



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

ÖKONOMISCHE BEWERTUNG DER LOKALEN KLIMAREGULIERUNGSFUNKTION SIEDLUNGSNAHER WALDFLÄCHEN

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von:

Univ.Prof. Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec. Michael Getzner

unter der Mitbetreuung von:

Univ.-Ass. Mag. Denise Zak

Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik (E280/3)
im Departement für Raumplanung (E280)

Valentin Schalk, BSc

MNR: 0826557 SKZ: 066 440

Lorenz-Bayer-Platz 9/18, 1170 Wien

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

Wien, am 07.06.2016

KURZFASSUNG

Die vermeintlich kostenlos zur Verfügung gestellten Leistungen von Ökosystemen stellen die Grundlage jeglichen menschlichen Lebens dar, erfahren aber oftmals nicht die ihnen zustehende Wertschätzung. Der Ansatz der ökonomischen Bewertung dieser Ökosystemleistungen verfolgt daher das Ziel, das Bewusstsein für den Wert der von der Natur erbrachten Leistungen mittels wirtschaftlicher Argumente zu schärfen. Die von der Natur bereitgestellten Leistungen sind dabei sehr umfangreich. Insbesondere das Ökosystem Wald stellt hier sehr wesentliche Leistungen zur Verfügung, wie etwa den Schutz vor Naturgefahren, die Trinkwasseraufbereitung oder eben auch die lokale Regulierung des Klimas und der damit verbundenen Milderung extremer Temperaturereignisse. Hitzewellen stellen anders als man vermuten würde, die verheerendsten Naturkatastrophen mit den weltweit höchsten Schäden an der menschlichen Gesundheit dar. In diesem Zusammenhang kommt der klimaregulierenden Wirkung von Waldflächen besonders im Bereich von Städten eine erhöhte Bedeutung zu, da hier aufgrund der vergleichsweise hohen Einwohnerzahlen ein besonderes Schadenspotenzial vorherrscht und Städte aufgrund der sogenannten städtischen Wärmeinseln tendenziell höhere Temperaturen als weniger dicht verbaute Gebiete aufweisen. Zusätzliche Herausforderungen stellen dabei der Trend zur weiteren Urbanisierung, der demographische Wandel sowie der Klimawandel dar.

Vor diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit ein methodischer Ansatz zur ökonomischen Bewertung der klimaregulierenden Leistung von Wald aufgezeigt. Dazu erfolgt zunächst eine theoretische Annäherung an die Thematik der ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen. In weiterer Folge werden empirische Untersuchungen zum Thema Klima und Gesundheit dargelegt. Die daraus erlangten Erkenntnisse fließen anschließend in die Konzipierung einer Bewertungssystematik ein, welche zunächst in theoretischer Form beschrieben wird um anschließend am Fallbeispiel Wien zur Anwendung kommt. Die Bewertung basiert auf der Gesundheitskostenmethode, die hier als eine spezielle Form der Vermeidungskostenmethode interpretiert wird. Es soll also aufgezeigt werden welche volkswirtschaftlichen Gesundheitskosten durch die Bereitstellung der Klimaregulierung des Waldes vermieden werden können bzw. werden. Die Ergebnisse der Bewertung belegen dabei den hohen volkswirtschaftlichen Nutzen der klimaregulierenden Leistung des Waldes.

ABSTRACT

The supposed free provided services of ecosystems can be seen as the basis of every human life. But often they do not get the appreciation they would deserve. Therefore, the approach of the economic valuation of these ecosystem services tries to raise the awareness of nature's values. There is a wide range of services provided by nature. Particular forest ecosystems provide essential services like the protection from natural disasters, water treatment and also the local climate regulation. In this context local climate regulation helps to moderate extreme heat events. Heatwaves are the most fatal natural disasters with the worldwide highest negative effects on human health. In this context the climate regulating effects of forests have an increased importance in the area of cities because of the higher population compared to less dense areas. Furthermore cities in general show higher temperatures than more rural areas because of the so called urban heat island effect. Additional challenges are the increasing urbanisation, the demographic change and the climate change.

Against this background this thesis shows a methodical approach for the economic valuation of the climate regulating services provided by forests. First of all a theoretical approach to the given subject will be carried out. Subsequently empirical studies on climate and health issues will be presented. The obtained findings of these studies will be used within the development of a valuation system. The resulting valuation system will be applied to a case study for Vienna. The evaluation is based on the health cost method which is interpreted as a special form of the avoiding cost method. The aim is to show which costs can be avoided because of the regulating services of forest ecosystems in Vienna. The results of the executed evaluation show a high economic benefit of the climate regulating services of forests.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	7
1.1. Forschungsfragen und Methodik	8
1.2. Aufbau der Arbeit	9
2. ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN	10
2.1. Konzept der Ökosystemleistungen	10
2.2. Ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen	12
2.3. Internationale und nationale Strategien zu ÖSL	16
2.3.1. Europäische Biodiversitätsstrategie	16
2.3.2. Österreichische Biodiversitätsstrategie	19
2.4. Forschungsstand und bestehende Studien	20
3. RECHTLICHE ASPEKTE ZU WALD UND KLIMA IN ÖSTERREICH	23
3.1. Forstrecht	23
3.1.1. Kompetenzverteilung im Forstrecht	23
3.1.2. Forstgesetz	24
3.1.3. Forstliche Raumplanung	25
3.1.4. Waldentwicklungsplan (WEP)	27
3.2. Raumordnungs- und Naturschutzrecht im stadtklimatischen Kontext	32
3.3. Eigentümerverhältnisse des österreichischen Waldes	35
4. KLIMATISCHE ASPEKTE	36
4.1. Klima Allgemein	36
4.2. Klima in Österreich	38
4.3. Stadtklima	39
4.3.1. Merkmale des Stadtklimas	39
4.3.2. Städtische Wärmeinsel	40
4.3.3. Ursachen des Stadtklimas	42
4.4. Wald- und Freilandklima und dessen Bedeutung für das Stadtklima	46
4.4.1. Klimaregulierende Faktoren von Grünflächen und Vegetation	46
4.4.2. Klimatisches Stadt-Umland-Wirkungsgefüge	48
4.4.2.1. Kaltluftentstehungsgebiete	48
4.4.2.2. Kaltlufttransport und lokale Windsysteme	50

4.4.3.	Ausgleichsintensität und -Reichweite von Grünflächen und Kaltluftflüssen.....	52
4.5.	Exkurs: Zukünftiger Klimawandel	56
5.	GESUNDHEITLICHE ASPEKTE	59
5.1.	Bioklimatische Grundlagen.....	59
5.1.1.	Wärmehaushalt des Menschen und Risikofaktoren	59
5.1.2.	Klimatische Kenntage und thermische Bewertungsindizes	61
5.2.	Auswirkungen von Hitze auf die menschliche Gesundheit.....	62
5.2.1.	Hitzebedingte Todesfälle.....	62
5.2.2.	Hitzebedingte Krankheitsfälle	64
6.	ÖKONOMISCHE BEWERTUNG DER LOKALEN KLIMAREGULIERUNG	66
6.1.	Bewertungsmethodik und Herangehensweise	66
6.1.1.	Klimatische Annahmen.....	68
6.1.2.	Ermittlung der Auswirkung auf Todes- bzw. Krankheitsfälle und Monetarisierung	68
6.2.	Fallbeispiel Wien.....	72
6.2.1.	Klimatische Aspekte	72
6.2.2.	Quantifizierung der klimaregulierenden Wirkung des Wienerwaldes	76
6.2.3.	Ermittlung der vermiedenen Todes- bzw. Krankheitsfälle und Monetarisierung	79
6.2.4.	Alternativer Bewertungsansatz.....	82
7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND DISKUSSION	85
8.	VERZEICHNISSE	88
8.1.	Literaturverzeichnis.....	88
8.2.	Abbildungsverzeichnis.....	94
8.3.	Tabellenverzeichnis.....	95

1. EINLEITUNG

Hitzewellen stellen, anders als man vermuten könnte, die verheerendsten Naturkatastrophen mit den weltweit höchsten Opferzahlen dar. Im Hitzesommer 2003 waren alleine in Frankreich bis zu 15.000 Todesopfer in Folge der hohen Temperaturen zu beklagen. Europaweit werden die Opferzahlen auf 30.000 bis 70.000 geschätzt. Dabei sind es gerade Städte, die meist am stärksten von solchen Hitzeereignissen betroffen sind. Für die dort lebende ältere oder kranke Bevölkerung können Hitzeereignisse eine tödliche Belastung werden. Bei der Abwehr solcher Extremerreignisse kommt Wald und natürlichen Ökosystemen im Allgemeinen eine wichtige ausgleichende Rolle zu.

Mit rund 48 % ist ein Großteil der Staatsfläche Österreichs mit Wald bedeckt. Das ist einer der höchsten Waldbedeckungsgrade im europäischen Vergleich (EU-Durchschnitt: 42 %) (BMLFUW 2015a, S. 28). Nicht alleine aufgrund der großen Ausdehnung hat der Wald in Österreich einen hohen Stellenwert. Auch die zahlreichen Leistungen, die der Wald für die Bevölkerung erbringt erfahren eine zunehmende Anerkennung. Die vom Ökosystem Wald erbrachten Leistungen, reichen dabei unter anderem von der Bereitstellung des Rohstoffes Holz, dem Schutz vor Naturgefahren, der Reinigung von Wasser bis hin zur Befriedigung von Erholungsbedürfnissen. Unter dieser breiten Palette von ökonomischen, ökologischen und sozialen Leistungen, kommt dem Wald eben auch eine Schlüsselrolle in der Regulierung des Klimas und im Speziellen des lokalen Klimas zu. Gerade im Nahbereich von Städten hat in Anbetracht gesundheitlicher Aspekte die klimaregulierende Wirkung des Waldes große Bedeutung. Dabei wird davon ausgegangen, dass die klimaregulierende Leistung des Waldes einen merkbar positiven Einfluss auf die Gesundheit der Bevölkerung und damit die Lebensqualität von Städten hat. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der quantitativen und monetären Erfassung dieser vom Wald erbrachten Leistung.

Die Frage nach dem Wert der Leistungen der Natur war in den vergangenen zwei Jahrzehnten verstärkt Gegenstand der internationalen Forschung. Dabei hat sich das wissenschaftlich anerkannte Konzept der „Bewertung von Ökosystemleistungen“ entwickelt. Dieses Konzept verfolgt das Ziel, die Leistungen der Natur systematisch zu erfassen, zu quantifizieren und zu monetarisieren. Es wird also versucht, die Ökosystemleistungen inwertzusetzen und diesen dadurch einen höheren Stellenwert in politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen zukommen zu lassen.

1.1. Forschungsfragen und Methodik

Im Rahmen der ökonomischen Bewertung der lokalen Klimaregulierung von siedlungsnahen Waldflächen stellen sich folgende zentralen Fragen:

- In welchem Ausmaß beeinflusst Wald das Temperaturniveau in seiner Umgebung?
- Inwieweit bzw. in welchem Ausmaß (Krankheits- bzw. Todesfälle) beeinflussen erhöhte Temperaturen die menschliche Gesundheit?
- Welche zusätzlichen Gesundheitskosten fallen bei einer Nichtbereitstellung der Ökosystemleistung an bzw. welche Kosten werden vermieden?

Zur Beantwortung der Frage zur Quantität der klimaregulierenden Leistung des Waldes erfolgt eine ausführliche Literaturrecherche und darauf folgend eine Zusammenstellung der Kenntnisse aus dem aktuell vorliegenden Forschungsstand. Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass die klimaregulierende Leistung in dieser Arbeit als das Potential des Ausgleichs von Temperaturextremen verstanden wird und sich nicht auf die Klimaregulierung aufgrund des CO₂-Speicherungsvermögens des Waldes bezieht. Darauf aufbauend werden zwei unterschiedliche klimatische Ansätze, welche für die spätere Bewertung verwendet werden abgeleitet. Auch bei der Frage nach den gesundheitlichen Effekten von Hitze wird auf aktuelle Studien aus diesem Bereich zurückgegriffen. Dabei liegt der Fokus auf der Ermittlung von verwertbaren Mortalitäts- sowie Morbiditätsraten.

Ausgehend von diesen Annahmen soll in weiterer Folge eine Systematik zur Quantifizierung der durch Hitze bedingten zusätzlichen Todes- und Krankheitsfällen erarbeitet werden, die es ermöglicht die klimaregulierende Leistung des Waldes inwertzusetzen.

Für die Monetarisierung der klimaregulierenden Leistungen des Waldes bieten sich grundsätzlich mehrere Bewertungsmethoden an. Da die Bewertung anhand der Gesundheitskosten erfolgen soll wurde hier auf die Gesundheitskostenmethode zurückgegriffen. Diese Methode wird hier als eine spezielle Form der Vermeidungskostenmethode interpretiert (NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE 2016). Dabei werden Kenntnisse aus der Gesundheitsökonomie in Form von Werten für ein statistisches Leben sowie Behandlungskosten herangezogen.

1.2. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit umfasst inklusive Einleitung und Schlussfolgerungen acht Hauptkapitel und gliedert sich dabei in drei thematische Teile. Der erste Teil beschäftigt sich dabei mit theoretischen Hintergründen zu Ökosystemleistungen und dessen Bewertung sowie relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen. Im zweiten Teil erfolgt eine Auseinandersetzung mit für die Arbeit wichtigen Aspekten zum Klima sowie den gesundheitlichen Effekten von Hitze. Der abschließende dritte Teil umfasst die ökonomische Bewertung der Ökosystemleistung „lokale Klimaregulierung“ und daraus gezogenen Schlussfolgerungen.

Zu Beginn der Arbeit wird das Konzept der Ökosystemleistungen dargestellt. Dabei werden theoretische Hintergründe sowie Methoden zur Erfassung und ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen aufgezeigt. Außerdem erfolgt ein Überblick zu internationalen und nationalen Strategien zum Umgang mit Ökosystemleistungen sowie zum derzeitigen Forschungsstand in diesem Bereich.

Kapitel drei geht auf relevante rechtliche Rahmenbedingungen ein, wobei der Fokus auf dem Forstrecht und insbesondere dem Waldentwicklungsplan liegt. Außerdem werden ausgewählte Bestimmungen aus dem Raumordnungs- sowie Naturschutzrecht erläutert und ein Überblick zu den Eigentümerverhältnissen des österreichischen Waldes gegeben.

In Kapitel vier werden allgemeine sowie stadt- als auch waldklimatische Aspekte aufgezeigt. Dabei wird versucht die komplexen klimatischen Prozesse zu beschreiben und klimatische Wechselwirkungen zwischen Stadt- und Waldflächen zu erklären.

Das darauf folgende Kapitel fünf setzt sich wiederum mit gesundheitlichen Aspekten auseinander. Dabei wird untersucht inwieweit sich erhöhte Temperaturen bzw. Hitze allgemein auf die menschliche Gesundheit auswirken um in weiterer Folge anhand ausgewählter Studien Erkenntnisse zu den Veränderungen der relativen Mortalität bzw. Morbidität aufgrund von Hitze zu generieren.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Kapiteln erfolgt in Kapitel sechs schließlich die ökonomische Bewertung der lokalen Klimaregulierungsfunktion von Wald. Dazu wird zunächst das theoretische Bewertungsmodell erläutert um dieses in weiterer Folge anhand des Fallbeispiels Wien anzuwenden. In einem abschließenden Kapitel erfolgen Schlussfolgerungen und die Diskussion der Ergebnisse.

2. ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

2.1. Konzept der Ökosystemleistungen

Als Ökosystemleistungen werden alle Güter und Dienstleistungen bezeichnet, die den Menschen von der Natur (unentgeltlich) bereitgestellt werden. Diese Leistungen können als die Grundlage jeglichen Lebens auf der Erde betrachtet werden und tragen außerdem einen Großteil zum menschlichen Wohlergehen bei (HANSJÜRGENS (Hrsg.) 2012, S. 10). Konkreter bezeichnen Ökosystemleistungen Leistungen und Güter welche dem Menschen direkten und indirekten wirtschaftlichen, materiellen oder gesundheitlichen Nutzen bringen (COSTANZA et al. 1997). Darüber hinaus erbringen Ökosysteme nicht-nutzungebundene Leistungen (siehe dazu Kapitel 2.2.). Eine Abgrenzung muss dabei zum Begriff der Ökosystemfunktionen getätigt werden, welche die Interaktion zwischen Ökosystemstrukturen und –prozessen (z.B. Holzproduktion in Wäldern) darstellen. Ökosystemfunktionen werden diesbezüglich als ökosystemares Potential Ökosystemleistungen bereitzustellen angesehen und können nicht direkt genutzt werden. In diesem Zusammenhang wird auch oft der Begriff der „Finalen Ökosystemleistungen“ verwendet. Boyd & Banzhaf (2007) definieren finale Ökosystemleistungen als Komponenten der Natur, die direkt genossen oder konsumiert werden bzw. zur menschlichen Wohlfahrt beitragen (BMLFUW 2015b, S. 29).

Vor dem Hintergrund des schleichenden Verlustes von Ökosystemen und deren Leistungen ist seit den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts eine verstärkte Forschungsaktivität diesbezüglich zu erkennen. Die ersten großen Initiativen waren das Millenium Ecosystem Assessment (MA) der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2005 und die TEEB-Studie (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) aus dem Jahr 2007. Diese Initiativen versuchen unter anderem die verschiedenen Ökosystemleistungen systematisch zu erfassen und zu kategorisieren. Meist erfolgt in der einschlägigen Literatur zuerst eine Zuordnung der Ökosysteme in Ökosystemkategorien, von welchen bestimmte Ökosystemleistungen ausgehen. Die Autoren des Millenium Ecosystem Assessment definieren dabei zehn Systemkategorien: Meer, Küste, Binnengewässer, Wald, Trockengebiete, Inseln, Berge, Pole, Kultiviert und Urban. Diese Kategorien stellen keine Ökosysteme an sich dar, sondern jede Kategorie kann mehrere Ökosysteme enthalten. Die in den Kategorien enthaltenen Ökosysteme weisen aber gleiche biologische, klimatische und soziale Eigenschaften auf, welche sich zwischen den einzelnen Kategorien unterscheiden. Die von den einzelnen

Ökosystemkategorien erbrachten Leistungen werden ebenfalls kategorisiert. Nach dem Millenium Ecosystem Assessment lassen sich Ökosystemleistungen in folgende Kategorien gliedern:

- **Unterstützende Basisleistungen** (z.B. Primärproduktion, Bodenbildung, Nährstoffkreislauf)
- **Bereitstellende Leistungen, Güter und Produkte** (z.B. Nahrungsmittel, Trinkwasser, Brennholz, Fasern, Biochemikalien, genetische Ressourcen)
- **Regulierende Leistungen** (z.B. Klima- und Wasserregulierung, Luft- und Wasserreinigung, Bestäubung, Erosionsschutz, Schutz vor Lawinen und Hochwasser)
- **Kulturelle Leistungen** (z.B. Spiritualität und Religion, Erholung und Tourismus, Ästhetik, Inspiration, Bildung, Identität, kulturelles Erbe)

(CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (Hrsg.) 2006, S. 14)

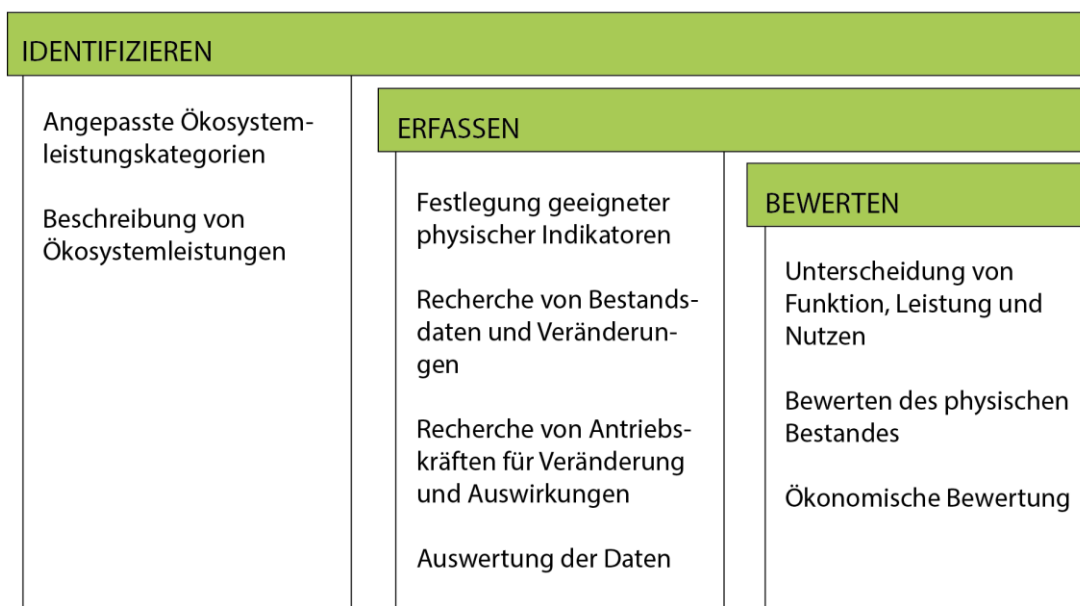
Es besteht jedoch eine Vielzahl an anderen Kategorisierungen in verschiedenen Studien, welche großteils aber sehr ähnlich sind. Derzeit wird über das von der europäischen Umweltagentur (EEA – European Environment Agency) initiierte Projekt CICES (Common International Classification of Ecosystem Services) ein Versuch unternommen, die bestehenden Klassifizierungen von Ökosystemen und Ökosystemleistungen (vor allem MEA und TEEB) zu vereinheitlichen (HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2011, S. 5). Dabei werden nur finale Ökosystemleistungen berücksichtigt und die Basisleistungen damit ausgeklammert, um etwaige Doppelzählungen zu vermeiden (HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2011, S. 9).

Ein weiterer Aspekt der Ökosystemleistungen ist die unterschiedliche räumliche Abdeckung. Ökosystemleistungen können auf lokaler sowie globaler Ebene bereitgestellt werden. Bei der Speicherung von CO₂ beispielsweise spielt der Ort der Erbringung dieser Leistung eine untergeordnete Rolle. Bei der Regulierung der Temperaturen in Städten ist dies jedoch von entscheidender Bedeutung.

