirtschaftsbilanz aus. Die Stadtbewohner werden ihre Freizeit häufiger außer Haus verbringen. Dies beschränkt sich nicht nur auf das Wiener Stadtgebiet mit den zahlreichen Grün- und Freiflächen, sondern auch auf die Naherholungsgebiete rund um Wien, wie z.B. den Wienerwald. Die Stadtbewohner können, als Ausgleich zu den höheren Temperaturen, vermehrt die Stadt verlassen. All diese Faktoren erhöhen den Druck auf Grünraum und Transport. [27]

Untersuchungen über den Einfluss des Klimawandels auf Tourismus und Freizeit in Wien sind derzeit nicht vorhanden.

#### **3.4.3. Energie**

Prettenthaler et al. [20] berechneten in ihrer Studie die Ab- bzw. Zunahme von Heiz- (HGT) und Kühlgradtagen (KGT) für den Wiener Raum. Es wurden die Referenzperioden 1981 bis 1990 mit jener von 2041 bis 2050 verglichen. Als Grundlage für die Ergebnisse dienten die Klimaszenarien von reclip:more.

Unter einem Heizgradtag versteht man die Summe der täglich ermittelten Differenzen zwischen der Raumlufttemperatur und der Tagesmitteltemperatur der Außenluft aller Heitztage für eine bestimmte Periode (siehe: [www.meteoschweiz.admin.ch](http://www.meteoschweiz.admin.ch), 27.Nov. 2007). Die Raumlufttemperatur wird mit 20°C und die Außenlufttemperatur mit 12°C angegeben. [25 zit. Bittermann 2005] Für Kühlgradtage gibt es in Österreich keine einheitliche Definition. Im Rahmen des erwähnten Projektes wurde eine Grenztemperatur von 18,3°C herangezogen.

Die Untersuchung berechnete eine Abnahme von 623 Heizgradtagen oder 20 % (von 3.171 auf 2.548 HGT). Der stärkste Rückgang wird in den Monaten April und Oktober zu verzeichnen sein. Im Gegenzug steigen die Kühlgradtage von ursprünglich 202 auf 438 Tagen an. Das bedeutet eine Zunahme von 236 Tagen oder 117 %. Mit der stärksten Zunahme muss während der Monate Mai bis September zu rechnen sein, wobei der Monat Juli jener mit den meisten KGT sein wird. [25]

## 4. Literaturverzeichnis

### Zitierte Literatur

- [1] Auer I, Böhm R, Korus E, Schöner W. Zeitliche Repräsentativitätsanalyse 50jähriger Klimadatenätze im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten. Teilprojekt von StartClim 2003 "Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich". Wien, 2003.
  - [2] Moshhammer H, Hutter H-P, Frank A, Gerersdorfer T, Hlava A, Sprinzl G, Leitner B. Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien. Teilprojekt von StartClim 2005 "Klimawandel und Gesundheit!" Wien, 2006.
  - [3] Kromp-Kolb H, Schwarzl I, editors. Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. Wien: Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur, 2005.
  - [4] Blöchliger H, Neidhöfer F. Auswirkungen von extremen Niederschlagsereignissen. In: Beratendes Organ für Klimaforschungsfragen (OcCC), editor. Bern, 1998.
  - [5] Matulla C, Schöner W, Alexandersson H, Storch Hv, Wang XL. European Storminess: Late 19th Century to Present. *Climate Dynamics* 2007; Online first.
  - [6] Formayer H. Globalstrahlung im Großraum Wien. 9. Österreichischer Klimatag. Wien, 2006.
  - [7] Kromp-Kolb H, Formayer H. Schwarzbuch Klimawandel: Wie viel Zeit bleibt uns noch? Ecwin-Verlag. Salzburg, 2005.
  - [8] Kasang D. Klimamodelle. 2007.
  - [9] Döll P, Fuhr D, Herfort J, Jaeger A, Printz A, Voerkelius S. Wasserverfügbarkeit sowie ökologische, klimatische und sozioökonomische Wechselwirkungen im semiariden Nordosten Brasiliens. 2000.
  - [10] IPCC. Klimaänderung 2001: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: *Naturwissenschaften P-FfKuGCSAd*, editor. Bern, 2002.
  - [11] Formayer H, Matulla C, Haas P, Groll N. Möglichkeiten statistischer Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich aus GCM-Feldern. Teilprojekt von StartClim 2003 "Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich". Wien, 2003.
  - [12] Bony S, Colman R, Fichet T, Fyfe J, Kattsov V, Pitman A, Shuka J, Srinivasan J, Stouffer RJ, Sumi A, E. TK. Climate Models and Their Evaluation. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL, editors. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge u.a., 2007. pp. 589-662.
  - [13] Braconnot P, Gillett NP, Luo Y, Orsini JAM, Nicholls N, Penner JE, Stott PA. Understanding and Attributing Climate Change. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL, editors. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge u.a., 2007. pp. 663-745.
  - [14] IPCC. *Climate Change 2007: Impacts, Adoptions and Vulnerability - Summary for Policymakers*. In: Working Group II Contributing to the Intergovernmental Panel on Climate Change - Fourth Assessment Report, editor., 2007. pp. 1-22.
-