2.2. Ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen

Die ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen erfolgt aufgrund der Kapitaltheorie. Dieser Theorie entsprechend ist eine ökonomische Bewertung des natürlichen Kapitals an sich nicht möglich. Dieses natürliche Kapital erbringt jedoch verschiedene Ökosystemleistungen, welche sich ökonomisch bewerten lassen (GETZNER et al. 2011, S. 14). Um diese Leistungen in Wert zu setzen, bedarf es im Wesentlichen dreier Schritte welche in folgender Grafik veranschaulicht werden:

Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Bewertung von Ökosystemleistungen



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE (Hrsg.) 2012, S. 47

In Schritt eins, der Identifizierung der Ökosystemleistungen, kann die im vorangegangenen Kapitel erläuterte Einteilung in Versorgungs-, Regulierungs-, Kultur- und Basisleistungen herangezogen werden. Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass bei der Einteilung spezielle regionale bzw. lokale Gegebenheiten berücksichtigt werden (NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE (Hrsg.) 2012, S. 48).

Aufbauend auf die Identifikation folgt mit Schritt zwei die Erfassung der Ökosystemleistungen. Dazu kann eine Vielzahl an verschiedenen Einzeldaten verwendet werden. Wichtig für eine effiziente und wiederholbare Erfassung ist die Entwicklung von geeigneten Indikatoren. Die Daten sollen dabei Rückschlüsse auf das Untersuchungsobjekt der Erfassung zulassen (z.B. in welchem Ausmaß trägt Wald zur Regulierung des lokalen Klimas bei). Bei der Definition der

Indikatoren sollte außerdem darauf geachtet werden welcher Zeitraum und welches Gebiet betrachtet werden. Es sollten auch Daten erhoben werden welche eine Aussage über den Zustand bzw. die Veränderung der Indikatoren zulassen. Ebenfalls von Bedeutung ist welche Prozesse den Indikator beeinflussen und welche Folgen von Veränderungen dieser Prozesse auf die Ökosystemleistungen resultieren (NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE (Hrsg.) 2012, S. 49).

Den dritten und letzten Schritt stellt die Bewertung dar. Für die Bewertung der Ökosystemleistungen steht grundsätzlich eine Vielzahl an Methoden zur Verfügung. Die Wahl der Bewertungsmethode hat dabei wesentlichen Einfluss darauf welcher Wert erfasst wird und welcher nicht. Folgend findet sich eine Auswahl von Bewertungsmethoden von Ökosystemleistungen:

- **Marktbewertungsmethoden**
 - **Marktpreismethode:** Auf dem Markt in gleicher oder ähnlicher Form gehandelte Ökosystemleistungen können aufgrund ihrer Marktpreise bewertet werden.
 - **Ersatz-, Vermeidungs- und Schadenskostenmethode:** Die Ermittlung des Wertes erfolgt über eine Abschätzung der bei einer erforderlichen künstlichen Bereitsstellung bzw. der Nichtbereitstellung der Ökosystemleistung anfallenden Kosten. Sprich welche Kosten entstehen würden wenn die Natur eine gewisse Leistung nicht mehr bereitstellen würde und diese mittels technischer Maßnahmen kompensiert werden müsste oder Schäden (zB.: Gesundheitsschäden) entstehen würden. Auch die später verwendete Gesundheitskostenmethode fällt hier hinein.
 - **Produktionskostenmethode:** Bewertung der Umwelt als Produktionsfaktor. Führen Veränderungen von Ökosystemleistungen zu einer Verringerung der Produktionskosten, kann der Wert der Leistungsänderung vereinfacht anhand der Kostensenkung ermittelt werden. Mengen- und Preisänderungen infolge von Kostensenkungen können über die Konsumenten- und Produzentenrente erhoben werden.

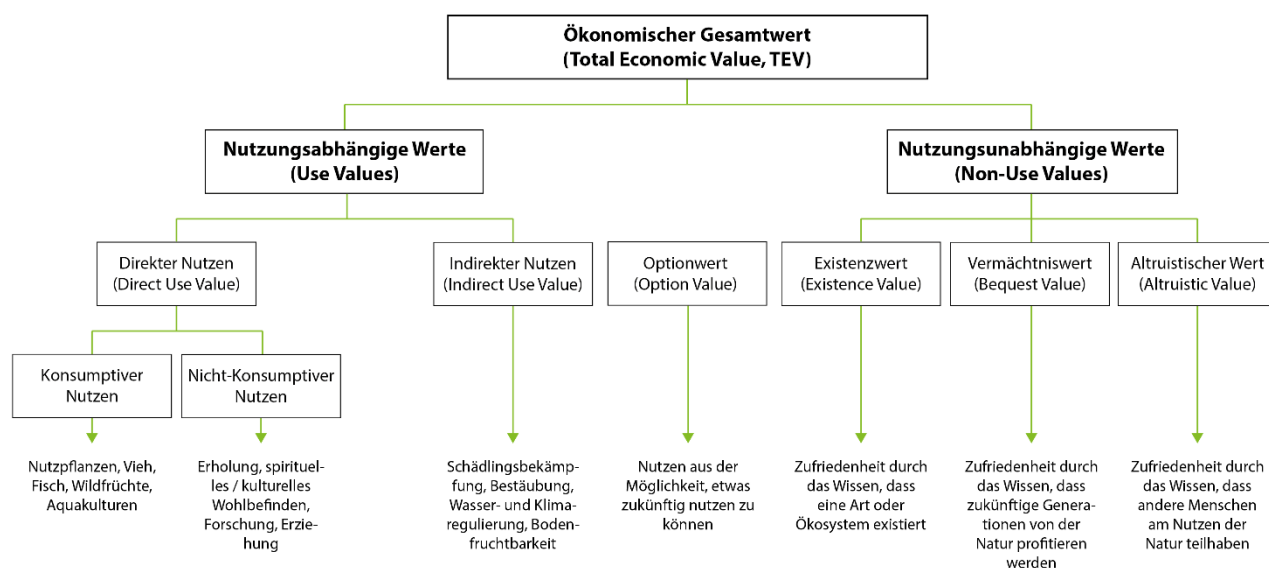
- Methoden der bekundeten Präferenz
 - Reisekostenmethode: Diese Methode eignet sich vor allem für die Erhebung des Erholungswertes eines betrachteten Ökosystems. Angenommen wird, dass die Ausübung von Freizeitaktivitäten mit Kosten verbunden sind (Anreisekosten, Eintrittskosten, etc.). Damit soll der Erholungswert eines Ökosystems gemessen werden und welcher Wertverlust bei einer Beschädigung entstehen würde.
 - Immobilienpreismethode (hedonischer Preisansatz): Es wird angenommen, dass der Nutzen aus dem Konsum eines Gutes bzw. einer Dienstleistung von den Merkmalen des Gutes bestimmt wird. Wie dem Namen der Methode zu entnehmen ist, wird diese Methode meist für die Bestimmung von Immobilienpreisen herangezogen. Es wird versucht über den Immobilienpreis den Wert von naheliegenden Ökosystemleistungen abzuschätzen. Der Preisunterschied zu Immobilien welche keine vergleichbaren Ökosystemleistungen aufweisen können, soll dabei den Wert dieser Leistungen bestimmen.

- Methoden der geäußerten Präferenz
 - Kontingente Bewertungsmethode (Zahlungsbereitschaft): Mittels Fragebögen wird ermittelt wie viele Menschen bereit wären zu zahlen um Ökosysteme und deren Leistungen zu erhalten bzw. zu verbessern.
 - Wahl-Modelle (Choice Modelling): Diese Methode basiert ebenfalls auf Befragungen. Dabei werden die Befragten mit alternativen Situationen konfrontiert, welche verschiedene Eigenschaften aufweisen und zwischen denen ausgewählt werden kann. Eine dieser Eigenschaften ist ein Geldbetrag, welcher für die entsprechende (Umwelt-) Situation bezahlt werden müsste. Daraus soll eine Einschätzung der persönlichen Wertschätzung einer Ökosystemleistung abgeleitet werden können.

(NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE (Hrsg.) 2012, S. 12ff)

Häufig wird für die Bewertung von Ökosystemleistungen das Konzept des ökonomischen Gesamtwertes (Total Economic Value - TEV) herangezogen. Dieses Konzept versucht alle Arten von Nutzen und Dienstleistungen die von einem bestimmten Ökosystem ausgehen, zu erfassen und zu bewerten. Der ökonomische Gesamtwert wird demnach aus mehreren Einzelwerten gebildet, welche sich wie in **Abbildung 2** **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ersichtlich in nutzungsabhängige und nutzungsunabhängige Werte gliedern. Die nutzungsabhängigen Werte lassen sich wiederum in direkte Nutzungswerte und indirekte Nutzungswerte unterteilen. Die direkten Nutzungswerte stellen dabei eine Nutzung der Ökosystemleistungen zu Konsum- und Produktionszwecken (z.B. landwirtschaftliche Produkte) sowie dem direkten Erlebnis der Natur (z.B. Erholungsleistung) dar. Als indirekte Nutzungswerte werden Leistungen bezeichnet die dem Menschen indirekt nutzen (z.B. Reinigung von Trinkwasser, Erosionsschutz, Klimaregulierung). Wie dem Namen bereits zu entnehmen ist, sind nutzungsunabhängige Werte nicht von einer Nutzung der Menschen abhängig. Diese Werte lassen sich ebenfalls in mehrere Werte (Existenz-, Vermächtnis- und altruistischer Wert) unterteilen. Der Existenzwert geht davon aus, dass durch die bloße Kenntnis vom Vorhandensein einer Ökosystemleistung eine Zufriedenheit bzw. ein Wert ausgeht. Dem Vermächtniswert wird die Zufriedenheit durch das Wissen, dass spätere Generationen ebenfalls Nutzen aus den Ökosystemen ziehen, zugesprochen. Als altruistischer Wert wird der empfundene Nutzen bezeichnet welcher mit dem Wissen, dass andere Menschen einen Nutzen aus einer Ökosystemleistung ziehen können, entsteht. Zwischen nutzungsabhängigen und nutzungsunabhängigen Werten befindet sich der Optionswert, welcher eine potentielle zukünftige Nutzung einer Naturleistung inwertsetzt. Die von der Natur erbrachten Leistungen sollen damit über ihren direkten materiellen bzw. rein wirtschaftlichen Nutzen hinaus bewertet werden. Die Tatsache, dass auch indirekte und nicht-materielle Nutzen in den Gesamtwert miteinbezogen werden, macht diesen Ansatz besonders in Hinblick auf den Naturschutz und eine nachhaltige Nutzung der Natur interessant. Es ist jedoch festzuhalten, dass in der Bewertungspraxis oft nur Teilwerte der Ökosystemleistungen berücksichtigt werden. Dies ist zum Teil auf fehlendes Wissen bezüglich genauer ökologischer und ökonomischer Wirkungsprozesse zurückzuführen. Oft wäre die Erfassung aller Werte zu komplex und damit zu zeit- bzw. ressourcenintensiv (NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE (Hrsg.) 2012, S. 54) (BMLFUW 2015b, S. 33).

Abbildung 2: Wertschätzung für öffentliche Güter



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von GETZNER et al. 2011, S. 15

2.3. Internationale und nationale Strategien zu ÖSL

Das Konzept der Ökosystemleistungen ist inzwischen auch Bestandteil nationaler sowie internationaler Umweltpolitik. Davon zeugen verschiedene Strategien zur Erhaltung der Biodiversität in vielen europäischen Nationalstaaten sowie der europäischen Union oder das 1993 in Kraft getretene internationale Umweltabkommen „Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Biodiversitäts-Konvention)“. Das UN-Abkommen wurde bisher von 193 Staaten unterzeichnet und zielt auf einen globalen Natur- und Artenschutz sowie eine nachhaltige Entwicklung ab.

2.3.1. Europäische Biodiversitätsstrategie

Im Jahr 2011 veröffentlichte die europäische Kommission eine Strategie, die dem Verlust der biologischen Vielfalt entgegen wirken und den Schutz und die Verbesserung des Zustandes der europäischen Arten, Ökosysteme und Ökosystemleistungen für die kommenden zehn Jahre gewährleisten soll. Gleichzeitig wurde der europäische Beitrag für die weltweite Bekämpfung des Biodiversitätsverlustes erhöht (EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) 2011, S. 7). Die Erstellung dieser Strategie hat im Wesentlichen zwei Beweggründe. Einerseits wurden die bisherigen Ziele der europäischen Umwelt- bzw. Biodiversitätspolitik nur zum Teil erreicht. Andererseits haben sich die EU und alle ihre Mitgliedsstaaten auf dem 2011 in Nagoya abgehaltenen Biodiversitätsgipfel zu internationalen Verpflichtungen diesbezüglich bekannt.

Die 193 Vertragsstaaten des bereits oben genannten UN-Abkommens über die biologische Vielfalt verabschiedeten dort mehrere wichtige Abkommen welche nun in europäisches sowie nationales Recht umgesetzt werden müssen. Anders als im vorangegangenen Aktionsplan der EU zur Erhaltung der biologischen Vielfalt aus 2006 thematisiert das Strategiepapier erstmals auch den hohen gesellschaftlichen Wert der von den verschiedenen Ökosystemleistungen erbracht wird. Um dem weiteren Verlust der Artenvielfalt und von Ökosystemleistungen entgegenzuwirken, wurden sechs Hauptziele definiert, welche wie folgt lauten:

- vollständige Umsetzung des EU-Naturschutzrechts
- besserer Schutz und Wiederherstellung von Ökosystemen und Ökosystemleistungen sowie verstärkter Einsatz von grünen Infrastrukturen
- nachhaltigere Land- und Forstwirtschaft
- bessere Bewirtschaftung der EU-Fischbestände und nachhaltigere Fischerei
- strengere Überwachung invasiver gebietsfremder Arten
- Erhöhung des Beitrags der EU zur Vermeidung des globalen Biodiversitätsverlustes

(EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) 2011, S. 9)

Diese Ziele sind mit zeitlich begrenzten Maßnahmen verbunden, welche die erfolgreiche Erreichung der Ziele garantieren sollen. Außerdem wurde parallel eine Bestandsaufnahme zum Zustand der europäischen Artenvielfalt und Ökosysteme erstellt, welche als Grundlage bei der Überwachung und Messung der Verfolgung der Biodiversitätsziele der EU dienen soll.

Vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit stellen sich vor allem die Ziele 2 und 3 als besonders relevant heraus. In Ziel 2 wird die Bedeutung der Bereitstellung von lebenswichtigen Gütern und Dienstleistungen durch Ökosysteme hervorgehoben. Der Erhaltung und Verbesserung von Ökosystemleistungen und der Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme kommt dabei besonders hohe Priorität zu. Darüber hinaus soll der Tatsache entgegengewirkt werden, dass dem Wert der Ökosystemleistungen in politischen Entscheidungsprozessen noch zu wenig Wert beigemessen wird. Da es sich bei den Ökosystemleistungen um öffentliche Güter handelt, werden deren ökonomischen Werte in der Marktwirtschaft nicht erfasst und finden daher bei gesellschaftlichen

Entscheidungsprozessen und der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung kaum Berücksichtigung. Daher sieht die Strategie eine systematische Erfassung (Kartierung und Bewertung) der Ökosystemleistungen in den einzelnen Mitgliedsstaaten vor. Anschließend sollen die wirtschaftlichen Werte der erfassten Ökosystemleistungen ermittelt werden, welche wiederum in die Rechnungslegungs- und Berichterstattungssysteme sowohl der EU als auch der Mitgliedsstaaten einfließen sollen. Die vorliegende Arbeit kann in diesem Fall als ein Beitrag zur Erfassung des wirtschaftlichen Wertes der Ökosystemleistungen betrachtet werden.

Eine weitere bedeutende Maßnahme aus Ziel 2 ist die Entwicklung einer Strategie für grüne Infrastruktur (GI). Dieses Strategiepapier liegt seit 2012 vor und fordert unter anderem den gezielten Aufbau von grünen Infrastrukturen in städtischen und ländlichen Gebieten. Definiert ist grüne Infrastruktur dabei als strategisch geplantes Netzwerk aus natürlichen und naturnahen Flächen, die ein vielfältiges Spektrum von Ökosystemleistungen zur Verfügung stellen (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2013, S. 3). Besonders hervorgehoben wird die Wichtigkeit von grünen Infrastrukturen in städtischen Gebieten, wo etwa 60 % der europäischen Bevölkerung lebt. In den Stadtgebieten sollen GI durch die Bereitstellung von frischer Luft und sauberem Wasser vor allem gesundheitliche Vorteile bringen. Der für diese Arbeit hoch relevante Effekt der städtischen Wärmeinsel soll ebenfalls durch GI gemildert werden (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2013, S. 4).

Nach Ziel 3 „Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft“ soll der Schutz von Ökosystemleistungen besser in die Land- und Forstwirtschaft integrieren werden. Den Bereitstellern von öffentlichen Umweltgütern sollen höhere Direktzahlungen zukommen. So sollen beispielsweise Waldbesitzer durch Anreizsysteme wie etwa finanzielle Förderungen dazu bewegt werden multifunktionelle Wälder und damit deren Ökosystemleistungen zu erhalten oder wiederherzustellen (siehe Maßnahme 11b). Maßnahme 12 fordert außerdem, dass eine Aufforstung unter den Gesichtspunkten der Artenvielfalt und der Klimaanpassung nach der europäischen Leitlinie für nachhaltige Waldbewirtschaftung erfolgt (EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) 2011, S. 17).

2.3.2. Österreichische Biodiversitätsstrategie

Für Österreich ist die Umsetzung der europäischen Biodiversitätsstrategien in der Biodiversitäts-Strategie Österreich 2020+ festgeschrieben. Die Umsetzung der Strategie erfolgt größtenteils in den Naturschutzgesetzen der Länder und darüber hinaus in weiteren Rechtstexten wie etwa dem Forstgesetz oder den Raumordnungsgesetzen der Länder. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Relevanz von regionalen Entwicklungskonzepten und der Flächenwidmungsplanung in Bezug auf den Schutz der Ökosystemleistungen hingewiesen. Inhaltlich stützt sich diese Strategie auf die Ziele und Maßnahmen der übergeordneten EU-Strategie. Es wurden fünf wesentliche Handlungsfelder definiert, welche wiederum in Ziele und Maßnahmen unterteilt sind:

- Handlungsfeld – Biodiversität kennen und anerkennen
 - Ziel 1 – Bedeutung der Biodiversität ist von der Gesellschaft anerkannt
 - Ziel 2 – Biodiversitätsforschung und Biodiversitätsmonitoring sind ausgebaut

- Handlungsfeld – Biodiversität nachhaltig nutzen
 - Ziel 3 – Land- und Forstwirtschaft tragen zur Erhaltung und Verbesserung der Biodiversität bei
 - Ziel 4 – Wildtierbestand und Fischbestand sind an naturräumliche Verhältnisse angepasst
 - Ziel 5 – Tourismus und Freizeitaktivitäten erfolgen im Einklang mit Biodiversitätszielen

- Handlungsfeld – Biodiversitätsbelastung reduzieren
 - Ziel 6 – Energieversorgung erfolgt biodiversitätsschonend
 - Ziel 7 – Schadstoffeinträge sind reduziert
 - Ziel 8 – Negative Auswirkungen invasiver gebietsfremder Arten sind reduziert
 - Ziel 9 – Biodiversitätsgefährdende Anreize, einschließlich Subventionen, sind abgebaut oder umgestaltet

- Handlungsfeld – Biodiversität erhalten und entwickeln
 - Ziel 10 – Arten und Lebensräume sind erhalten
 - Ziel 11 – Biodiversität und Ökosystemleistungen sind in den Bereichen Raumordnung und Verkehr/Mobilität berücksichtigt

- Handlungsfeld – Biodiversität weltweit sichern
 - Ziel 12 – Beitrag zur Bewältigung der globalen Biodiversitätskrise ist geleistet

(BMLFUW (Hrsg.) 2014)

2.4. Forschungsstand und bestehende Studien

Dieses Kapitel soll einen Überblick über den bisherigen Forschungsstand aus dem Bereich der ökonomischen Bewertung, insbesondere im Bezug auf die klimaregulierenden Ökosystemleistungen von Wald, geben sowie ebenfalls relevante Forschungsarbeiten aus dem Bereich der Klimawandelökonomie aufzeigen.

Eine der einflussreichsten Forschungsinitiativen der jüngeren Vergangenheit in Bezug auf die Erfassung und ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen stellt die bereits in Kapitel 2.1 angesprochene TEEB-Initiative aus dem Jahr 2007 dar. TEEB gilt als einer der ersten Ansätze einer systematischen monetären Bewertung aller weltweiten Ökosysteme bzw. deren Leistungen. Die Initiative besteht aus einer Reihe von Studien, die zusammen ein umfangreiches Grundinstrumentarium zur Erfassung monetärer Werte der von der Natur erbrachten Leistungen darstellen und wird laufend weiterentwickelt (UNMÜBIG 2015, S. 7). Die Studien geben einen Überblick zu Methodiken und Herangehensweisen zur Erfassung der einzelnen Ökosysteme und Ökosystemleistungen und beinhalten zudem konkrete Aussagen zu den Werten einzelner Ökosystemleistungen nach Ökosystemkategorien. Dazu wurden eine Vielzahl von vorangegangenen Studien bzw. Bewertungen untersucht und deren Ergebnisse zusammengefasst. Daraus ergaben sich Spannweiten für die Werte der einzelnen Ökosystemleistungen des jeweiligen Ökosystems, welche zum Teil sehr groß sind. So wurde auch der Wert der klimaregulierenden Leistung von gemäßigten Wäldern („Temperate and Boreal Forests“), welcher für die vorliegende Arbeit als besonders relevant anzusehen ist, ermittelt. Dieser bewegt sich zwischen 3 und 376 US-Dollar pro Hektar Waldfläche und Jahr (\$/ha/y – Werte auf das Referenzjahr 2007 bezogen) (KUMAR 2010, S. 28). Die Werte beziehen sich auf insgesamt acht herangezogene Einzelstudien. Für die gesamte österreichische Waldfläche (rund 3,6 Millionen Hektar) würde dies bedeuten, dass hypothetisch klimaregulierende Leistungen im Ausmaß von rund 10 Millionen bis 1,2 Milliarden Euro (Umrechnungskurs Stand April 2015) jährlich vom Wald erbracht werden. Anhand dieses Beispiels verdeutlicht sich nochmals die sehr große Spannweite. Es gilt auch festzuhalten, dass sich ein Großteil der untersuchten acht Studien dabei auf globale Effekte bzw. die CO₂-Speicherfähigkeit von Waldflächen bezieht und daher nur bedingt auf die vorliegende Fragestellung der lokalen Klimaregulierung umzulegen sind. Nur COSTANZA et al. 1997, die einen Wert von 88 US-Dollar pro Hektar Waldfläche und Jahr berechneten, differenzieren zwischen CO₂- und Klimaregulierung. Wobei auch hier nicht die temperaturregulierende

Leistung des Waldes sondern deren Fähigkeit zur Wolkenbildung und der Regulierung von Treibhausgasen im Vordergrund steht.

Generell beziehen sich viele der aufgefundenen Studien zur klimaregulierenden Funktion von Wäldern auf die Bewertung der CO₂-Speicherung bzw. –reduzierung und nicht auf die Regulierung des lokalen bzw. regionalen Klimas bzw. Temperaturen (zB.: LOOMIS & RICHARDSON 2000, TURNER et al. 2003, VAN KOOTEN & BRENT SOHNGEN 2007). Jene Untersuchungen bzw. Bewertungen die sich auf die Wirkung des Waldes auf das lokale Klima beziehen, stehen meist weniger in Zusammenhang mit größeren städtischen Waldflächen als mit Stadtvegetation in unmittelbarer Umgebung von Gebäuden bzw. Siedlungen. So auch eine Studie von MCPHERSON et al. 1994, die das Kühlungspotential von Stadtbäumen in Chicago anhand der Ersatz- bzw. Vermeidungskostenmethode bewertete. Die Autoren gingen davon aus, dass sich der Energieverbrauch durch die Beschattung durch Bäume und damit auch die Kosten für die Kühlung von Gebäuden reduzieren. Man kam zu dem Ergebnis, dass ein Baum 402 US-Dollar an Energiekosten für die Kühlung einsparen kann (MCPHERSON et al. 1994, S. 5). Eine weitere sehr interessante Studie in diesem Zusammenhang wurde im Jahr 2015 von STEININGER et al. (2015) veröffentlicht. Genauer gesagt handelt es sich bei der Veröffentlichung um eine Sammlung mehrerer Studien, die auf die Ermittlung der durch den Klimawandel verursachten Kosten in Österreich anhand verschiedener Sektoren abzielen. Kapitel 17 dieser Veröffentlichung behandelt dabei den Sektor „Stadt und urbane Grünflächen“ („City and urban green“). Im Mittelpunkt der Studie steht der sogenannte urbane Wärmeinsel- oder „Urban Heat Island“-Effekt, welcher die Tatsache der im Vergleich zum Umland höheren Temperaturen in Städten beschreibt. Hohe Temperaturen können sich negativ auf den thermischen Komfort in Städten und damit einhergehend auf die menschliche Gesundheit, den Tourismus und die Wirtschaft auswirken. Die Autoren gehen in diesem Zusammenhang von der Tatsache aus, dass urbane Grünflächen zur Verringerung der städtischen Überwärmung beitragen und diesen Flächen in Anbetracht des prognostizierten Klimawandels und Städtewachstums in Zukunft eine erhöhte Bedeutung zukommen wird. Die Abschätzung der durch den Klimawandel entstehenden Kosten bzw. Schäden erfolgt anhand der Vermeidungskostenmethode. Genauer gesagt wird der Verlust an thermischem Komfort anhand der Kosten, welche für präventive Maßnahmen (in diesem Fall die Schaffung und den Unterhalt von städtischen Grünflächen) anfallen würden, monetarisiert. Als Untersuchungsräume wurden die sechs größten Städte in Österreich herangezogen (Wien,

Linz, Salzburg, Graz, Klagenfurt und Innsbruck). Um den klimawandelbedingten negativen Effekten auf das Stadtklima entgegenzuwirken, müsste eine Zunahme der Grünflächen im Ausmaß von 11 % oder 339 Hektar bis in das Jahr 2051 erfolgen. Die jährlichen Kosten für die Errichtung neuer Parks und Grünflächen bis zum besagten Ausmaß werden mit rund 100 Millionen Euro angegeben. Dazu kommen nochmals Erhaltungskosten von rund 10 Millionen Euro jährlich. Um den thermischen Komfort in den sechs größten Städten Österreichs mittels der klimaregulierenden Wirkung von Grünflächen aufrecht zu erhalten, müssten bis 2051 jährlich also etwa 110 Millionen Euro aufgewendet werden.

Einen Ansatz zur ökonomischen Bewertung von klima- und hitzeinduzierten Schäden anhand von Gesundheitskosten bietet eine weitere Studie aus der Veröffentlichung von STEININGER et al. (2015) (Kapitel 11 – Human Health), die sich mit den aktuellen und zukünftig zu erwartenden gesundheitlichen Effekten (u.a. Todesfälle) durch Hitze in Österreich auseinandersetzt. Dazu wurden einerseits die hitzebedingten zusätzlichen Todesfälle und verlorenen Lebensjahre (YLL) im Zeitraum zwischen 2003 und 2012 statistisch ausgewertet und in weiterer Folge eine Abschätzung der für die Zeiträume 2016 bis 2045 (Untersuchungsperiode 1) und 2036 bis 2065 (Untersuchungsperiode 2) aufgrund der Temperaturzunahme zu erwartenden zusätzlichen Todesfälle vorgenommen. Die Untersuchungen ergaben, dass in der Referenzperiode (2003 – 2012) österreichweit im Durchschnitt 240 hitzebedingte Todesfälle pro Jahr auftraten (STEININGER et al. 2015, S. 204). Zur Ermittlung der aktuellen und zukünftigen Todesfälle bezogen sich die Autoren auf jeweils drei Demographie- und Klimaszenarien. Abhängig vom betrachteten Szenario ist jährlich mit 640 bis 2960 zusätzlichen jährlichen Todesfällen im Zeitraum 2016 bis 2045 und 350 bis 1200 Todesfällen im Zeitraum 2036 bis 2065 zu rechnen. Aufbauend auf diese Annahmen erfolgte in einem abschließenden Kapitel eine Monetarisierung der Todesfälle anhand des Wertes eines statistischen Lebens. Der Wert eines statistischen Lebens wurde dabei mit 1,6 Millionen Euro (zu Preisen aus 2010) angenommen. Dies ergab für den Referenzzeitraum Schäden aufgrund hitzebedingter vorzeitiger Todesfälle von 385 Millionen Euro jährlich. Für die Untersuchungsperiode 1 entsteht im Durchschnitt ein zusätzlicher jährlicher Schaden von 255 Millionen Euro und 1,3 Milliarden für Untersuchungsperiode 2.

3. RECHTLICHE ASPEKTE ZU WALD UND KLIMA IN ÖSTERREICH

Folgendes Kapitel setzt sich mit den wesentlichen für diese Arbeit und Thematik relevanten rechtlichen Aspekten auseinander. Dabei wird der Fokus auf das österreichische Forstrecht und dessen Aussagen zu klimarelevanten Festlegungen gelegt. Wobei auch auf ausgewählte Teile des Raumordnungs-, Umwelt- und Klimaschutzrechtes sowie die Eigentumsverhältnisse des österreichischen Waldes eingegangen wird.

3.1. Forstrecht

3.1.1. Kompetenzverteilung im Forstrecht

Dem Artikel 10 Abs. 1 Z. 10 des Bundes-Verfassungsgesetzes (B-VG) zufolge ist das Forstwesen in Gesetzgebung und Vollziehung Angelegenheit des Bundes. Der Kompetenztatbestand umfasst dabei alle Vorkehrungen zur Pflege, Erhaltung und Schutz des Waldbestandes sowie all jene forstpolizeilichen Anordnungen, die im Interesse der Sicherung des Waldbestandes und zur Abwehr von Gefahren aller Art notwendig erscheinen. Aufgrund des Artikels 102 B-VG wird die Vollziehung des Forstrechts in 1. bzw 2. Instanz an die Länder bzw. dem/der jeweiligen Landeshauptmann/Landeshauptfrau und den ihm/ihr unterstellten Bezirksverwaltungsbehörden (BH) übertragen. Dabei spricht man von einer mittelbaren Bundesverwaltung. In Wien stellt beispielsweise der Magistrat als Bezirksverwaltungsbehörde die vollziehende Behörde dar. Die Behörden, welche in diesem Sinne als Forstaufsicht auftreten, haben die Pflicht die Einhaltung des Forstrechts zu überwachen und besitzen die dazu benötigten Befugnisse (Betretungsrecht, Einholung von Auskünften und Nachweisen etc.) § 172 Abs. 1 Forstgesetz 1975. In bestimmten Angelegenheiten des Forstwesens (z.B. Waldteilung, Waldbrandbekämpfung) kann der Bund die Länder zu einer Erlassung von Ausführungsgesetzen ermächtigen (Artikel 10 Abs. 2 B-VG). Diese Angelegenheiten sind in den Forstausführungsgesetzen der Länder geregelt. Außerdem finden sich weitere für das Forstwesen relevante Bestimmungen in anderen Rechtsmaterien, welche in der Kompetenz der Länder liegen (z.B. Jagdrecht, Naturschutzrecht, Raumordnung). Auf EU-Ebene existiert anders als im Agrarbereich keine gemeinsame Forstpolitik. Forstrechtlich relevante Regelungen finden sich jedoch in verschiedenen Politikbereichen der EU wie etwa der Agrar-, Umwelt- oder Energiepolitik.

3.1.2. Forstgesetz

Die wesentlichen rechtlichen Bestimmungen des Forstwesens sind im Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird (Forstgesetz 1975) festgeschrieben. Das Forstgesetz 1975 ist in 12 Abschnitte gegliedert welche wie folgt lauten:

- 1. Wald, Allgemeines
- 2. Forstliche Raumplanung
- 3. Erhaltung des Waldes und der Nachhaltigkeit seiner Wirkungen
- 4. Forstschutz
- 5. Bringung
- 6. Nutzung der Wälder
- 7. Schutz vor Wildbächen und Lawinen
- 8. Forstpersonal
- 9. bis 12. Forstliche Forschung, Behörden, Strafbestimmungen

Die hohe Bedeutung des Waldes in Österreich wird in § 1 Abs. 1 hervorgehoben: „Der Wald mit seinen Wirkungen auf den Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen ist eine wesentliche Grundlage für die ökologische, ökonomische und soziale Entwicklung Österreichs. Seine nachhaltige Bewirtschaftung, Pflege und sein Schutz sind Grundlage zur Sicherung seiner multifunktionellen Wirkungen hinsichtlich Nutzung, Schutz, Wohlfahrt und Erholung.“ Besonders relevant im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit ist dabei die Aussage zur Sicherung der Wohlfahrtswirkung, auf welche später noch genauer eingegangen wird.

Nach § 1a Abs. 1 Forstgesetz 1975 wird Wald als mit Holzgewächsen (forstlicher Bewuchs) bestockten Grundflächen, welche eine Mindestgröße von 1000 m² und eine durchschnittliche Breite von 10 Metern aufweisen, definiert. Auch Flächen welche durch Nutzung oder sonstigen Anlässen vorübergehend nicht bewachsen sind, die oben genannten Kriterien jedoch erfüllen sind ebenfalls als Wald definiert. Damit können auch Flächen mit keinem Baumbewuchs als Wald definiert werden. Dementsprechend verlieren temporäre Kahlfächen auch nicht die ihnen zugewiesenen Wirkungen (PETER LEBER 2015).

Dem hohen öffentlichen Interesse am Wald und seinen Wirkungen wurde in der Forstgesetznovelle 1975 unter anderem mit der Einführung der forstlichen Raumplanung begegnet, welche in folgendem Kapitel betrachtet wird.

3.1.3. Forstliche Raumplanung

Mit der Einführung der forstlichen Raumplanung wurden erstmals Waldwirkungen definiert und deren flächendeckende Darstellung gesetzlich festgelegt. Als Aufgabe der forstlichen Raumplanung gelten laut § 6 Abs. 1 Forstgesetz 1975 die Darstellung und vorausschauende Planung der Waldverhältnisse auf Bundesgebiet und deren Teilgebiete. Um diese Aufgaben erfüllen zu können, ist das Vorhandensein und der Zustand von Wald in einem Umfang anzustreben, der folgende Wirkungen sicherstellt: (§ 6 Abs. 2 lit. a – d Forstgesetz 1975)

- Nutzwirkung – wirtschaftlich nachhaltige Hervorbringung des Rohstoffes Holz
- Schutzwirkung – Schutz vor Elementargefahren und schädigenden Umwelteinflüssen
- Wohlfahrtswirkung – Einfluss auf die Umwelt, insbesondere auf den Ausgleich des Klimas und des Wasserhaushaltes sowie die Reinigung und Erneuerung von Luft und Wasser
- Erholungswirkung – Wirkung des Waldes als Erholungsraum auf Waldbesucher

Zur Erreichung der Ziele der forstlichen Raumplanung soll nach § 6 Abs. 3 Forstgesetz 1975 besonders darauf geachtet werden, dass in Bereichen von Wohn- und Arbeitsstättenkonzentration sowie Verkehrsflächen die Anordnung und Ausgestaltung des Waldes dessen Schutz-, Wohlfahrts- und Erholungswirkung sichergestellt ist. Weiters soll in Gebieten, in denen der Wald eine besondere Schutz- bzw. Wohlfahrtsfunktion einnimmt eine entsprechende räumliche Gliederung des Waldes vorhanden sein. Die forstliche Raumplanung soll dabei alle in Betracht kommenden öffentlichen Interessen bestmöglich koordinieren (§ 6 Abs. 4 Forstgesetz 1975).

Bezüglich des Umfanges hat sich laut § 7 Forstgesetz 1975 die Raumplanung für den Lebensraum Wald auf die Darstellung und Planung von Waldgebieten mit überwiegender Nutzwirkung unter besonderer Berücksichtigung von Waldgebieten mit Eignung zu hoher Rohstoffproduktion, mit überwiegender Schutz-, Wohlfahrts- oder Erholungswirkung sowie Erholungsgebiete, welche besonderer Maßnahmen zum Schutz vor Immissionen bedürfen, zu

erstrecken. Außerdem werden die Darstellung von Einzugsgebieten von Wildbächen und Lawinen und die Planung von Neuaufforstungsgebieten vorgeschrieben.

Die forstlichen Raumpläne sollen dazu nach § 8 Abs. 1 Forstgesetz 1975 die Sachverhalte und erkennbaren Entwicklungen, die die Waldverhältnisse des Planungsgebietes bestimmen und beeinflussen abbilden. Dabei soll besonders auf die Bestimmungen in den Paragraphen 6 und 7 Rücksicht genommen werden. Das Gesetz sieht dafür die textliche und kartographische Darstellung sowie die Anpassung an die tatsächliche Entwicklung im jeweiligen Planungsgebiet vor. Es gibt drei Arten von forstlichen Raumplänen: der Waldentwicklungsplan, der Waldfachplan und der Gefahrenzonenplan. Die genauen Vorschriften über den Inhalt sowie Form und Ausgestaltung dieser Pläne sind vom Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft per Verordnung zu erlassen (§ 8 Abs. 3 Forstgesetz 1975).

Aufgrund der hohen Relevanz des Waldentwicklungsplans wird dieser später in einem eigenen Kapitel gesondert behandelt.

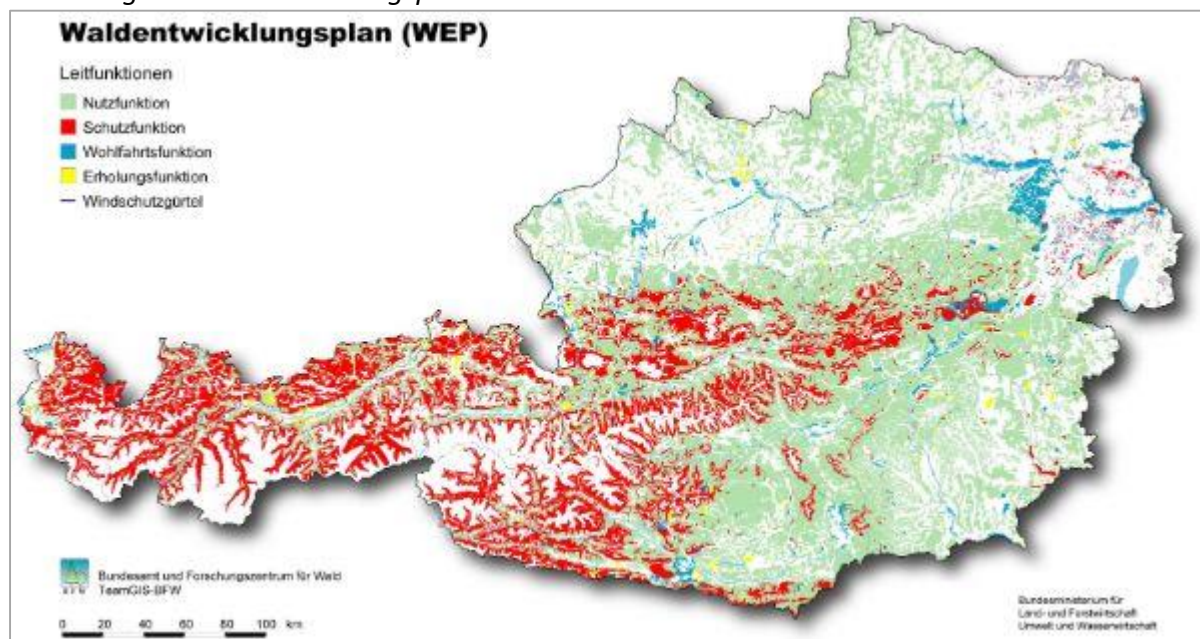
Bei Waldfachplänen handelt es sich um Instrumente der planmäßigen Darstellung und Umsetzung betriebsspezifischer forstrechtlicher und fachübergreifender Themenstellungen wie etwa Natur- oder Wasserschutz. § 10 Abs. 1 Forstgesetz 1975 entsprechend kann der Waldfachplan von den jeweiligen Waldeigentümern oder einer zuständigen Behörde erstellt werden. Zur Erstellung des Plans sind nur Forstwirte befugt. In der Praxis werden Waldfachpläne in der Regel auf Initiative der Waldeigentümer erstellt.

Ein weiteres wichtiges Instrument der forstlichen Raumplanung ist der Gefahrenzonenplan. Der Gefahrenzonenplan stellt ein flächendeckendes Gutachten dar, welches Gefährdungsbereiche durch Naturgewalten darstellt. Er soll als Grundlage für die Raumplanung und Bauwesen dienen. Nach § 11 Abs. 2 Forstgesetz 1975 hat der Gefahrenzonenplan wildbach- und lawinengefährdete Bereiche und deren Gefährdungsgrad darzustellen, für die eine besondere Art der Bewirtschaftung oder deren Freihaltung für spätere Schutzmaßnahmen erforderlich ist.

3.1.4. Waldentwicklungsplan (WEP)

Als besonders relevant für die vorliegende Arbeit stellt sich, wie oben bereits angesprochen der Waldentwicklungsplan heraus, weshalb dieser im Folgenden im Detail betrachtet werden soll. Allgemein stellt der WEP ein Fachgutachten über die Funktionen des gesamten österreichischen Waldes auf forstgesetzlicher Basis dar. Dabei wird zunächst der derzeitige Zustand (IST-Zustand) der Waldfunktionen erfasst und die entsprechende Funktionsflächenabgrenzung vorgenommen. Daraus resultierend werden Leitfunktionen für die einzelnen Waldflächen bestimmt. Weiters wird ein forstfachlicher SOLL-Zustand definiert. Durch den Vergleich von IST- und SOLL-Zustand kann eine Beurteilung der derzeitigen Funktionserfüllung erfolgen. Daraus werden die erforderlichen Maßnahmen, die zur Erreichung des gewünschten Zustandes (SOLL-Zustand) notwendig sind, abgeleitet. Der WEP gilt als Basis für forstpolitische Entscheidungen und dient dabei als Grundlage für die Planung und Durchführung von Maßnahmen der für die Vollziehung des Forstrechts zuständigen Behörden und Organe. Außerdem spielt der WEP auch in Fragen der Raumordnung eine zunehmende Rolle (BMFLUW 2012, S. 7). Der WEP muss regelmäßig auf die aktuellen Entwicklungen angepasst werden und wird daher alle 10 Jahre revidiert (PETER LEBER 2015). Als Rechtsgrundlage des WEP dienen das Forstgesetzes 1975 (§ 9) und die Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 18. November 1977 über den Waldentwicklungsplan (BMFLUW 2012, S. 12). So schreibt § 9 Abs. 1 Forstgesetz 1975 vor, dass sich der Waldentwicklungsplan auf das gesamte Bundesgebiet erstrecken muss und sich aus Teilplänen zusammensetzt. Die Teilpläne werden von den Landesforstdiensten erstellt und vom Landeshauptmann bzw. von der Landeshauptfrau erlassen. Die Erstellung oder Revision eines WEP muss dabei von einem Forstwirt bzw. einer Forstwirten durchgeführt werden. Die Teilpläne können sich auf ein Bundesland beziehen oder auf Teile von diesem und müssen mit benachbarten Waldentwicklungsplänen abgestimmt sein. In der Regel werden die Teilpläne pro politischem Bezirk bzw. Forstbezirk erstellt (PETER LEBER 2015). Vor der Erlassung durch den/die Landeshauptmann/Landeshauptfrau hat dieser/diese eine Stellungnahme der Landesraumordnung einzuholen und zu prüfen. (§ 9 Abs. 6 Forstgesetz 1975) Erfolgt die nötige Zustimmung des Bundesministers wird der WEP an die Bezirksverwaltungsbehörden übermittelt und ist dort zur öffentlich Aufsicht aufzulegen. Es besteht ein allgemeines Einsichtsrecht.