- [15] Matulla C, Penlap EK, von Storch H. Empirisches Downscaling - Überblick und zwei Beispiele. In: Wetterdienst D, editor. Klimastatusbericht 2002. Offenbach, 2002. pp. 20-31.
- [16] Reclip:More. Medieninformation zum Projektabschluss. s.l., 2007.
- [17] Loibl W, Beck A, Dorninger M, Formayer H, Gobiet A, Schöner [Hrsg.] W. Reclip:More (Research for Climate Protection: Model Run Evaluation). Wien, 2007.
- [18] Gerersdorfer T, Formayer H, Moshhammer H, Frank A, Haas P, Leitner B. Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima. Teilprojekt von StartClim2005 „Klimawandel und Gesundheit!“ Wien, 2006.
- [19] Krüger BC, Schicker I, Formayer H, Moshhammer H. Feinstaub und Klimawandel - Gibt es Zusammenhänge in Nordost-Österreich? Teilprojekt von StartClim 2006 "Klimawandel und Gesundheit, Tourismus, Energie". Wien, 2007.
- [20] Rathauskorrespondenz vom 16. August 2007. Wien durch hervorragenden Hochwasserschutz sicher. Wien.
- [21] Sittig E. Forscher ermitteln den Donaupegel der Zukunft. Handelsblatt, 2007.
- [22] Spörk J, Hochbichler E, Schönthaler K, Köck R, Rigler E, Holtermann C. Modelle der Vegetationsentwicklung unter veränderten Nutzungs- und Klimaverhältnissen und ihre Auswirkung auf den Karstwasserhaushalt in den Quellzugsgebieten der Stadt Wien; Teilgebiet Hochlagenvegetation (A), Teilgebiet Wald (B). Wien, 2003.
- [23] Landolt E. Flora der Stadt Zürich (1984-1998). Berlin u.a., 2001.
- [24] Aller D, Frank T, Gasser B, Gujer W, Hartmann C, Jeanneret A, Jakob M, Leibundgut H, Meier A, Meier S, Parlow E, Ritz C, Schlacher H-R, Stulz R, Thalmann E. Bauten und Infrastruktur. In: ProClim Ou, editor. Klimaänderung und die Schweiz 2050. Bern, 2007. pp. 109-22.
- [25] Prettenthaler F, Gobiet A, Habsburg-Lothringen C, Steinacker R, Töglhofer C, Türk A. Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich. Teilprojekt von StartClim 2006 "Klimawandel und Gesundheit, Tourismus, Energie". Wien, 2007.
- [26] Schwarzl I, Lang E, Muresch-Radelgruber E. „Hängen Hitze und Leistungsfähigkeit zusammen?“ Ein Projekt an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung. Teilprojekt von StartClim 2004 „Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich“. Wien, 2005.
- [27] LCCP. London's warming. The Impacts of Climate Change in London. Technical report. London, 2002.
- [28] Kleinbauer I, Dullinger S, Essl F, Peterseil J. Ein allergener Neophyt und seinem potentielle Ausbreitung in Österreich – Arealynamik der Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) unter dem Einfluss des Klimawandels. Teilprojekt von StartClim2005 „Klimawandel und Gesundheit! Wien, 2006.
- [29] Reclip:More. Klimazukunft Österreich. Kleinräumige Klimaszenarien 1981-1990 und 2041-2050. Signale des Klimawandels. Medieninformation zum Projektabschluss., 2007.

**Internet:**

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie: [www.meteoschweiz.admin.ch](http://www.meteoschweiz.admin.ch)

Doktoratskolleg nachhaltige Entwicklung (DokNE): [www.dokne.boku.ac.at](http://www.dokne.boku.ac.at)

Research for climate protection model run evaluation [29]

<http://systemsresearch.arcs.ac.at/SE/projects/reclip/>

Stadt Wien: [www.wien.gv.at](http://www.wien.gv.at)

---

Intergovernmental Panel on Climate Change: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

Wikipedia: [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

---