Abbildung 3: Waldentwicklungsplan Österreich



Quelle: BMFLUW 2012

Die Teilpläne setzen sich aus sogenannten Funktionsflächen zusammen. Eine solche Fläche ist jene räumliche Einheit, für die jeder Waldfunktion eine einheitliche Wertigkeit zukommt. Die Mindestgröße einer Funktionsfläche beträgt 10 Hektar. Funktionsflächen, die diese Größe unterschreiten, werden als Punktsymbole dargestellt. Für jede Funktionsfläche werden die vier bereits oben genannten Waldfunktionen (§ 6 Abs. 2 Forstgesetz 1975) bewertet und begründet. Dabei wird eine dieser Funktionen als Leitfunktion definiert. Jene Funktion, der das höchste öffentliche Interesse zukommt, gilt als Leitfunktion (§ 5 Abs. 2 WEP-V). Die Wertigkeit wird durch eine Wertziffer angegeben, welche das öffentliche Interesse an der jeweiligen Wirkung wiedergibt. Für die Schutz-, Wohlfahrts- und Erholungsfunktion sind die Wertziffern wie folgt definiert:

Tabelle 1: Definition der Wertigkeit der Funktionen

Wertziffer	Wertigkeit	Abstufung des öffentlichen Interesses
0	keine	kein öffentliches Interesse
1	geringe	öffentliches Interesse
2	mittlere	erhöhtes öffentliches Interesse
3	hohe	besonderes öffentliches Interesse

Quelle: BMFLUW 2012, S. 16

Die Nutzfunktion ist von dieser Bewertungssystematik ausgenommen. Sie wird dann als Leitfunktion angenommen, wenn keine der anderen Funktionen eine hohe Wertigkeit (Wertziffer 3) aufweist. Der Grad des öffentlichen Interesses kann sich beispielsweise aus der volkswirtschaftlichen Bedeutung, der Vermeidung von Gefahren für Leib und Leben oder der Besucherfrequenz ableiten. Für die Bewertung, der einzelnen Funktionen einer Funktionsfläche werden dieser dreistellige Kennzahlen zugeordnet, welche sich aus den Wertziffern zusammensetzen. Die Kennzahl ist dabei wie folgt zu interpretieren:

Tabelle 2: Kennzahl der Funktionsbewertung

Einerstelle	Erholungsfunktion (Wertziffern 0 – 3)
Zehnerstelle	Wohlfahrtsfunktion (Wertziffern 1 – 3*) <i>*Wohlfahrtsfunktion ist immer vorhanden</i>
Hunderterstelle	Schutzfunktion (Wertziffern 1 – 3*) <i>*Schutzfunktion ist immer Vorhanden</i>

Quelle: BMFLUW 2012, S. 17

Wie bereits erwähnt, bildet die am höchsten bewertete Funktion auch die Leitfunktion. Weist eine Funktionsfläche beispielsweise die Kennzahl 232 auf so ist diesen Leitfunktion die Wohlfahrtsfunktion und ist auch dementsprechend im Waldentwicklungsplan darzustellen. Kommt mehreren Funktionen eine hohe Wertigkeit zu, gilt Schutz- vor Wohlfahrts- vor Erholungsfunktion. Aufgrund der bereits angesprochenen besonderen Bedeutung der Wohlfahrtsfunktion für die vorliegende Arbeit wird hier nur auf diese Funktion im Detail eingegangen. Die WEP-Richtlinie 2012 streicht in ihrer Definition der Funktionen die besondere Bedeutung des Waldes und dessen Wohlfahrtsfunktion im Nahbereich von verdichtetem Siedlungsraum und Großstädten hervor. Durch den größeren Artenreichtum im Vergleich zu anderen Landschaftsstrukturen, der Verbesserung des Kleinklimas und den positiven Einfluss auf den Wasserhaushalt trägt Wald und dabei insbesondere Wohlfahrtswald erheblich zum Wohlbefinden der Bevölkerung bei. Die WEP-Richtlinie gliedert die Wohlfahrtsfunktion dabei in drei Unterfunktionen: Wohlfahrtsfunktion durch Klimaausgleich, durch die Verbesserung des Wasserhaushaltes und durch Reinigung und Erneuerung von Luft und Wasser.

Ein besonderes öffentliches Interesse an der Wohlfahrtsfunktion aufgrund des Ausgleichs des Klimas ist unter folgenden Kriterien gegeben:

- Waldflächen, die nachweisbar das lokale und/oder das regionale Klima besonders positiv beeinflussen. Dabei sind lokale Besonderheiten zu beachten (z.B. Wald leitet Kaltluftströme oder lokale Windsysteme von Ortsgebieten ab bzw. wirkt messbar ausgleichend). In jedem Fall muss eine direkte URSACHE-WIRKUNGSBEZIEHUNG erkennbar sein (z.B. relief-bedingte „Düsenwirkung“ ...).
- Wald, der die tätige Oberfläche der Wettereinwirkung anhebt und dadurch einen Temperatúrausgleich und eine Luftbefeuchtung im Nahbereich von verdichtetem Siedlungsgebiet bewirkt (z.B. Wienerwaldbogen; größere geschlossene Waldflächen im Talbereich, ein Nachweis durch Messungen ist erforderlich).
- Wenn ein Bannwald (nach § 27 Abs. 2 lit. c und d ForstG) vorliegt. Bannzweck ist z.B. in diesem Zusammenhang der Klimaausgleich für Heil- und Erholungsstätten, Siedlungsräume etc.

(BMFLUW 2012, S. 30–31)

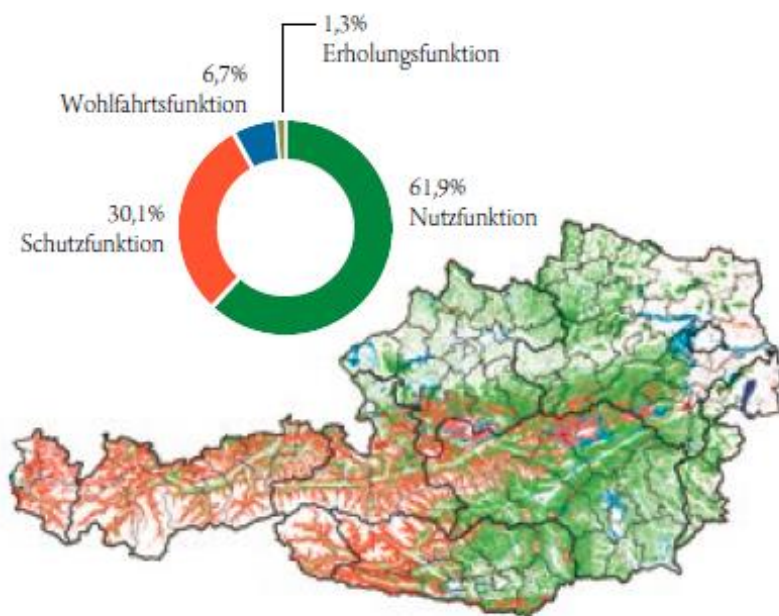
Ein erhöhtes öffentliches Interesse (Wertziffer 2) bezogen auf den Klimaausgleich besteht, „wenn eine positive Auswirkung für das Kleinklima spezieller landwirtschaftlicher Kulturen oder anderer Landschaftsteile in mittelbarer Waldnähe besteht, die im erhöhten öffentlichen Interesse steht (z.B. Beschattung von Fließgewässern, Ermöglichung der Taubildung im sommerwarmen Osten etc.)“ (BMFLUW 2012, S. 31).

Es wird davon ausgegangen, dass Wald immer einen positiven Effekt auf das Klima bewirkt und daher immer ein öffentliches Interesse (Wertziffer 1) in Bezug auf die Wohlfahrtsfunktion durch Klimaausgleich besteht.

Von den rund 3,6 Millionen Hektar Waldfläche in Österreich haben 61,9 % die Leitfunktion Nutzung gefolgt von 30,1 % Schutzfunktion. Mit 6,7 % Wohlfahrtswaldanteil ist dieser noch relativ gering weist jedoch eine steigende Tendenz auf. Betrachtet man Abbildung 4 erkennt man, dass sich die Flächen des Wohlfahrtswaldes vor allem in Bereichen von Großstädten

befinden. Die restlichen 1,3 Prozent stellen Flächen mit Erholungsfunktion als Leitfunktion dar (BMLFUW 2015a, S. 95).

Abbildung 4: Verteilung der Waldfunktionen



Quelle: BMLFUW 2015a, S. 95

In Wien ist für beinahe die gesamte Waldfläche (98,5 %) die Wohlfahrtsfunktion als Leitfunktion festgelegt. Auf den restlichen Flächen (1,5 %) kommt der Schutzwirkung des Waldes die höchste Priorität zu. Dabei ist zu erwähnen, dass ausnahmslos jede Waldfläche in Wien mit der höchsten Wertziffer 3 der Wohlfahrtsfunktion bewertet ist. Demzufolge gibt es keine Waldflächen mit Nutz- oder Erholungsfunktion als Leitfunktion. Für einen großen Teil des Waldes in Wien (94,5 %) besteht jedoch auch für die Erholungsfunktion ein besonderes öffentliches Interesse (Wertziffer 3) (LANDESFORSTDIREKTION WIEN 2005, S. 89). Der Nutzfunktion kommt innerhalb der Wiener Stadtgrenze eine verhältnismäßig geringe Bedeutung zu. Der WEP Teilplan Wien begründet dies unter anderem mit einer nicht realisierbaren forstlichen Bewirtschaftung aufgrund starker Gegenwehr der Bevölkerung bei flächigen Eingriffen in den Wald. Dies streicht das große Bewusstsein der Wiener Bevölkerung für die Leistungen des Waldes deutlich hervor (LANDESFORSTDIREKTION WIEN 2005, S. 89).

Besonders interessant vor dem Hintergrund dieser Arbeit ist die Begründung der Festlegung als Wohlfahrtswald. Dabei wird explizit auf die klimausgleichende Wirkung des Waldes auf

die Stadt hingewiesen. Der genaue Wortlaut der Begründung im WEP Wien lautet wie folgt: *„Die gemessenen Werte der regelmäßig verteilten meteorologischen Messstationen in Wien belegen eindeutig den Zusammenhang zwischen niedrigeren Temp.-Jahresmittel bei höherer Luftfeuchte und zunehmender Waldausstattung. Die Bedeutung der Wohlfahrtswirkung kommt damit deutlich zum Ausdruck.“* (LANDESFORSTDIREKTION WIEN 2005, S. 89)

3.2. Raumordnungs- und Naturschutzrecht im stadtklimatischen Kontext

Dieses Kapitel soll einen kurzen Überblick über das Raumordnungs- bzw. Naturschutzrecht in Österreich in Hinblick auf klimarelevante bzw. stadtklimatische Planungsbestimmungen geben.

Auf Bundesebene gibt es in Österreich aufgrund des Artikels 15 Bundes-Verfassungsgesetz (B-VG), in welchem die Raumordnungskompetenz an die Länder vergeben wird, kein alleinstehendes Raumordnungsgesetz. Die von Bund, Ländern und Gemeinden getragene österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK) übernimmt jedoch die unverbindliche Koordinierung der gesamtstaatlichen Raumordnung. Eine der zentralen Aufgaben der ÖROK ist die Erstellung des österreichischen Raumentwicklungskonzeptes (ÖREK) welches zuletzt im Jahr 2011 veröffentlicht wurde. Das ÖREK 2011 enthält dabei ein eigenes Kapitel, welches den Klimawandel und die Anpassung an diesen thematisiert (Kapitel 3 – Klimawandel, Anpassung und Ressourceneffizienz). Für die vorliegende Arbeit sind dabei vor allem die Aussagen aus Kapitel 3.3 – Nachhaltige Siedlungs- und Freiraumentwicklung relevant. Hier wird darauf hingewiesen, dass dem steigenden Versiegelungsdruck, welcher zulasten der Freiräume und damit den klimatisch wichtigen Ausgleichsräumen entgegengewirkt werden soll. Dazu soll eine verstärkte Zusammenarbeit in der überörtlichen Raumplanung forciert werden, um unter anderen meso- bzw. mikroklimatischen Ausgleichsflächen (Kühlräume) zu sichern (ÖSTERREICHISCHE RAUMORDNUNGSKONFERENZ (Hrsg.) 2011, S. 72).

Für die Betrachtung der rechtlichen Bestimmungen auf Landesebene wird hier aufgrund der später folgenden Fallstudie für Wien auf das Wiener Raumordnungsrecht eingegangen. Das zentrale Gesetz für die Raumplanung in Wien, die Bauordnung für Wien (BO für Wien) enthält nur in Teil 1 - Stadtplanung (§ 1-12) und dort auch nur in sehr allgemeiner Form Regelungen, die für die vorliegende Thematik relevant sind. In § 1 Abs. 2 BO für Wien wird gefordert, dass bei der Festsetzung und Abänderung der Flächenwidmungs- und Bebauungspläne unter

anderem auf die Erhaltung, beziehungsweise Herbeiführung von Umweltbedingungen, die eine gesunde Lebensgrundlage, sichern, zu achten ist. Weiters wird die Erhaltung des Wald- und Wiesengürtels, des Wienerwaldes sowie weiterer wichtiger Grün- und Freiflächen (z.B. Prater, Lobau etc.) als Ziel festgelegt. Dementsprechend ist in § 4 Abs. 2 BO für Wien eine eigene Widmungskategorie „Schutzgebiet Wald- und Wiesengürtel (Sww)“ festgelegt. Der Wald- und Wiesengürtel dient laut § 6 Abs. 3 BO für Wien der „Erhaltung und Schaffung von Grünflächen zur Wahrung der gesundheitlichen Interessen der Bewohner der Stadt und zu deren Erholung in freier Natur.“ Es dürfen dort ausschließlich kleinere Bauwerke mit land- und forstwirtschaftlicher Nutzung bzw. Bauwerke, die der Erholung der Bevölkerung dienen oder solche Bauwerke, die für eine widmungsgemäße Nutzung und Pflege erforderlich sind errichtet werden. Diese dürfen jedoch keine Wohnräume enthalten (§ 6 Abs. 3 BO für Wien).

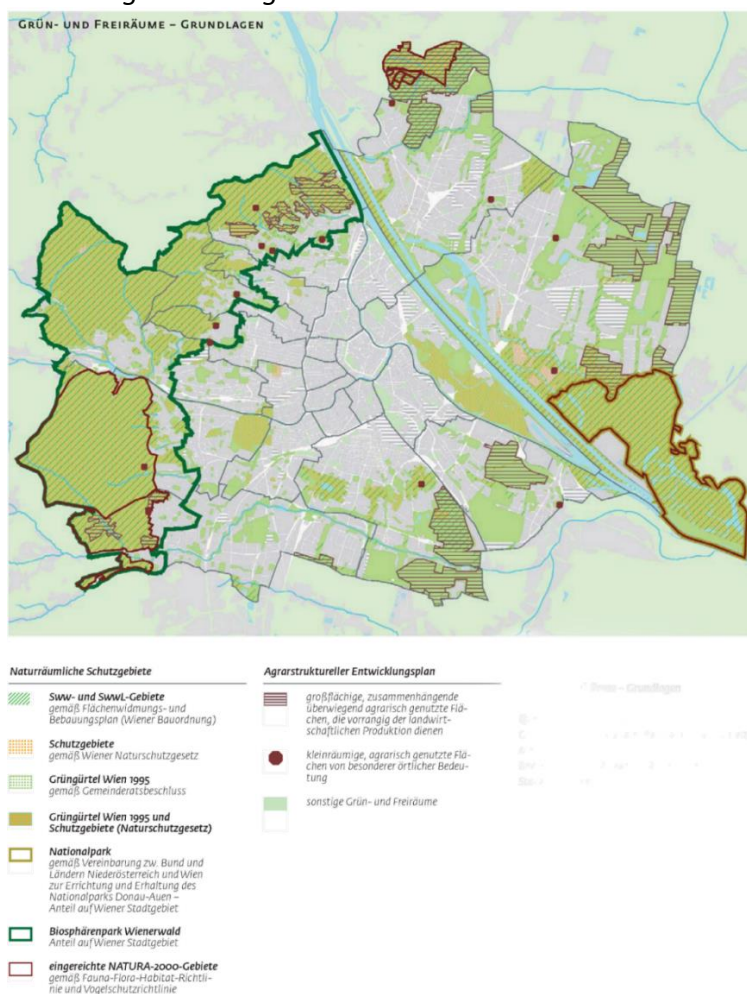
Neben den raumordnungsrechtlichen Baurestriktionen sind die großen Waldgebiete und damit vor allem der Wienerwald aufgrund der Wiener und Niederösterreichischen Naturschutzgesetze umfassend geschützt. Der Großteil des Wienerwaldes ist als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen, weitere Teilflächen als Naturschutzgebiete. Außerdem ist der Wienerwald aufgrund seiner Ausweisung als Biosphärenpark zusätzlich geschützt. Folgende Abbildung 5 zeigt die geschützten Flächen in Wien.

Konkretere Zielsetzungen und Handlungsempfehlungen bezogen auf die lokalklimatische Situation in Wien finden sich im Stadtentwicklungsplan Wien (STEP 2025) und dabei vor allem in dem darauf aufbauenden Fachkonzept Grün- und Freiraum. Der STEP 2025 wurde im Jahr 2014 vom Wiener Gemeinderat beschlossen. Im STEP 2025 wird den Freiräumen und damit auch den stadtnahen Waldgebieten eine hohe Wichtigkeit in Bezug auf stadtklimatische Funktionen sowie der Anpassung an den Klimawandel und damit verbundener Temperaturerhöhungen eingeräumt. Dabei wird die zentrale Rolle der Erhaltung und Schaffung von Kaltluft- und Frischluftschneisen sowie von Kaltluftentstehungsgebieten hervorgehoben. Außerdem wird auch auf kleinräumige Maßnahmen wie Fassaden- und Dachbegrünungen, Baumpflanzungen, etc. hingewiesen.

Das STEP 2025 Fachkonzept Grün- und Freiraum, welches wie bereits erwähnt auf den Grundsätzen des STEP 2025 basiert, stellt ein Entwicklungsinstrument für die verschiedenen Freiraumtypen der Stadt Wien dar. Auch hier wird in den Zielen der Erhalt der wichtigen

Funktionen des Grün- und Freiraumes in Bezug auf das Stadtklima und den daraus resultierenden positiven Gesundheits- und Wohlfahrtseffekten gefordert (MAGISTRATSABTEILUNG 18 2015, S. 32). Die genannten Freiraumtypen werden im Wesentlichen in lineare und flächige bzw. urban und landschaftlich geprägte Freiraumtypen gegliedert, welche in weiterer Folge weiter auf insgesamt zwölf verschiedene Freiraumtypen unterteilt werden. Die Freiraumtypen definieren sich dabei vor allem über ihre Struktur und funktionelle Bedeutung. Es wird zwischen den Funktionen Alltags- und Erholungsfunktionen, stadtgliedernde Funktionen, stadtökologische Funktionen (Stadtklima, Abkühlungseffekt) und naturräumlichen Funktionen unterschieden. Jede dieser Funktionen wird von den unterschiedlichen Freiraumtypen mehr oder weniger stark erfüllt. Als stadtklimatisch besonders bedeutsam werden vor allem die großflächigen Schutzgebiete (z.B. Wienerwald, Lobau) und die landschaftlich geprägten linearen Freiräume (z.B.: Wiental, Donaukanal), beschrieben, welche als wichtige Kaltluft- bzw. Frischluftschneisen zu sehen sind.

Abbildung 5: Schutzgebiete in Wien



Quelle: STEP05 S. 152

3.3. Eigentümerverhältnisse des österreichischen Waldes

Etwa drei Viertel (72%) der österreichischen Waldflächen befindet sich in Privatbesitz. Der Großteil der Flächen in Privatbesitz ist dabei kleiner als 200 Hektar und befindet sich in bäuerlichem Besitz. Zu einem der größten Privatwaldbesitzer zählt die katholische Kirche. Die restlichen Waldflächen (28%) sind in öffentlichem Eigentum. Wobei hier sowohl Gemeinden, Länder und der Bund als Waldeigentümer auftreten. Der Bund in Form der österreichischen Bundesforste (Öbf) stellt mit rund 510.000 Hektar (14% des Gesamtwaldes) den größten Waldeigentümer und gleichzeitig Forstbetrieb Österreichs dar. Über staatliche Unternehmen wie etwa den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) oder der Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) verfügt der Bund über weitere Waldflächen. Die auf dem Landesgebiet Wiens befindlichen Waldflächen sind zu einem Großteil (77%) im Eigentum des Landes Wien. Dieser Anteil an Landeswald ist im Vergleich zur gesamtösterreichischen Betrachtung (1%) sehr hoch. Mit rund 1.133 Hektar befinden sich rund 13 Prozent der Waldflächen in Wien in Besitz der Öbf. Die restlichen Flächen sind Privatwald. Der folgenden Tabelle sind die genauen Eigentumsverhältnisse des österreichischen Waldes zu entnehmen:

Tabelle 3: Besitzverhältnisse des österreichischen Waldes (Erhebungsjahr 2012)

	Österreich		Wien	
	Fläche in Hektar	Anteil an Gesamtwaldfläche	Fläche in Hektar	Anteil an Gesamtwaldfläche
Insgesamt	3.646.382	100,00%	9.025	100%
Privatwald unter 200 ha	1.829.002	50%	110	1%
Privatwald über 200 ha	797.693	22%	810	9%
Gemeinschaftswald	346.728	10%	0	0%
Gemeindewald	80.169	2%	0	0%
Landeswald	46.301	1%	6.972	77%
Österreichische Bundesforste und sonstiger im öffentlichen Eigentum stehender Wald	546.489	15%	1.133	13%

Quelle: BMLFUW 2015a, S. 104 und eigene Berechnung auf Basis des WEP

4. KLIMATISCHE ASPEKTE

Dieses Kapitel soll einen Überblick zu allgemeinen klimatischen Aspekten geben. Darüber hinaus sollen die speziellen klimatischen Bedingungen in Städten wie auch im Wald bzw. Freiland und dessen Wechselwirkungen aufgezeigt werden.

4.1. Klima Allgemein

Für den Begriff Klima gibt es eine Vielzahl von Definitionen und es werden nach wie vor neue Definitionen entwickelt. Eine allgemeingültige Definition von Klima gibt es nicht. Eine häufig zitierte Definition des Klimas ist jene von W. Köppl aus dem Jahr 1923: „Unter Klima verstehen wir den mittleren Zustand und gewöhnlichen Verlauf der Witterung an einem Ort.“ (MALBERG 2013, S. 261) Anhand dieser Aussage lässt sich die Wichtigkeit der räumlichen und zeitlichen Dimensionen in der Definierung des Klimas erkennen. Eine ebenfalls gängige und aktuellere Definition von Klima lautet wie folgt: „Klima ist die statistische Beschreibung der relevanten Klimaelemente, die für einen Standort, eine Region oder global für eine nicht zu kleine zeitliche Größenordnung die Gegebenheiten und Variationen der Erdatmosphäre hinreichend ausführlich charakterisiert.“ (BAMMEL et al. 2009, S. 171) Auch hier werden die räumlichen und zeitlichen Aspekte hervorgehoben. Der wesentliche Unterschied der neueren Definition liegt darin, dass alle Variationen der atmosphärischen Prozesse beschrieben werden sollen. Es sollen also nicht nur die gewöhnlichen Gegebenheiten sondern auch Extremwerte wie etwa Hitzeperioden in der Definition eines Klimas berücksichtigt werden.

Das Klima wird durch die sogenannten Klimaelemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Bewölkung und Strahlung beschrieben. Bei der Abgrenzung von Wetter, Witterung und Klima ist der zeitliche Beobachtungsrahmen entscheidend. Während man beim Wetter von einer zeitlichen Dimension von Stunden bis Tagen, bei der Witterung von Tagen bis Monaten ausgeht, ist der gängige Beobachtungsrahmen beim Klima in der Regel 30 Jahre. Diese (Klima-)Periode von 30 Jahren soll bei der Beobachtung von Klimaphänomenen nach der WMO (World Meteorology Organisation) nicht unterschritten werden, denn dieser Zeitraum erlaubt eine Erfassung aller wesentlichen Zustände und Vorgänge und ist dabei nicht zu lang um einzelne Ereignisse aufgrund der Mittelung zu unterdrücken (MALBERG 2013, S. 273).

Grundsätzlich kann das Klima aufgrund der eintreffenden Strahlungsenergie der Sonne in von der geografischen Breite abhängige Klimazonen unterteilt werden. Grob betrachtet kann man also von einer Nord-Süd-Gliederung der Klimazonen ausgehen. Bei genauerer Betrachtung erkennt man jedoch, dass die Klimazonen keineswegs gleichmäßig auf der Nord-Süd-Achse verteilt sind und es durchaus auch in Ost-West-Ausdehnung verschiedene Klimazonen gibt. Die am weitesten verbreitete Klimaklassifizierung stammt von W. Köppen, welche fünf Klimazonen und elf Klimatypen beschreibt. Diese Klimazonen sind wie folgt definiert:

Tabelle 4: Klimazonen und -typen der Erde nach Köppen

A	Tropisches Klima	Af	tropisches Regenwaldklima
		Aw	Savannenklima
B	Trockenklima	BS	Steppenklima
		BW	Wüstenklima
C	Warmgemäßigtes Klima	Cw	warmes wintertrockenes Klima
		Cs	warmes sommertrockenes Klima
		Cf	feuchtgemäßigtes Klima
D	Boreales oder Schnee-Wald-Klima	Dw	wintertrockenkalttes Klima
		Df	winterfeuchtkalttes Klima
E	Schneeklima	ET	Tundrenklima
		EF	Klima ewigen Frostes

Quelle: MALBERG 1997, S. 273

Auf räumlicher Ebene kann grundsätzlich zwischen Mikro-, Meso- und Makroklima unterschieden werden. Oft wird in der Literatur auch eine vierte Kategorie, das Weltklima, angegeben. Dazu zählen die Mittel- und Extremwerte aller meteorologischen Parameter über die gesamte Erde gemittelt. Es wird also weltweites Beobachtungsmaterial herangezogen. Zu den Makroklimaten sind die einzelnen Klimazonen zu zählen, also große Gebiete mit ähnlichen klimatischen Bedingungen (z.B. Steppenklima, Wüstenklima etc.).

Unter Meso- oder teilweise auch Geländeklima genannt versteht man eine räumlich begrenzte Klimabesonderheit, deren Ursache in der Topographie, Bodenart, Bodenbedeckung, Vegetation oder Bebauung des betrachteten Gebietes liegt. Solche Klimate können sich beispielsweise in Gebirgen, größeren Siedlungen und Städten oder Wäldern einstellen. Bei

dem für diese Arbeit wichtigen Stadtklima handelt es sich also um ein Mesoklima. Bei der Betrachtung von kleinen Bereichen wie etwa einem einzelnen Acker oder einem städtischen Park spricht man von einem Mikroklima.

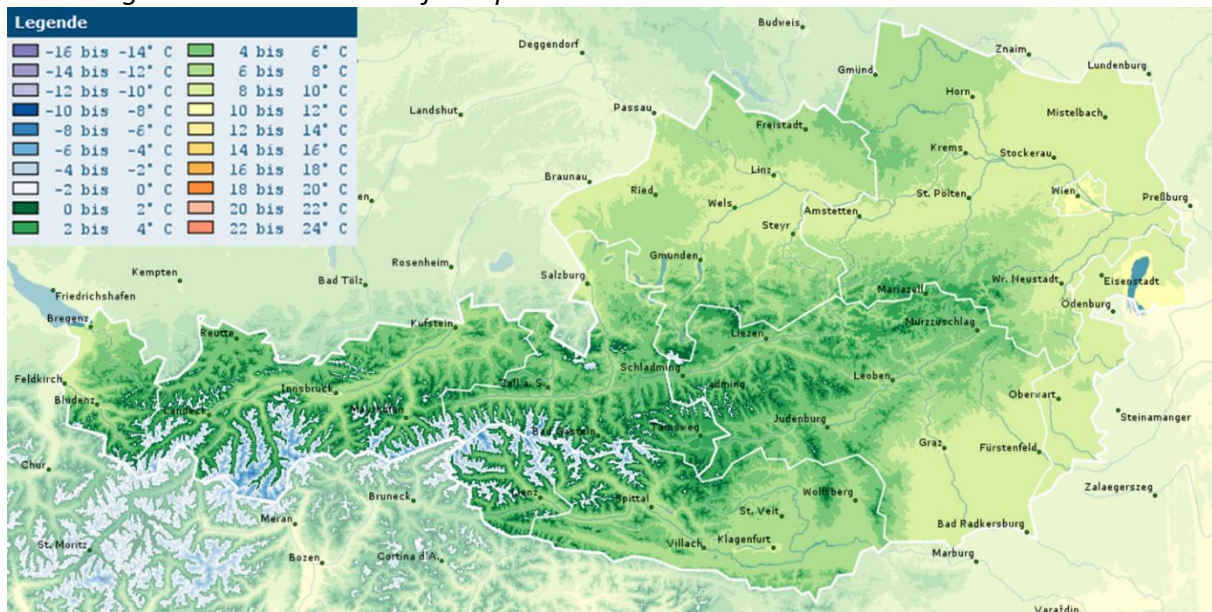
4.2. Klima in Österreich

In Österreich herrscht grundsätzlich ein warm- bis kühlgemäßigtes Klima mit überwiegend humiden Bedingungen vor (HARLFINGER & KNEES 1999, S. 15). Das Klima in Österreich kann jedoch nicht als einheitlich betrachtet werden, sondern wird regional von ozeanischen, kontinentalen und mediterranen Einflüssen geprägt. Der Großteil der Fläche Österreichs (53%) weist ein feuchtgemäßigtes Klima (*Cf* nach Köppen) auf. Bei diesen Flächen handelt es sich vorwiegend um den ozeanisch geprägten Norden und Westen Österreichs. Weitere 27 % der Fläche weisen ein warmes sommertrockenes Klima (*Cs*) auf. Diese Flächen sind die östlichen, pannonisch bzw. kontinental geprägten Gebiete Österreichs, welche sich durch geringe Niederschlagsmengen und warme Sommer kennzeichnen. Die restlichen vorwiegend inneralpinen Flächen weisen boreales-, Tundren- bzw. Frostklima (*Df, ET, EF*) auf.

Temperatur

Die Spannweite des Jahresmittels der Lufttemperatur reicht in Österreich von über 11 °C in der Innenstadt von Wien bis unter -5 °C auf dem Sonnblick auf einer Seehöhe von ca. 3.100 Meter. Österreichweit liegt die mittlere jährliche Lufttemperatur im Durchschnitt zwischen 5 und 6 °C. Die Jahresmittel in den größten Städten bewegen sich zwischen etwa 8 und 11 °C. Bezogen auf die Landeshauptstädte stellt Klagenfurt mit einem Jahresmittel von 7,9 °C die „kälteste“ und Wien mit 11,2 °C die „wärmste“ Landeshauptstadt dar (ZAMG 2015, online). In Abbildung 6 sind die Jahresmittel der Lufttemperatur in Österreich dargestellt. Dabei zeigt sich, dass gerade in den großen Siedlungsbereichen und dabei vor allem den Landeshauptstädten wo ein Großteil der Bevölkerung lebt die Temperaturen am höchsten sind. Dies lässt darauf schließen, dass die Bewohner dieser Gebiete auch tendenziell höheren thermischen Belastungen ausgesetzt sind als in den weniger besiedelten Gebieten und der lokalen Klimaregulierung durch siedlungsnahen Waldflächen daher eine besondere Bedeutung zukommen kann.

Abbildung 6: Jahresmittel der Lufttemperatur in Österreich



Quelle: HIEBL et al. 2011; ZAMG 2016, online

4.3. Stadtklima

4.3.1. Merkmale des Stadtklimas

Das Klima einer Stadt ist grundsätzlich in das global bzw. regional vorherrschende Klima eingebettet. Städte und das sie umgebende Freiland weisen jedoch nachweislich klimatische und lufthygienische Unterschiede auf. Diese klimatischen Unterschiede in Städten können allgemein unter dem Begriff „Stadtklima“ zusammengefasst werden. Als Stadtklima versteht man außerdem ein mit der Bebauung in Wechselwirkung stehendes Mikro- und Mesoklima. Zusätzlich wird das Klima von Städten durch die technische Produktion von Abwärme (Verkehr, Fabriken, Kraftwerke, etc.) beeinflusst (KUTTLER 2008a, S. 193). Das Stadtklima charakterisieren dabei mehr oder weniger starke Veränderungen aller Klimatelemente, wie die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeiten, kurzweilige Solarstrahlung und langweilige Ausstrahlung (KUTTLER 2008b, S. 194). Einen Überblick zu den unterschiedlichen Ausprägungen der einzelnen Klimatelemente gibt Tabelle 5. Die beiden folgenden Kapitel behandeln die wesentlichen Ursachen des Stadtklimas sowie das Phänomen der städtischen Wärmeinsel. Es ist darauf hinzuweisen, dass in den folgenden Ausführungen die, in der einschlägigen Literatur gängige, Temperatureinheit Kelvin (K) anstatt Grad Celcius (C°) verwendet wird.

Tabelle 5: Ausgewählte Charakteristik des Stadtklimas einer Großstadt in mittleren Breiten

Einflussgrößen	Veränderung gegenüber dem nicht verbauten Umland
Wärmespeicherung im Untergrund und Bauwerken	bis +40%
Lufttemperatur - Jahresmittel - Winterminima - In Einzelfällen	~ +2 K bis +10 K bis +15 K
Wind - Geschwindigkeit - Richtungsböigkeit - Geschwindigkeitsböigkeit	bis -20% stark variierend erhöht
Relative Luftfeuchtigkeit	geringer
Niederschlag - Regen - Schnee - Tauabsatz	mehr (leeseitig) weniger weniger
Luftverunreinigungen	mehr
Bioklima - Vegetationsperiode - Thermischer Wirkungskomplex	bis zu 10 Tage länger höhere Anzahl an Sommer- und Hitzetagen sowie warmer Nächte
Dauer der Frostperiode	bis – 30%

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von KUTTLER 2004, S. 3

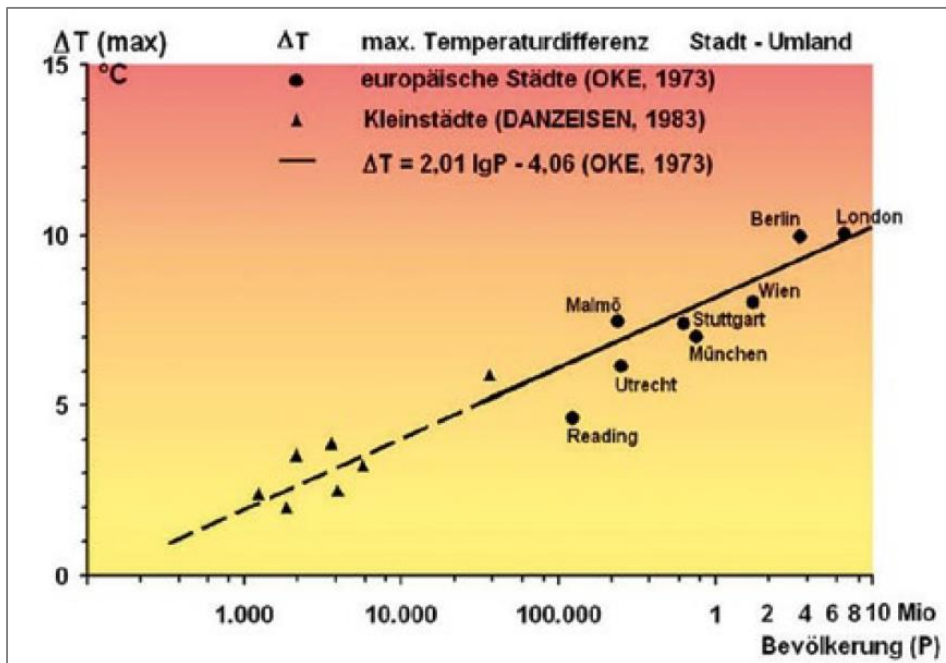
4.3.2. Städtische Wärmeinsel

Der für die vorliegende Arbeit wichtigste klimatische Unterschied liegt in der erhöhten Lufttemperatur in Städten. Die Jahresmittellufttemperaturen können zwischen 1 und 2 Kelvin (K) höher sein als jene im Umland. Je nach Stadtgröße und –struktur sowie der Jahreszeit und Wetterlage können diese Unterschiede jedoch auch deutlich höher ausfallen. Diese Unterschiede sind dabei in Strahlungsnächten, also Nächten mit geringer Bewölkung und einer hohen terrestrischen Ausstrahlung, besonders ausgeprägt. So können in Einzelfällen und über kurze Zeit die Temperaturunterschiede von Stadt und Umland nachts bis zu 15 K betragen (KUTTLER 2008a, S. 195).

Abbildung 7 zeigt diesbezüglich die maximalen Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland einiger europäischer Groß- sowie Kleinstädte. Der Zusammenhang zwischen der Stadtgröße, welche sich hier über die Einwohnerzahl definiert, und dem maximalen

Temperaturunterschied lässt sich dabei gut erkennen. In großen Millionenstädten wie Berlin oder London können die Temperaturunterschiede über 10 K betragen. Aber auch in kleineren Millionenstädten wie etwa in Wien sind Temperaturunterschiede von bis zu 8 K beobachtet worden. Deutlich sichtbar wird auch, dass bereits kleinere Gemeinden und Städte (1.000 – 10.000 EW) erhöhte Temperaturen im Vergleich zu deren Umland aufweisen.

Abbildung 7: Beobachtete maximale Temperaturunterschiede in ausgewählten europäischen Städten



Quelle: REUTER & KAPP 2012, S. 26

Dieses klimatische Phänomen der städtischen Überwärmung wird meist als städtische Wärmeinsel oder Urban Heat Island (UHI) bezeichnet und stellt den am meisten erforschten und nachweisbaren städtischen Klimaeffekt dar (EHRNLEITNER 2013, S. 5). Die städtische Wärmeinsel lässt sich mit folgender Formel beschreiben:

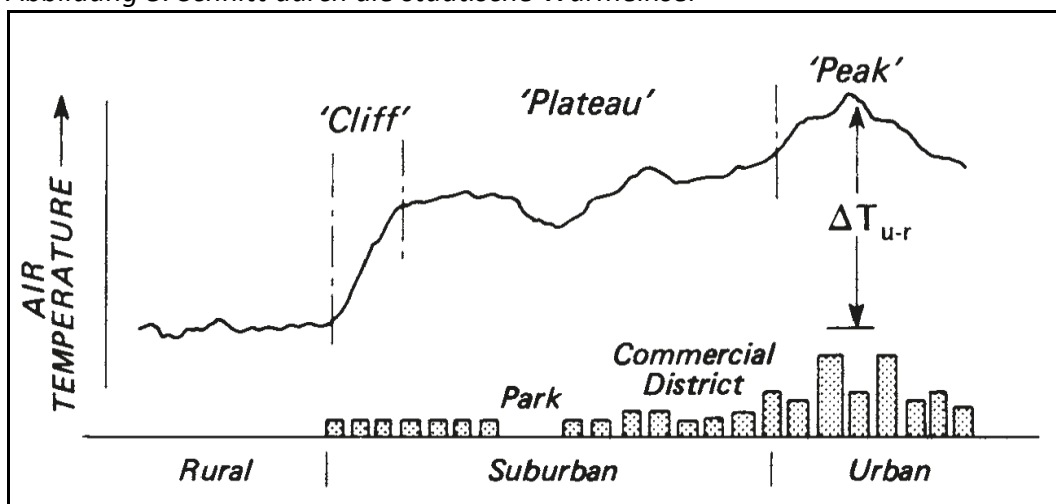
$$\Delta T = T_{Stadt} - T_{Umland}$$

Dabei beschreibt:

- ΔT Wärmeinselintensität
- T_{Stadt} Temperatur der städtischen Luft
- T_{Umland} Temperatur der Luft im städtischen Umland

Der Begriff Insel kommt daher, da es sich um eine inselartige städtische Überwärmung welche von einem kühleren Umland umgeben wird, handelt. Das Wort „Insel“ darf dabei jedoch nicht zu wörtlich verstanden werden, da es durchaus auch innerhalb des Stadtgebietes zu Temperaturunterschieden kommt. Es herrschen also auch innerhalb der Stadt keine gleichmäßig verteilten thermischen Bedingungen. So können laut Upmanis et al. die Temperaturunterschiede zwischen innerstädtischen Parkflächen und der umgebenden Bebauung zwischen 1,5 und 4 K und laut Spronken-Smith und Oke im Extremfall 7 K betragen (beide in ELIASSON & UPMANIS 2000, S. 95). Abbildung 8 zeigt die beispielhafte horizontale Temperaturverteilung über städtischem Gebiet. Gut zu erkennen ist, dass im Stadtzentrum die höchsten Temperaturunterschiede auftreten und über weniger dicht bebauten Stadtgebieten und landschaftlich geprägten Flächen die Intensität der Wärmeinsel geringer ausfallen. Durch die aktuell voranschreitende Urbanisierung der Städtränder und dem generellen Städtewachstums wird sich der städtische Wärmeinseleffekt in Zukunft weiter verstärken (CHEN ET AL. 2014, S. 1).

Abbildung 8: Schnitt durch die städtische Wärmeinsel



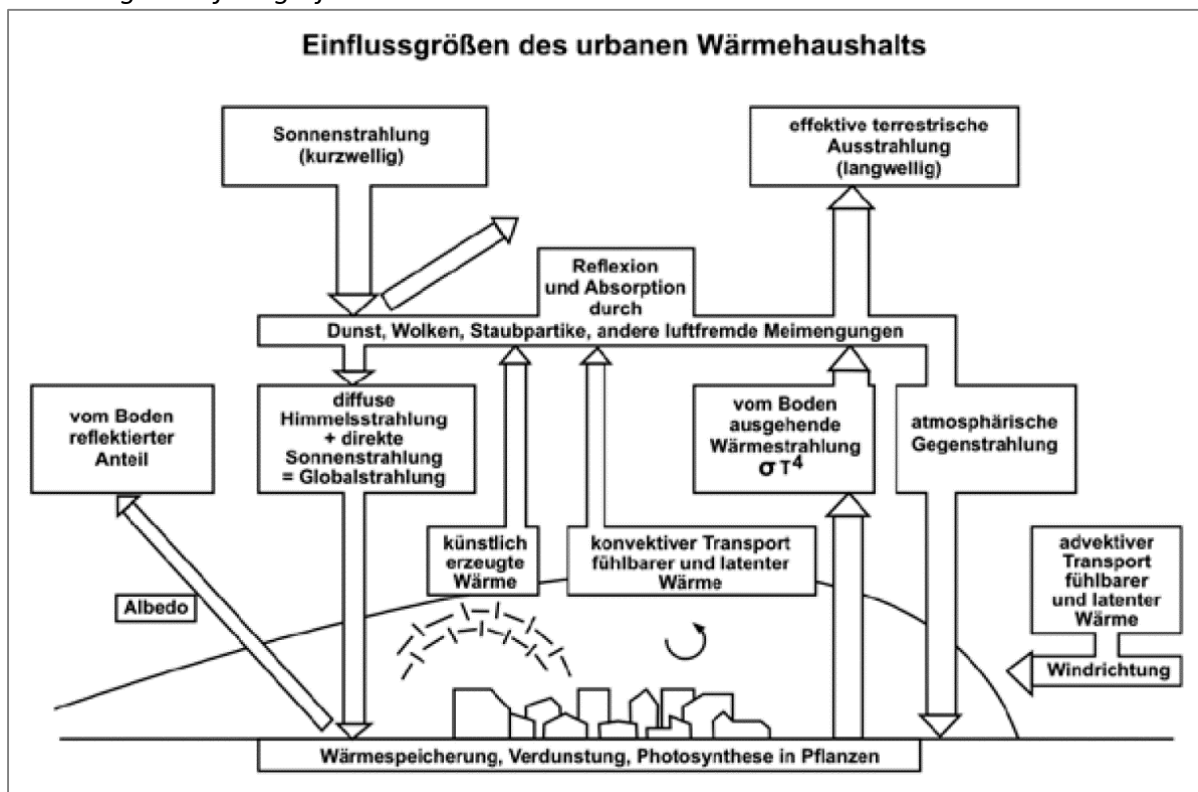
Quelle: OKE 1987, S. 313

4.3.3. Ursachen des Stadtklimas

Die Ursachen des Stadtklimas sind vielfältig und hängen stark von der Größe und Struktur der betrachteten Stadt ab. Dabei spielen sowohl makroskalige als auch meso- und mikroskalige Faktoren eine Rolle. Auf der makroskaligen Ebene sind die Breitenlage bzw. die Klimazone, die Oberflächenbeschaffenheit sowie die Nähe der Stadt zu großen Wasserflächen wie etwa Meeren oder Seen, die ausschlaggebenden Faktoren. Zu den meso- und mikroskaligen Einflüssen zählen vor allem die Stadtgröße und Einwohnerzahl, der Vegetationsanteil und der

damit in Zusammenhang stehende Versiegelungsgrad, die Bauungsstruktur und Gebäudematerialien sowie die Menge an technisch produzierter Abwärme. Die Hauptursache in der Ausbildung eines Stadtklimas liegt aber immer in der durch Verbauung hervorgerufenen massiven Veränderung des Wärme- und Wasserhaushalts sowie des örtlichen Windfeldes eines Ortes (REUTER & KAPP 2012, S. 23). Abbildung 9 stellt dazu die Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts schematisch dar.

Abbildung 9: Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts



Quelle: REUTER & KAPP 2012 nach ROBEL et al., 1978

Aufgrund der meist über Großstädten durch Schadstoffeintrag entstehenden Dunstglocke kommt es zu veränderten Strahlungsverhältnissen. Die Globalstrahlung in Städten, welche sich aus Sonnen- und Himmelsstrahlung zusammensetzt, kann um bis zu 10 % geringer sein als im Umland. Sprich es kommt grundsätzlich weniger Strahlungsenergie an. Jedoch erhöht sich die Gegenstrahlung wiederum aufgrund der Dunstglocke um bis zu 10 %, was den Effekt des geringeren Eintreffens der Globalstrahlung also ausgleicht (KUTTLER 2004, S. 4).

Die städtischen Baumassen sowie Oberflächen speichern bzw. absorbieren die einfallende Strahlungsenergie in Form von Wärme und geben diese verhältnismäßig langsam ab. Dadurch kommt es auch noch in der Nacht zu einer erhöhten Wärmezufuhr in die Stadtatmosphäre, was wiederum die Abkühlung der Lufttemperaturen verringert. In dichten Gebäudebeständen mit ausgeprägten Horizontverengungen kommt es außerdem zu einer geringeren Wärmeausstrahlung, was sich wiederum negativ auf die nächtliche Abkühlung auswirkt. Andererseits kommt es im Bereich von hohen Gebäuden zu thermisch günstigen Verschattungseffekten (REUTER & KAPP 2012, S. 29).

Aufgrund der Anordnung von Gebäuden und der erhöhten Rauigkeit der Stadtoberfläche kommt es zu geringeren mittleren Windgeschwindigkeiten. Dadurch ergeben sich aber auch Probleme bei der Kalt- und Frischluftzufuhr vom Umland in das Stadtgebiet (SCHWAB & STEINICKE 2003, S. 1).

Durch die Oberflächenversiegelung und dem damit verbundenen geringeren Vegetationsanteil in Städten kommt es zu einer geringeren Verdunstung und einem schnelleren Abfluss von (Regen-)Wasser, was zu einer Erhöhung der Luft- und Oberflächentemperaturen und gleichzeitig zu einer Verringerung der relativen Luftfeuchtigkeit beiträgt. Folgende Tabelle stellt zusammenfassend die Einflussfaktoren für das Stadtklima dar:

Tabelle 6: Ursachen des Stadtklimas

Stadtmerkmal	Ausprägung	Verstärkende Klimawirkung gegenüber Umland
Urbane Baustrukturen und ihre räumliche Anordnung (Art, Größe, Ausrichtung)	Hochbauweise mit zahlreichen Flächen verschiedener Exposition Strömungshindernisse Größere aerodynamische Oberflächenrauigkeit	Beeinflussung des Strahlungshaushalts durch: <ul style="list-style-type: none"> - Erhöhte Absorption kurzwelliger Strahlung, geometriebedingt verstärkte Mehrfachreflexion der solaren Strahlung - Verminderte langwellige Strahlungsverluste durch Horizontüberhöhung - Hoher Bodenwärmestrom - Abkühlende Abschattungseffekte, mechanische und thermische Turbulenzen, Zug- und Böigkeitserscheinungen durch Kanalisierung der Luftströmung sowie Verwirbelung an Gebäudekomplexen bei windstarken Situationen Beeinflussung des Windfeldes durch: <ul style="list-style-type: none"> - Geringere mittlere Windgeschwindigkeit, häufigeres Auftreten von Windstille bei sommerlichen autochthonen Wetterlagen, höhere Anzahl an Schwachwindstunden, Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches, verminderter Wärmeabtransport (-20%) als Folge bei Inversionswetterlagen → Bildung verunreinigungsbedingter Dunstglocken
Großflächige Versiegelung Reduzierte oder fehlende Vegetationsbedeckung Direkte Wasserableitung in die Kanalisation		<ul style="list-style-type: none"> - Verminderte Verdunstung (-60%) → Anteil an nicht verbrauchter Wärmemenge steht für zusätzliche Erwärmung der Stadtatmosphäre zur Verfügung - Verringerung der Luftfeuchtigkeit und somit niedrigere relative Luftfeuchte (-10%) aufgrund eingeschränkter Evapotranspiration der Pflanzen - Sommersituation: Wärmegewitter mit starkem Niederschlag → geringe Abkühlungswirkung, da schneller Abfluss des für die Verdunstung zur Verfügung stehenden Wassers
Eigenschaften der Baumaterialien (Ziegel, Beton, Asphalt, Kies, Glas, Metalle)	wasserundurchlässig	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderte Reflexion der solaren Strahlung, veränderte Emissionen der terrestrischen Strahlung, größere Wärmekapazität, größere Wärmeleitfähigkeit, erhöhter sensibler Wärmestrom und Wärmespeicherung (+50%) gekennzeichnet durch nächtliche Sommerwärme ohne Abkühlungseffekte
Emittenten (Wohnen, Industrie, Gewerbe, Verkehr)	Luftverunreinigungen (Staub, Abgase)	<ul style="list-style-type: none"> - Freisetzung von Wärme, Wasserdampf und Luftverunreinigungen in Verbindung mit verminderter Durchlüftung → hohe Konzentration von Luftschadstoffen und Ozon (Sommersmog), geringere Durchlässigkeit der Stadtatmosphäre für solare Strahlung, stärkere Absorption und Emission von langwelliger Strahlung, erhöhte photochemische Aktivität

Quelle: eigene Darstellung basierend auf MATHEY et al. 2012, S. 27

4.4. Wald- und Freilandklima und dessen Bedeutung für das Stadtklima

Wälder und Freiflächen im städtischen Bereich stellen wichtige klimatische Ausgleichsflächen dar und können als Kaltluftentstehungsgebiete dabei helfen lokale Temperaturextreme zu verhindern oder abzumildern. Wälder und Freiflächen können das lokale und regionale Klima dabei aufgrund verschiedener Mechanismen beeinflussen. Anders als bebaute Flächen sorgen Vegetationsflächen durch erhöhte Verdunstung und günstigeren Strahlungsverhältnissen für einen Temperatenausgleich, eine höhere Luftfeuchtigkeit und damit generell einem bioklimatischen Ausgleich welcher sich positiv auf das Stadtklima auswirken kann (MATHEY et al. 2012, S. 25).

4.4.1. Klimaregulierende Faktoren von Grünflächen und Vegetation

Das Wald- und Freilandklima unterscheidet sich bezüglich der thermischen Bedingungen im Wesentlichen aus folgenden Gründen von jenem des Stadtklimas:

- Geringerer Wärmeeindringungskoeffizient des Bodens
- Erhöhte Wasserspeicherung im Boden, der Biomasse und großen natürlichen Oberflächen (Blätterdach)
- Erhöhte Evapotranspiration
- Erhöhter turbulenter latenter Wärmestrom

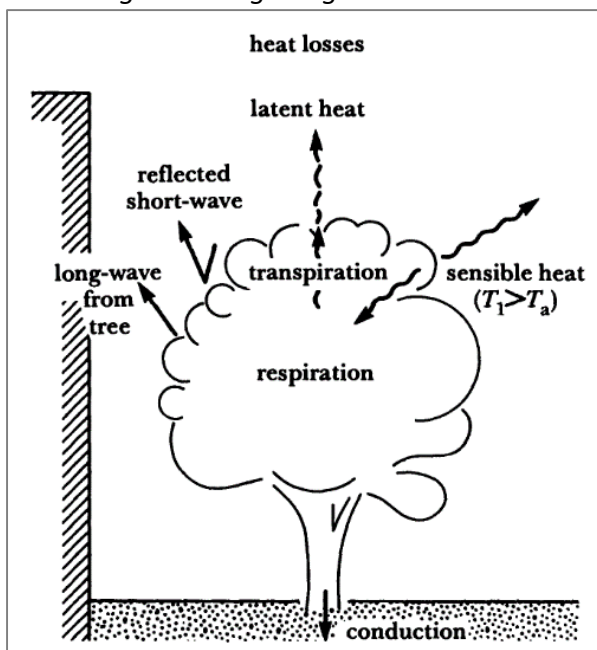
(BONGARDT 2006, S. 20; MATHEY et al. 2012)

Aufgrund des geringeren Wärmeeindringungskoeffizienten gegenüber künstlichen Bodenbelägen wird in natürlichen Böden weniger Energie bzw. Wärme gespeichert. Es kommt daher nachts zu einer höheren langwelligen Ausstrahlung (schnellerer Abgabe der gespeicherten Wärme an die Umgebung) als über städtischem Gebiet. Sobald die gespeicherte Wärme umgesetzt ist, beginnt sich die Oberfläche abzukühlen und in weiterer Folge die darüber befindlichen Luftschichten.

Ein weiterer Faktor für die kühleren Temperaturen über Wald- und Freiflächen ist die Verdunstung oder Evapotranspiration durch Vegetation und Boden. Das Wort

Evapotranspiration ist dabei ein Kunstwort aus Evaporation und Transpiration also der Verdunstungsleistung des Bodens und der Pflanzen. Durch die größere Menge an Wasser, welche in Wald- und Freilandböden gespeichert werden, kommt es gleichzeitig zu einer erhöhten Evapotranspiration, welche der Umgebung Wärmeenergie entzieht. Daraus resultierend erhöht sich der turbulente latente Wärmestrom, es wird also weniger sensible bzw. fühlbare Wärme produziert, was kühlend auf die Umgebung wirkt (BONGARDT 2006, S. 16 ff). Zur Veranschaulichung der Energiemengen, welche bei diesen Verdunstungsprozessen entstehen können soll folgendes Beispiel dienen: Die Europäische Kommission (2012) hat berechnet, dass es durch die Versiegelung von einem Hektar Grünland mit hohem Wasserspeichungsvermögen zu einem großen Verlust an Evapotranspiration kommt. Die Energie, die für diese Verdunstungsleistung benötigt würde, beträgt in etwa 2,5 Mio. kWh oder den Jahresenergieverbrauch von 9.000 Tiefkühlgeräten (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2012, S. 67). Bei einer Versiegelung einer solchen Fläche würde der Großteil der umgesetzten Energie anstatt in Verdunstungsenergie (latente Wärme) in fühlbare Wärmeenergie übergehen und damit eine erhebliche Erhöhung der Temperaturen verursachen. (BONGARDT 2006, S. 20) Die beschriebenen Prozesse, welche in Abbildung 13 zusammenfassend dargestellt sind, führen gemeinsam dazu, dass Wald- und Freiflächen ihrer direkten Umgebung Wärme entziehen bzw. diese abkühlen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Kaltluftproduktion.

Abbildung 10: Energieabgabe eines Baumes an dessen Umwelt



Quelle: OKE et al. 1989, S. 338

4.4.2. Klimatisches Stadt-Umland-Wirkungsgefüge

Die unterschiedlichen klimatischen und insbesondere thermischen Bedingungen von Stadt und Umland können zu einem Austauschprozess der Luft zwischen einzelner Teilflächen führen (HIDALGO et al. 2009, S. 1). Oft wird in diesem Zusammenhang auch von einem sogenannten Wirkungs- und Ausgleichsraum-Gefüge gesprochen. Wirkungsräume sind dabei bebaute städtische Flächen welche thermisch und/oder lufthygienisch belastet sind (siehe Kapitel 4.3 Stadtklima). Unbebaute Flächen, welche positive klimatische Wirkungen auf die belasteten Bereiche entfalten können, werden als Ausgleichsflächen bezeichnet. Im Bereich der Ausgleichsflächen wird aufgrund der vorhin erläuterten Prozesse Kaltluft produziert, welche bei einem entsprechenden Transport die negativen klimatischen Bedingungen in den Wirkungsräumen reduzieren kann. Als Kaltluft werden dabei Luftmassen bezeichnet, die im Verhältnis zur sie umgebenden Luft geringere Temperaturen aufweisen. Es handelt sich also nicht um absolut kalte sondern relativ kalte Luft. Eine Lufttemperatur von 30°C kann daher ebenfalls als Kaltluft bezeichnet werden, wenn seine Umgebungsluft beispielsweise eine Temperatur von 35°C aufweist. Kaltluft kann also zu jeder Jahreszeit entstehen (IMA 2013).

4.4.2.1. Kaltluftenstehungsgebiete

Wie bereits beschrieben, wird Kaltluft durch die Abkühlung der Erdoberfläche aufgrund einer negativen Energiebilanz gebildet. Durch den Energieverlust kühlt sich zuerst die Erdoberfläche ab und in weiterer Folge die darüber befindlichen Luftmassen (IMA 2013, S. 5). Die Entstehung von Kaltluft ist aufgrund der geringeren bzw. fehlenden kurzwelligen Strahlung (Sonnenein-, Himmels- und Reflexstrahlung) in den Abend- und Nachtstunden am stärksten ausgeprägt. Ebenfalls förderlich für die Kaltluftentstehung sind ein geringer Bewölkungsgrad sowie Hochdruckwetterlagen (IMA 2013, S. 5; SACHSEN 2013, S. 11). Bei einer geringen Bewölkung wird die vom Boden ausgehende langwellige Strahlung weniger reflektiert und kann großteils ungehindert ausstrahlen. Hochdruckwetterlagen weisen meist auch geringe Windgeschwindigkeiten auf, wodurch sich die zu kühlenden Luftmassen länger über den Kaltluft produzierenden Flächen befinden und dadurch über längere Zeit abgekühlt werden können. Außerdem kommt es nur zu einer geringen Durchmischung der bodennahen Luftschichten mit wärmeren umliegenden Luftschichten (IMA 2013, S. 5; MATZARAKIS 2001, S. 219). Solche Bedingungen werden wie bereits in Kapitel 4.3 Stadtklima erwähnt, als autochthone oder austauscharme Wetterlagen bezeichnet, welche meist während

Hitzeperioden vorherrschen. Bei einem Auftreten solcher Wetterlagen kommt der regionalen sowie lokalen Kaltluftentstehung und –verteilung daher eine erhöhte Bedeutung zu (GEO-NET CONSULTING GMBH 2012, S. 10).

Bei der Produktion von Kaltluft spielt die Bodenbedeckung eine entscheidende Rolle. Dabei weisen natürliche Bodenbedeckungen grundsätzlich die günstigsten Bedingungen für eine Kaltluftentstehung auf. Aber auch natürliche Oberflächen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Kaltluftproduktion, wobei diese maßgeblich von der Bodenfeuchte, dem Bewuchs, der Bestandshöhe- und dichte der Vegetation, der Geländeform sowie der Exposition abhängen (MATHEY et al. 2012, S. 37; SACHSEN 2013, S. 9). Mathey et. al. (2012) definieren in diesem Zusammenhang die Kaltluftentstehung bzw das Kühlungspotenzial einzelner Freiflächen u.a. anhand deren spezifischer Grünvolumendichte. Die spezifische Grünvolumendichte beschreibt dabei das Verhältnis einer Referenzfläche (in der Regel m^2) und dem darauf vorherrschenden Grünvolumen (in der Regel m^3). Tabelle 7 veranschaulicht dazu die Kaltluftproduktionspotenziale verschiedener Bodenbedeckungen und Vegetationsstrukturen mit unterschiedlichen spezifischen Grünvolumendichten.

Die höchste Kaltluftproduktion weisen unversiegelte Freiflächen ohne hohe Vegetation auf. Auf verbauten städtischen Flächen ist das Potenzial zur Kaltluftproduktion dagegen stark reduziert (IMA 2013, S. 5). Aufgrund des Blätterdaches von Wäldern ist der Wärmeumsatz am Waldboden bzw. dem Stammraum tagsüber geringer als über Freilandböden wie etwa Wiesen oder Äckern, was besonders in den Abend- bzw. frühen Nachstunden zu einem hohen Kaltluftvolumen über Waldflächen führen kann. Im weiteren Nachtverlauf kühlen Waldflächen jedoch weniger stark ab als vegetationsärmere Freiflächen, was zu einer geringeren nächtlichen Kaltluftproduktionsrate führt. Durch die ausgleichende Wirkung auf den Tagesgang der Temperatur können stadtnahe Wälder dagegen auch tagsüber Kaltluft zugunsten des Stadtgebiets produzieren (siehe dazu auch Kapitel 4.4.3 Ausgleichsintensität und -Reichweite von Grünflächen und Kaltluftflüssen) (REUTER & KAPP 2012, S. 220). Neben dem Abkühlungsgrad, der je nach Bodenbedeckung zwischen 0,2 und 2 K pro Stunde betragen kann, spielt auch das Kaltluftvolumen eine wichtige Rolle für das Ausgleichspotential der Kaltluft. Über Freiflächen kann relativ schnell eine Kaltluftschicht von 10-20 Metern entstehen. Die Abkühlungsrate von Wäldern ist zwar geringer als die von Freiflächen jedoch entstehen über Wäldern mächtigere Kaltluftvolumen was sich positiv auf die Fernwirkung

auswirkt (MATHEY et al. 2012, S. 37). Die Maximale Abkühlung der Luft tritt in der Regel kurz vor Sonnenaufgang auf.

Tabelle 7: Wirksamkeit in Bezug auf die Kaltluftproduktion unterschiedlicher Bodenbedeckungen und Vegetationsstrukturen (-- sehr gering, - gering, o mittel, + hoch, ++ sehr hoch)

Bodenbedeckung/ Vegetations- struktur	Versiegelte Flächen	Teilversiegelte Flächen	Offene Böden	Ruderaie Pioniervegetation (geringe Deckung)	Rasen	Wiesen/Staudenfluren	Niedrige Gebüsche	Hohe Gebüsche, Baumgruppen	Wald	Gewässer mit Ufervegetation
Kaltluftentstehung	--	-	o	+	++	++	+	+	o	-

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von MATHEY et al. 2012, S. 37

4.4.2.2. Kaltlufttransport und lokale Windsysteme

Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass die lokal entstehende Kaltluft das Stadtklima erst durch den Abfluss bzw. Transport in die Wirkungsräume, also den bebauten und damit thermisch belasteten Gebieten, beeinflussen kann. Der Kaltluftabfluss kann dabei in Form von Berg- bzw. Hangwind- sowie Flurwindssystemen erfolgen (MATHEY et al. 2012, S. 37; MATZARAKIS 2001, S. 219).

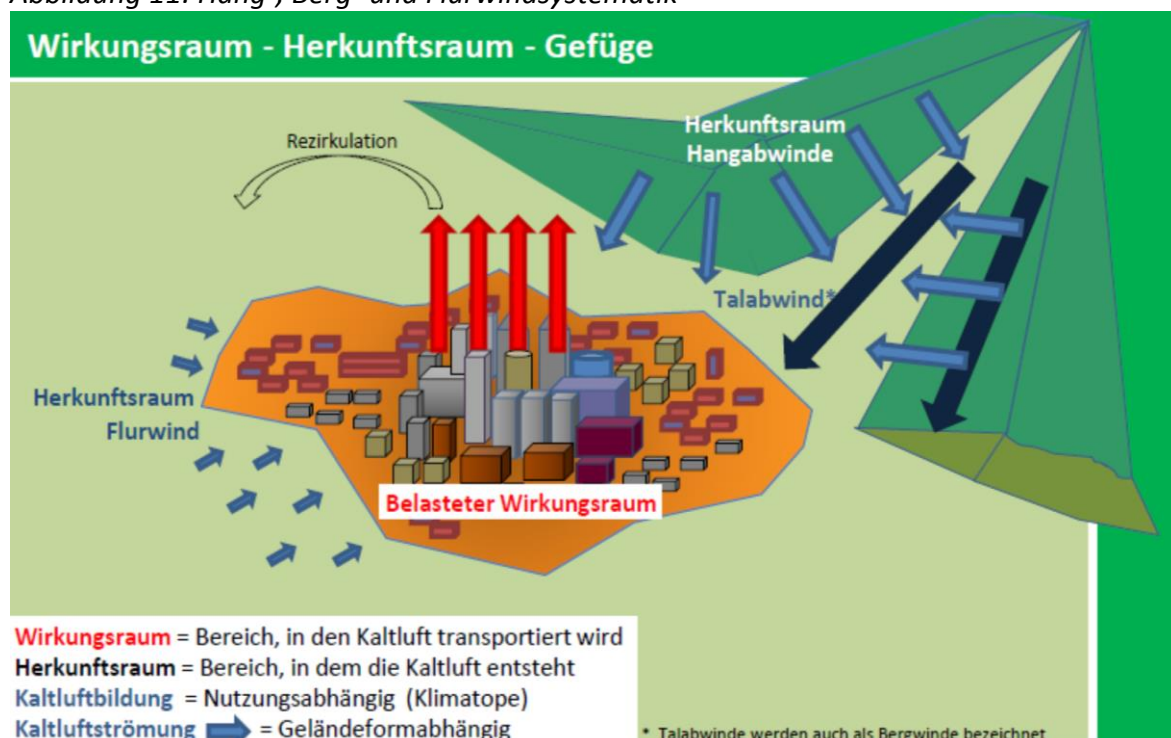
Kaltluftabflüsse in Form von Hang- bzw. Bergwinden entstehen auf geneigten Flächen ab einer Hangneigung von ca. ein bis zwei Grad, da die kühlere Luft im Vergleich zur wärmeren Luft eine höhere Dichte besitzt und sich daher in Bewegung setzt. Der Kaltluftabfluss stellt dabei meist keinen kontinuierlichen Wind dar, sondern erfolgt schubweise (IMA 2013, S. 7; MATHEY et al. 2012, S. 37). Die Intensität des Abflusses ist dabei von der Neigung des Geländes, des Dichte- bzw. Temperaturunterschiedes sowie dem Bewuchs und der Bebauung abhängig. Gebäude und auch hohe Vegetationsbestände können beispielsweise als Barrieren des Kaltluftabflusses wirken. Daher eignen sich besonders hindernisfreie Flächen als Kaltluftbahnen. Die tatsächliche Eignung einzelner Flächen als Kaltluftbahnen muss jedoch differenziert betrachtet werden. Dabei kommen vegetationsarme Grünflächen, (Ausfall-)

Straßen, Bahntrassen und Wasserflächen als potenzielle Transportwege in Frage. Grünflächen eignen sich insofern als besonders wirksame Kaltluftbahnen, da sie selbst auch zur Kaltluftproduktion beitragen und außerdem durch die Filterwirkung der Pflanzen zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen können. Bei Straßen und Bahntrassen ist darauf zu achten, dass Emissionsquellen im Bereich von Luftleitbahnen negative Einflüsse auf die Luftqualität der Stadt haben können. Stark befahrene Straßen und Bahntrassen mit Diesellokbetrieb sind daher nur bedingt als Luftleitbahnen geeignet. Wasserflächen sind grundsätzlich gut geeignete, Kaltluftbahnen können aber aufgrund der Abstrahlung von warmen Wasserkörpern den Kaltlufteffekt reduzieren (MATHEY et al. 2012, S. 38).

Neben den reliefbedingten Kaltluftströmungen kann es auch in Gebieten ohne Neigung durch die temperaturbedingten Druckunterschiede der Luft zwischen Stadt und Umland zu einem Ausgleichsprozess, dem Flurwind, kommen. Die wärmere städtische Luft steigt dabei auf und Kaltluft aus den Wald- und Freiflächen strömt nach (IMA 2013, S. 10).

Abbildung 11 veranschaulicht schematisch das Konzept der angesprochenen Windsysteme.

Abbildung 11: Hang-, Berg- und Flurwindssystematik



Quelle: IMA 2013, S. 11

4.4.3. Ausgleichsintensität und -Reichweite von Grünflächen und Kaltluftflüssen

Die Frage nach der Wirkungsintensität und der Reichweite der temperatursausgleichenden Wirkung durch Grünflächen und darauf entstehender Kaltluft kann nicht pauschal beantwortet werden, da diese stark situationsabhängig sind. MATHEY et al. (2012) weisen in diesem Zusammenhang auch darauf hin, dass aufgrund der Komplexität der klimatischen Prozesse die exakte Quantifizierung der Temperaturreduzierung durch Grünflächen problematisch sein kann. In diesem Kapitel soll daher ein Überblick des diesbezüglichen Forschungsstandes gegeben werden, welcher zum Teil auch die später folgenden Annahmen bei der ökonomischen Bewertung stützen sollen.

Es liegen zahlreiche Studien zur klimatischen Wirkung von städtischen Freiräumen sowie gesamtstädtische Klimaanalysen vor (BONGARDT 2006; DIMOUDI & NIKOLOPOULOU 2003; DOICK & HUTCHINGS 2013; GEO-NET CONSULTING GMBH 2012; GEO-NET CONSULTING GMBH 2014; LI et al. 2015; MASSON et al. 2013; MATHEY et al. 2012; OLIVEIRA et al. 2011; SACHSEN 2013; SCHWAB & STEINICKE 2003; ZUVELA-ALOISE 2013). Die verschiedenen Studien basieren dabei auf Messungen oder Simulationen im mikro- sowie mesoklimatischen Bereich und wurden unter verschiedensten Bedingungen durchgeführt (Tageszeit, Jahreszeit, Größe und Struktur der Grünflächen und Städte). In den mesoklimatischen Analysen wurde versucht großflächig klimatische Zusammenhänge von Grün- und Stadtflächen zu erklären. Die mikroklimatischen Untersuchungen beziehen sich dabei auf mehr oder weniger große innerstädtische Parkanlagen und nicht auf große zusammenhängende Wald- oder Wiesenflächen im Stadtumland. Kleinere innerstädtische Grünflächen haben dabei weniger Bedeutung für großflächige gesamtstädtische Luftaustauschprozesse, sind für das Klima einzelner Stadtteile aber durchaus relevant und können im Verbund zu einem positiven gesamtstädtischen Einfluss beitragen. Außerdem eignen sich kleinere vernetzte Freiräume innerhalb der Stadt als Kaltluftschneisen (siehe Kapitel 4.4.2.2 Kaltlufttransport und lokale Windsysteme) (MATHEY et al. 2012, S. 40). Daher sollen einige der Ergebnisse zu kleineren städtischen Grünflächen hier dargestellt werden. Die Ergebnisse der Studien variieren zwar zum Teil stark, können aber alle positive thermische (kühlende) Effekte von Grünflächen auf das Stadtklima nachweisen.

Der nachweisliche Temperaturunterschied zwischen kleineren innerstädtischen Grünflächen und der bebauten Umgebung wird in der Literatur meist als Park Cool Island (PCI) bezeichnet und errechnet sich analog zur städtischen Wärmeinsel aus der Differenz der innerstädtischen

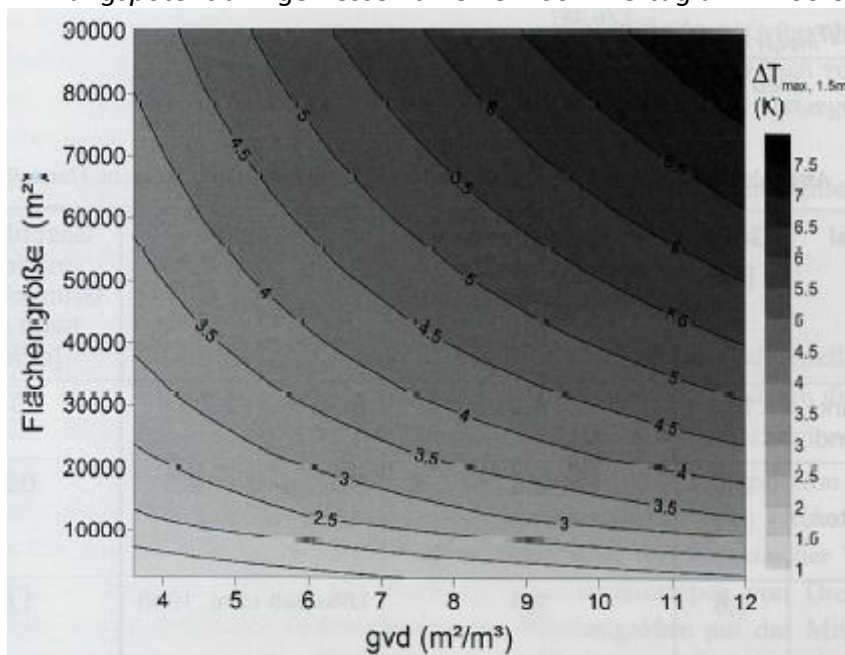
Grünfläche und dem überwärmten Stadtgebiet. Die Auswirkung der Kühlungsprozesse auf benachbarte Flächen wird dementsprechend als Park Breeze (PB) bezeichnet. Die Park Breeze folgt dabei gleichen Prinzipien wie die großräumigeren Kaltluftflüsse (Hang- bzw Flurwind). Die Intensität des PCI-Effektes sowie die Reichweite der PB hängen dabei stark von der Größe und Struktur der Grünfläche ab (BONGARDT 2006, S. 49 ff; DIMOUDI & NIKOLOPOULOU 2003, S. 42 ff). Der maximale Kühlungseffekt städtischer Grünflächen bewegt sich dabei je nach Größe von 2–6 K (siehe Tabelle 8) (BONGARDT 2006, S. 49 ff). Wobei eine messbar klimatische Beeinflussung erst ab einer Fläche von etwa einem Hektar (GILL et al. 2007, S. 129; MATHEY et al. 2012, S. 41) eintritt. Bezüglich der Struktur einer Grünfläche gilt je höher die Vegetationsausstattung bzw. die spezifische Grünvolumendichte (gvd) ist, desto höher ist das Wirkungspotential. Abbildung 12 zeigt dazu die Abhängigkeit von Grünvolumendichte (gvd), Flächengröße und dem Wirkungspotential. Diese Abhängigkeit wurde dabei von einer Simulation an einem Sommertag um 14:00 Ortszeit abgeleitet. Ein Hektar Waldfläche mit einem gvd von $7,7\text{m}^3/\text{m}^2$ besitzt demnach ein maximales Temperaturabsenkungsvermögen von 2,24 K. Dieser Wert steigt mit zunehmender Größe der Waldfläche an ist aber in Extremfällen auf maximal 10 K begrenzt. Als typisch gelten Temperaturunterschiede von bis zu 5 K zwischen Wald und Stadtgebieten (NOWAK UND CRANE 2002; LAF 1998 ZITIERT NACH MATHEY et al. 2012, S. 40). Auch Untersuchungen von LI et al. (2015) zu lokalen Kühlungs- und Wärmungseffekten von Waldflächen zeigen für gemäßigte Wälder, wie sie in Mitteleuropa vorkommen, einen Kühlungseffekt im Sommer sowie einen Wärmungseffekt im Winter. Über das Jahr gesehen überwiegen die Kühlungseffekte (LI et al. 2015, S. 1).

Tabelle 8: Beobachtete Wirkungsintensität und Reichweite städtischer Grünflächen nach Flächengröße

Größe der Grünfläche	Maximale Wirkungsintensität (PCI)	Reichweite (PB bzw Kaltluftfluss)
Städtische Grünflächen bis 5 Hektar	2,9 bis 4 K	20 bis 300 Meter
Städtische Grünflächen bis 20 Hektar	bis 2,5 K	0 bis 140 Meter
Städtische Grünflächen bis 100 Hektar	2 bis 2,5 K	50 bis 1000 Meter
Städtische Grünflächen über 100 Hektar	1,7 bis 6 K	100 bis 2000+ Meter

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BONGARDT 2006, S. 49 ff

Abbildung 12: Verhältnis von Vegetationsausstattung (gvd), Flächengröße und thermischem Wirkungspotential – gemessen an einem Sommertag um 14:00 Uhr



Quelle: MATHEY et al. 2012, S. 71

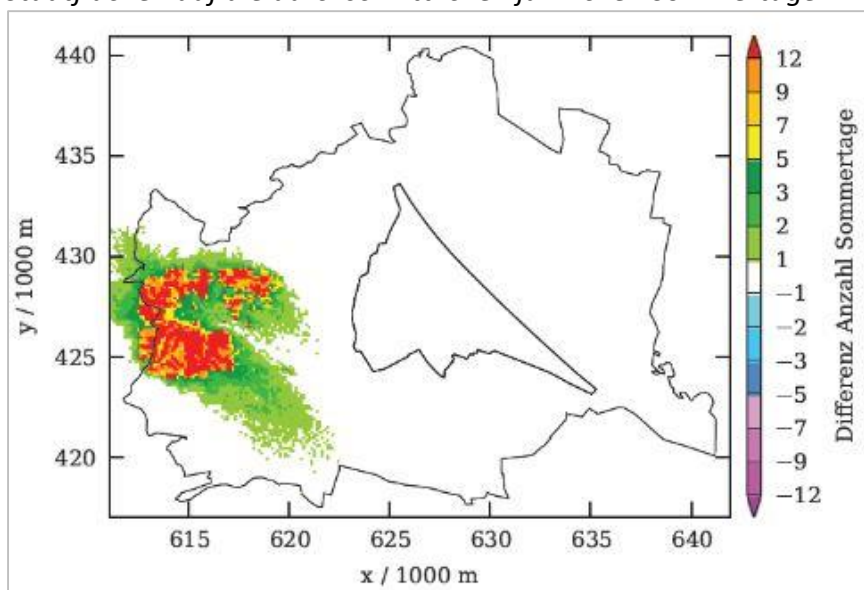
Die Reichweite der von Grünflächen ausgehenden Kaltluftflüssen (PB) variiert ebenfalls erheblich und bewegt sich im Bereich von wenigen Metern bis zu zwei Kilometer (BONGARDT 2006, S. 49ff). Größere Grünflächen (>100ha) entfalten dabei tendenziell größere Distanzwirkungen als kleinere (<100ha) (siehe Tabelle 8) (BONGARDT 2006, S. 49 ff). Für kleinere innerstädtische Grünflächen kann von einer begrenzten Reichweite von 200 bis 400 Meter in bebaute Flächen ausgegangen werden (BURKHARDT ET AL. 2008 ZITIERT IN MATHEY et al. 2012, S. 45). Untersuchungen zu großen städtischen Grünflächen (>100ha) in Mexiko Stadt, Berlin und Göteborg die zum Teil Stadtwaldcharakter haben, ergaben eine maximale Reichweite von 1.500 bis 2.000 Metern (BONGARDT 2006, S. 52).

Aussagen zu gesamtstädtischen Ausgleichswirkungen und Reichweiten von Grünflächen im regionalen Kontext stellen sich als noch problematischer dar als auf mikroklimatischer Ebene, da noch weitere Beeinflussungsfaktoren wie beispielsweise regionale Windsysteme, Geländeform, großräumige Wetterlage u.ä. hinzukommen (MASSON et al. 2013). Erkenntnisse dazu wurden hier aus Stadtklimaanalysen der Städte München, Göteborg, Paris und Wien bezogen. Dabei ist zu erwähnen, dass die Stadtklimaanalysen oftmals nur qualitative Aussagen zur Kaltluftdynamik und keine exakten Zahlen zur Temperaturreduzierung durch regionale Grünflächen bereitstellen.

Eine Stadtklimaanalyse der Stadt München von GEO-NET CONSULTING GMBH (2014) gibt die Eindringtiefe von Kaltluft aus stadtnahen Waldgebieten in bebaute Siedlungsflächen mit 1.500 Metern an (GEO-NET CONSULTING GMBH 2014, S. 16). Auch im Bereich eines stadtnahen Waldes in Göteborg wurde eine Distanzwirkung von rund 1.500 Metern beobachtet (ELIASSON & HOLMER 1990, S. 188). Eine stadtklimatische Simulation für die Stadt Paris kommt zu dem Ergebnis, dass eine Erhöhung des Waldanteiles rund um die Stadt um 30 % das gesamtstädtische Temperaturniveau um 2-3 K senken könnte (MASSON et al. 2013, S. 776).

In einer von ZUVELA-ALOISE (2013) veröffentlichten Studie wurden stadtklimatische Simulationen für die Stadt Wien erstellt. Dabei wurden stadtplanerische Szenarien und deren Auswirkungen auf das städtische Klima Wiens berechnet. Unter anderem wurde eine Urbanisierung bzw. die Verbauung eines Teiles des Wienerwaldes im Bereich des Lainzer Tiergartens simuliert und die zu erwartenden Veränderungen in der Anzahl der jährlich auftretenden Sommertage berechnet. Die größten Veränderungen sind dabei naturgemäß auf den tatsächlich verbauten Flächen zu erwarten. Es konnten außerdem merkliche Randwirkungen festgestellt werden. Stellenweise konnten demnach Veränderungen der thermischen Situation in bis zu 5 Kilometern Entfernung zum Standort der Landbedeckungsänderungen beobachtet werden (ZUVELA-ALOISE 2013, S. 16).

Abbildung 13: Auswirkungen einer Veränderung der Landbedeckung von Wald- zu Stadtflächen auf die durchschnittlichen jährlichen Sommertage in Wien



Quelle: Zuvella-Aloise 2013, S. 16

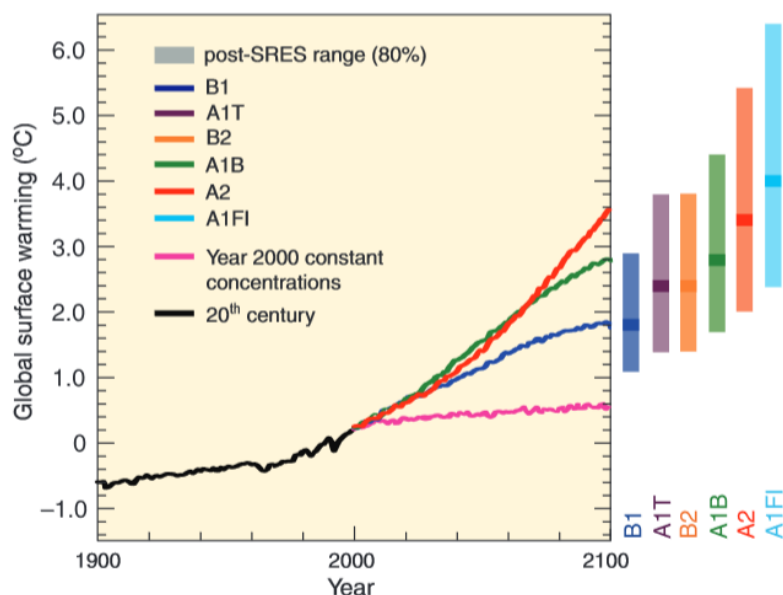
4.5. Exkurs: Zukünftiger Klimawandel

Obwohl sich die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Bewertung der lokalen Klimaregulierung auf die aktuell vorherrschenden klimatischen Bedingungen bezieht, soll dieses Kapitel einen kurzen Überblick zu zukünftigen Klimatrends und den damit in Verbindung stehenden Herausforderungen geben.

Der Klimawandel ist einer der großen Forschungsfelder im Bereich der Klimatologie und einer Vielzahl weiterer wissenschaftlicher Disziplinen. Auch auf politischer Ebene wird der Klimawandel verstärkt thematisiert. Gerade aufgrund der prognostizierten hohen Auswirkungen des Klimawandels auf Städte und Siedlungsräume hält er auch im Bereich der Raum- bzw. Stadtplanung verstärkt Einzug in das Forschungsgeschehen sowie der politischen Diskussion. Dies spiegelt sich in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen sowie internationalen, nationalen und kommunalen Anpassungsstrategien wieder. Für Österreich ist diesbezüglich das Klimaschutzgesetz und die *Österreichische Anpassungsstrategie an den Klimawandel* aus dem Jahr 2012 zu nennen. Und auch auf kommunaler Ebene wie etwa dem Wiener Stadtentwicklungsplan (STEP) oder dem Urban Heat Island – Strategieplan Wien sind klimatische Aspekte mittlerweile fest verankert.

Für die Stadtplanung und damit auch diese Arbeit spielt vor allem die mit dem Klimawandel assoziierte globale Erwärmung eine wesentliche Rolle. Abbildung 8 zeigt die prognostizierte globale Temperaturerhöhung bis zum Jahr 2100 in Abhängigkeit von verschiedenen Entwicklungsszenarien. Die Szenarien basieren dabei auf Einschätzungen der zukünftig zu erwartenden Emissionsentwicklung. Selbst das optimistischste Szenario, welches von einer allgemeinen Verringerung des globalen Schadstoffausstoßes ausgeht (B1), prognostiziert eine mittlere Temperaturerhöhung von 1–3 K. Das häufig für die Klimawandelforschung verwendete Szenario A1B geht von einer mittleren Erhöhung der Temperaturen um 1,6– 4,2 K bis ins Jahr 2100 aus. Städte und die darin lebende Bevölkerung sind dabei bereits jetzt stärker von hohen Temperaturen und Hitze betroffen als ländliche Gebiete. Dies ist auf die bereits betrachteten spezifischen stadtklimatischen Bedingungen zurückzuführen (siehe Kapitel 4.3 Stadtklima). Durch den Klimawandel hervorgerufene höhere Temperaturen können diese Problematik zukünftig noch verschärfen. Dabei tragen Städte paradoxerweise aufgrund der dort produzierten Emissionen und Treibhausgase maßgeblich selbst zur globalen Erwärmung bei.

Abbildung 14: Klimawandelszenarien bis 2100 nach IPCC

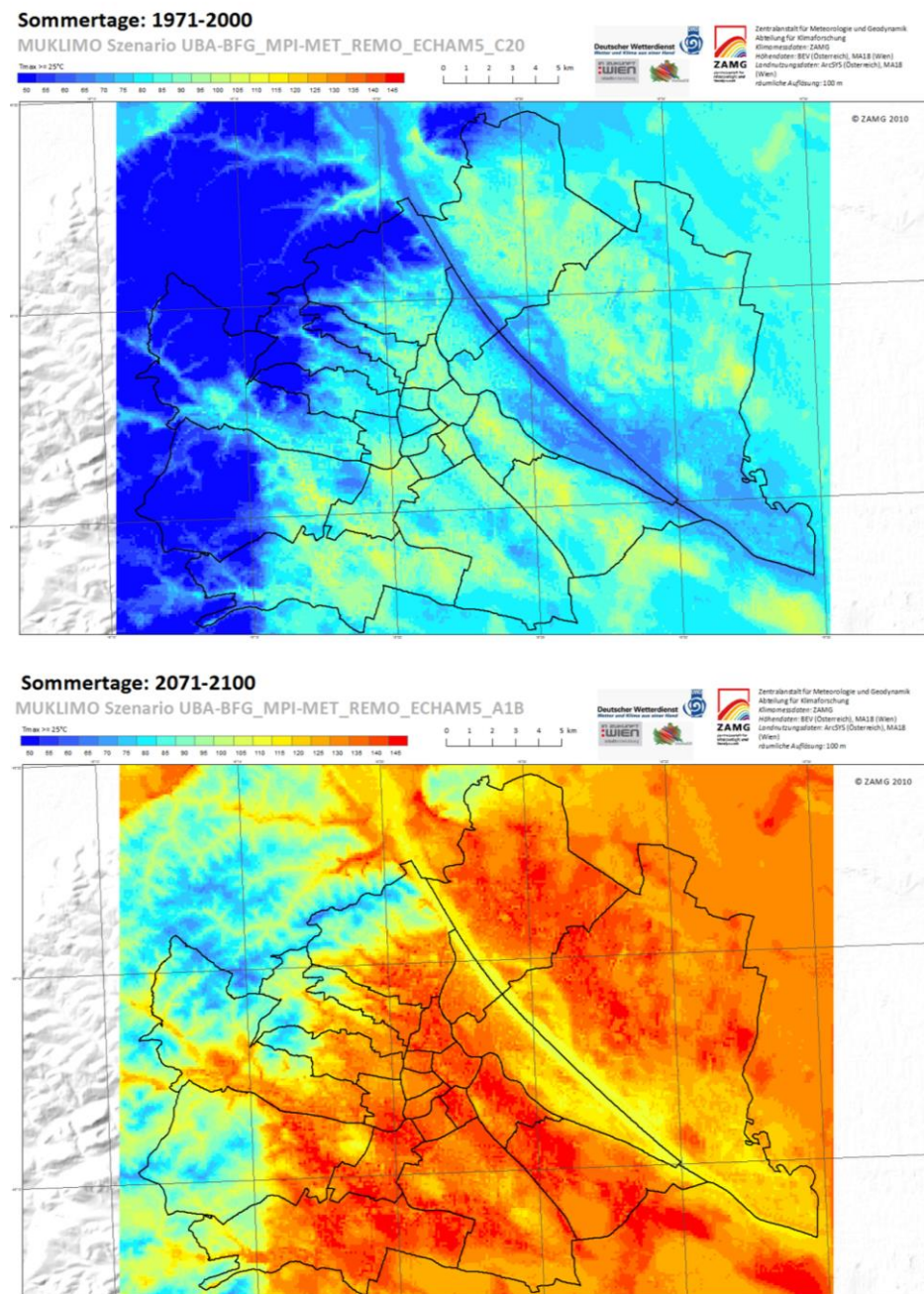


Quelle: IPCC 2007 S.7

Auch der bisher in Wien beobachtete Klimawandel betrifft in erster Linie die Temperatur. Im Zeitraum von 1970 bis 2004 stieg die durchschnittliche Temperatur in den Sommermonaten (Mai bis September) um mehr als 1,7 K (HUTTER et al. 2007, S. 225). Dieser Temperaturanstieg wird in der Zukunft weiter anhalten und damit zu einer zunehmenden Hitzebelastung führen. Dies zeigt sich besonders bei der Betrachtung zukünftig auftretender Temperaturextreme wie etwa der Anzahl der Sommer- bzw. Hitzetage (Definition klimatische Kenntage siehe Kapitel 5.1.2). Für Wien wird dabei ein Anstieg der jährlichen Sommertage von 46 % auf 69 % und der Hitzetage von 10 % auf 24 % bis zum Jahr 2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961 bis 1990 angegeben (APCC 2014, S. 358). Auch mit einem stark erhöhtem Auftreten von Hitzeperioden (Kyselytage) wird gerechnet. Deutlich macht dies Abbildung 15, die in diesem Zusammenhang die Anzahl der beobachteten mittleren jährlich auftretenden Sommertage zum aktuellen Zeitpunkt (Beobachtungsperiode 1981-2010) und die geschätzte Anzahl der mittleren jährlichen Sommertage im Zeitraum 2070 bis 2100 bei einem angenommenen Klimaszenario A1B zeigt. Auffällig ist auch, dass zum jetzigen Zeitpunkt noch sehr heterogene thermische Bedingungen im Raum Wien herrschen welche sich im Zukunftsszenario weitgehend vereinheitlichen. Es herrschen also im gesamten Stadtgebiet sehr ähnliche Verhältnisse. Nur das Gebiet des Wienerwaldes zeigt sich verhältnismäßig noch kühler.

Aufgrund des Anstieges der Temperaturen wird auch allgemein mit einer Erhöhung der hitzebedingten Sterblichkeit gerechnet. Verschiedene Studien gehen von einer erhöhten hitzebedingten Mortalität von 129 % bis 200 % im Jahr 2100 aus (APCC 2014, S. 359). In Anbetracht dieser zu erwartenden Entwicklungen wird auch den klimaregulierenden Funktionen von Wald- und Freiflächen eine wichtige Rolle zukommen.

Abbildung 15: Beobachtete mittlere jährliche Sommertage in Wien (Beobachtungsperiode 1971 – 2000) (oben) und geschätzte Anzahl der zukünftigen jährlichen Sommertage (2070-2100) bei einem angenommenen Klimaszenario A1B (unten)



Quelle: ZUVELA-ALOISE 2013, S. 4

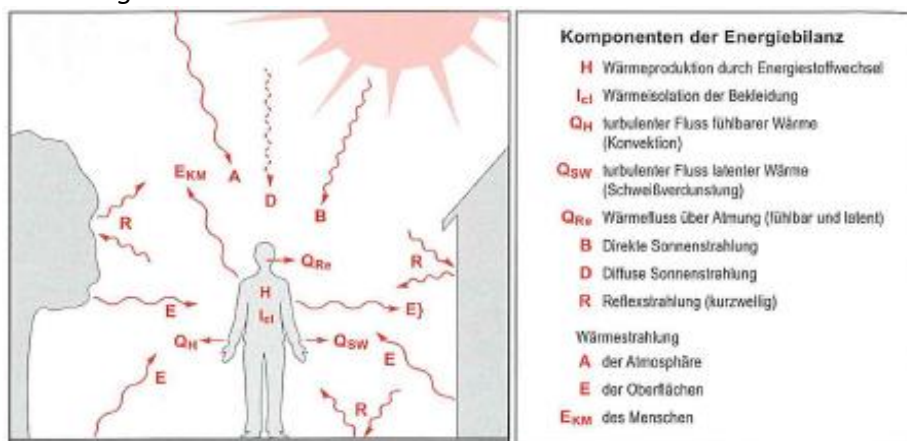
5. GESUNDHEITLICHE ASPEKTE

5.1. Bioklimatische Grundlagen

5.1.1. Wärmehaushalt des Menschen und Risikofaktoren

Der menschliche Körper ist über seinen Wärmehaushalt eng mit der atmosphärischen Umwelt verbunden. Der Organismus befindet sich in einem ständigen Austausch mit den ihn umgebenden thermischen Bedingungen und versucht dabei seine Kerntemperatur konstant zu halten. Dazu müssen die Wärmeproduktion und Wärmeabgabe des Körpers in ein Gleichgewicht gebracht werden. Die Wärmeproduktion des Körpers erfolgt durch den Stoffwechsel in Form eines Grund- und Arbeitswärmeumsatzes. Die meiste vom Körper eingesetzte Energie wird dabei in Form von Wärme abgegeben (KOPPE u. a., 2003, S. 152). Die Wärmeabgabe der produzierten Wärme kann im Wesentlichen über die Verdunstung von Schweiß, der Wärmekonvektion also der direkten Wärmeabgabe an Luft oder Wasser um den Körper sowie der Atmung erfolgen. (KOPPE et al. 2004, S. 18) Wenn die Lufttemperatur steigt und sich damit der Körpertemperatur annähert bzw. übersteigt, wird die Wärmeabgabe über Konvektion verringert bzw. erfolgt anstatt einer Wärmeabgabe eine Wärmeaufnahme aus der Umgebungsluft. Die Hauptwärmeabgabe erfolgt in diesem Fall dann über die Verdunstung von Schweiß. Hohe Lufttemperaturen in Verbindung mit einer hohen Luftfeuchtigkeit können aber selbst diese Art der Wärmeabgabe des Körpers überfordern und es kommt in weiterer Folge zu einer Erhöhung der Körpertemperatur. Dabei entstehen hohe Anforderungen an des Temperatursystems des Körpers, insbesondere des Herz-Kreislauf-Systems was zu Hitzekrankheiten oder dem Hitzetod führen kann (KOPPE et al. 2004, S. 19).

Abbildung 16: Wärmebilanz des Menschen



Quelle: LAUE 2009 ZITIERT IN HAGEN 2011, S. 55

Im Hinblick auf das thermische Befinden des Menschen spielen neben der Höhe der Lufttemperatur auch die Dauer bzw. der Zeitpunkt der thermischen Belastung, die Windgeschwindigkeit, der Wasserdampfdruck (Kombination aus Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur) und die mittlere Strahlungstemperatur eine Rolle. Langanhaltende thermische Belastungen wie sie während Hitzewellen vorkommen stellen eine höhere Gefahr dar als nur kurz auftretende Belastungen. Das zeitliche Auftreten von Hitzebelastung ist sowohl in Bezug auf die Tages- sowie Jahreszeit von Bedeutung. Hohe nächtliche Temperaturen stellen beispielsweise eine höhere Belastung dar als hohe Tagesmaxima, da sich der Körper während dieser Nächte nur bedingt regenerieren kann. Dabei ist jedoch zu ergänzen, dass hohe Tagesmaxima meist mit hohen nächtlichen Temperaturen einhergehen. Hitzeperioden in frühen Jahreshälfte können ebenfalls belastender wirken, da sich der Körper noch nicht akklimatisiert hat (HÜBLER & KLEPPER 2007, S. 28). Wie bereits erwähnt, erhöht eine hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserdampfdruck) die Hitzebelastung. Dies zeigt auch das Beispiel der Hitzewelle 2003 in Frankreich wo aufgrund der dort vergleichsweise hohen Luftfeuchtigkeit mehr Menschen an den Folgen der Hitze gestorben sind als in anderen europäischen Ländern mit geringerer Luftfeuchtigkeit (HÜBLER et al. 2008, S. 383).

Wind kann je nach Umgebungstemperatur sowohl wärmend als auch kühlend wirken. Die Strahlungstemperatur steht im Zusammenhang mit der Sonneneinstrahlung und ist daher von Bedeutung, da es ein Unterschied ist, ob man sich an einem heißen Tag im Schatten oder in der direkten Sonneneinstrahlung befindet.

HÜBLER & KLEPPER (2007) beschreiben eine weitere Verschärfung der gesundheitlichen Belastung bei hohen Temperaturen in Verbindung mit anderen schädlichen Umwelteinflüssen wie Sommersmog, Luftverschmutzung oder hohen Ozonwerten. Dabei wird diesbezüglich das erhöhte Gefährdungspotential in Städten aufgrund der dort vorherrschenden Wärmeinseleffekte verbunden mit den angesprochenen schädlichen Umwelteinflüssen aufgezeigt. Während der Hitzewelle 2003 war die Zahl der Hitzeopfer in London beispielsweise deutlich höher als im Rest von England. Auch in Deutschland wurde ein Hitzeinseleffekt in Bezug auf die Sterblichkeit in den Städten Hamburg, Berlin und dem Ruhrgebiet beobachtet (HÜBLER & KLEPPER 2007, S. 27).

Als weiterer wichtiger Risikofaktor für die gesundheitliche Wirkung von hohen Temperaturen gilt das Alter. Dabei sind vor allem ältere Menschen besonders gefährdet, da mit steigendem Alter das Temperaturregulierungsvermögen sinkt. Auch Kleinkinder sind tendenziell stärker gefährdet (HÜBLER & KLEPPER 2007, S. 27). Neben dem Alter sind weitere soziale Faktoren wie die Wohnsituation, das Einkommen, der Bildungsgrad etc. ausschlaggebend für das Risikopotenzial. Außerdem stellen Vorbelastungen durch bestehende Krankheiten zusätzliche Risiken dar.

5.1.2. Klimatische Kenntage und thermische Bewertungsindizes

Zur Bewertung von thermischen Belastungen werden in der Bioklimatologie häufig klimatische Kenntage herangezogen. Die für diese Arbeit relevanten Kenntage sind dabei Sommer- und Hitzetage. Weiters wird in einigen Studien zur gesundheitlichen Wirkung von Hitze mit sogenannten „heißen Nächten“ und Kyselytagen gearbeitet.

Sommertage sind dabei Tage mit einer maximalen Lufttemperatur von 25°C und darüber. Hitzetage definieren sich über Temperaturmaxima von 30°C und darüber. Hitzetage stellen demnach eine Teilmenge der Sommertage dar. „Heiße Nächte“ sind Tage an dem die Temperatur 20°C nicht unterschreitet. Kyselytage werden in der Literatur als Indikatoren für Hitzeperioden angegeben. Von Kyselytagen ist dann die Rede, *„sobald an mindestens 3 Tagen in Folge die Maximaltemperatur 30°C überschreitet und hält so lange an, als die mittlere Maximaltemperatur über die gesamte Periode über 30°C bleibt und an keinem Tag eine Maximaltemperatur von 25°C unterschritten wird.“* (KYSELY 2004 ZITIERT NACH MOSHAMMER 2006, S. 8)

Tabelle 9: Klimatologische Kenntage

Klimatologischer Kenntag	Definition
Sommertag	$T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$
Hitzetag	$T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$

Quelle: eigene Darstellung

Ein weiterer geläufiger Indikator für Hitzebelastung stellen thermische Bewertungsindizes dar. Die Grundannahme hinter diesen Indizes ist, dass die einzelnen Klimaelemente (Temperatur, Strahlung, Wind, Luftfeuchtigkeit etc.) nicht getrennt von einander auf den Menschen wirken.

Die Lufttemperatur alleine ist also nicht ausschlaggebend für das thermische Wohl des Menschen. Die Bewertung des thermischen Wirkungskomplexes basiert dabei auf der in Abbildung 16 dargestellten Wärmebilanz. Die am weitesten verbreiteten Indizes zur Bewertung des thermischen Empfindens stellen dabei der Predicted Mean Vote (PMV) und die Physiologische Äquivalente Temperatur (PET) dar. Der PMV-Index gibt dabei die mittlere subjektive thermische Beurteilung einer größeren Personengruppe wieder. Dem PET-Index wird diesbezüglich eine besondere Eignung für Untersuchungen zu medizinischen Sachverhalten zugeschrieben (REUTER & KAPP 2012, S. 39 ff). Trotz dieser Tatsache wurde in der vorliegenden Arbeit auf eine Bewertung anhand dieser Indizes verzichtet, da sich dies als zu arbeits- und zeitintensiv herausgestellt hat.

Abbildung 17: Bewertung des thermischen Befindens anhand der Indizes PMV und PET

PET	PMV	thermisches Empfinden	physiologische Belastungsstufe
4 °C	- 3,5	sehr kalt	extreme Kältebelastung
8 °C	- 2,5	kalt	starke Kältebelastung
13 °C	- 1,5	kühl	mäßige Kältebelastung
18 °C	- 0,5	leicht kühl	schwache Kältebelastung
23 °C	+ 0,5	behaftlich	keine thermische Belastung
29 °C	+ 1,5	leicht warm	schwache Wärmebelastung
35 °C	+ 2,5	warm	mäßige Wärmebelastung
41 °C	+ 3,5	heiß	starke Wärmebelastung
		sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Quelle: MAYER 2004 ZITIERT NACH HAGEN 2011, S. 59

5.2. Auswirkungen von Hitze auf die menschliche Gesundheit

5.2.1. Hitzebedingte Todesfälle

Starke Hitzebelastungen beeinträchtigen wie beschrieben den menschlichen Organismus und führen allgemein zu einer Erhöhung der Mortalität. Dies bestätigen zahlreiche internationale sowie österreichbezogene Studien der vergangenen Jahre (BASU & SAMET 2002; GERERSDORFER et al. 2006; HUTTER et al. 2007; KOPPE et al. 2003; KOVATS & HAJAT 2008; MARKTL 2010; MATZARAKIS et al. 2010; MOSHAMMER 2006; MOSHAMMER et al. 2009; MUTHERS et al. 2010a; MUTHERS et al. 2010b; REY et al. 2007; ZANINOVIĆ & MATZARAKIS 2013). Auf einige dieser Studien soll in diesem Kapitel etwas genauer eingegangen werden.

Der Hitzesommer im Jahr 2003 mit mehreren langanhaltenden Hitzewellen führte beispielsweise in ganz Europa und dabei vor allem in Westeuropa zu zahlreichen zusätzlichen Todesfällen. Die Anzahl an hitzebedingten Todesfällen in ganz Europa wird auf 25.000–35.000 geschätzt (HÜBLER et al. 2008, S. 382; KOPPE et al. 2003). Alleine in Frankreich kam es zu 14.800 hitzebedingten Todesfällen (HÜBLER et al. 2008, S. 382; KOPPE et al. 2003, S. 29). In der Schweiz, welche im Vergleich zu Österreich eine ähnliche Bevölkerungszahl sowie topografische und klimatische Bedingungen aufweist, werden für den Sommer 2003 975 Hitzetote geschätzt (HÜBLER et al. 2008, S. 382). Für die Stadt Wien haben HUTTER et al. (2007) die Zahl der auf Hitze zurückzuführende Todesfälle während des Sommers 2003 mit 180 berechnet. Die Übersterblichkeitsrate war dabei in den einzelnen Ländern höchst unterschiedlich und bewegte sich zwischen beinahe 100 % in Frankreich und etwa 13 % in Österreich (HUTTER et al. 2007, S. 2).

Als häufige Todesursachen während Hitzeperioden treten Herz-Kreislaufversagen, Atemwegsprobleme, Hitzeschlag und drastischer Flüssigkeitsmangel auf (BASU & SAMET 2002, S. 192; HÜBLER & KLEPPER 2007, S. 29). Es ist dabei jedoch schwierig abzuschätzen, wie viele Menschen auch ohne das Auftreten eines Hitzeereignisses gestorben wären, ob der Todeszeitpunkt damit durch die Hitze also nur vorverlegt wurde (HÜBLER & KLEPPER 2007, S. 29). Dies belegt auch die Tatsache, dass die Sterblichkeit nach Tagen mit Hitzebelastung kurzzeitig unter den Durchschnittswert fällt (ebd.). Auffällig ist außerdem, dass die temperaturbezogenen Schwellenwerte, bei denen höhere hitzebedingte Sterberaten auftreten, in wärmeren Regionen höher liegen als in kälteren. Dies kann als ein Hinweis auf langfristige Anpassungsmöglichkeiten gesehen werden (ebd.).

Bei der Ermittlung hitzebedingter Todesfälle bzw. der relativen Erhöhung der Sterberate wird in der Regel einerseits ein Vergleich zwischen den Todesfällen während eines Hitzeereignisses und einer Periode mit „normalen“ Temperaturverhältnissen durchgeführt. Andererseits kann der Einfluss von Hitze auf die Sterblichkeit anhand der statistischen Auswertung von längeren Zeitreihen zu Todesfällen und Temperaturen abgeleitet werden (HÜBLER & KLEPPER 2007, S. 29). Wie bereits im vorangegangenen Kapitel beschrieben, erfolgt die Abschätzung der veränderten Mortalität meist nicht anhand der herkömmlichen Lufttemperatur. Vielmehr wird diese Veränderung bestimmten klimatischen Kennzahlen bzw. Klassen der gefühlten Temperatur (PMV, PET) zugeordnet. Eine Studie aus Deutschland stellte dabei eine

Übersterblichkeit von 6,6 % an Tagen mit mäßiger Wärmebelastung (PET 29-35°C) und 9,3 % für Tage mit starker Wärmebelastung (PET 35-41°C) fest (KOPPE et al. 2003 ZITIERT NACH HÜBLER & KLEPPER 2007, S. 30). Für Tage mit extremer Wärmebelastung (PET > 41°C) wurde in besagter Studie kein Wert ermittelt weshalb dieser von HÜBLER & KLEPPER (2007) mittels Extrapolation auf 12 % geschätzt wurde.

Eine Studie von MOSHAMMER ET AL. (2006) hat den Einfluss von Hitzeperioden auf die Sterblichkeit der Bevölkerung in Wien untersucht. Hitzeperioden wurden dabei anhand des Auftretens sogenannter Kyselytage definiert (siehe Kapitel 5.1.2). Dabei konnte eine erhöhte Sterblichkeit von 7,8 % an Hitzewellentagen (Kyselytagen) festgestellt werden (MOSHAMMER 2006, S. 26).

Eine weiter auf Wien bezogene Studie von MUTHERS ET AL. aus dem Jahr 2010 hat ebenfalls ergeben, dass an Tagen mit Hitzestress die Sterblichkeit signifikant ansteigt. An Tagen ohne Wärmebelastung (PET < 29°C) liegt die durchschnittliche relative Sterblichkeit noch bei -1,8%. An Tagen mit moderatem Hitzestress (PET 29-35°C) ist bereits ein leichter Anstieg der Mortalität von 0,9 % zu erkennen. Tage mit starkem (PET 35-41°C) und extremen (PET > 41°C) Hitzestress weisen eine erhöhte Mortalität von 5,8 % bzw. 13 % auf (MUTHERS et al. 2010a, S. 2969). Diese Werte werden später auch für die ökonomische Bewertung am Fallbeispiel Wien verwendet. Wobei diese aus Gründen der Einfachheit von den PET-Klassen starker und extremer Hitzestress auf Sommer- bzw. Hitzetage übertragen werden.

5.2.2. Hitzebedingte Krankheitsfälle

Neben der erhöhten Sterblichkeit können Hitzeereignisse auch zu einer Erhöhung der Krankheitsfälle beitragen. Typische hitzebedingte Krankheitsbilder sind dabei: Sonnenstich, Hitzeerschöpfung, Hitzeschlag, Hitzekollaps und Hitzekrämpfe (BARROW & CLARK 1998). Eine Studie aus den USA von Semenza et al. (1999) konnte diesbezüglich eine allgemeine Erhöhung der Krankenhauseinlieferungen von 11 % während der Hitzewelle 1995 in Chicago feststellen. Im Gegensatz zur hitzebedingten Mortalität ist der Zusammenhang zwischen hohen Temperaturen und Krankheitsfällen jedoch noch wenig erforscht. Einige wenige europäische Studien haben aber ebenfalls einen Anstieg der Krankheitsfälle bei extremen Temperaturen im Vergleich zu moderateren Temperaturen festgestellt (MOSHAMMER 2006, S. 37).

SCHERBER (2014) konnte für das deutsche Bundesland Brandenburg einen Anstieg der Krankenhauseinlieferungen ab der Temperaturschwelle von 32°C von 2,22 % je 1°C-Erhöhung der Temperatur feststellen. Für Österreich oder Wien liegen diesbezüglich keine brauchbaren Daten vor, weshalb hier auf andere Studien zurückgegriffen wird. Für die vorliegende Arbeit wurde daher auf den von HÜBLER et al. (2008) angenommenen Wert von 4 % erhöhter Krankenhauseinlieferungen je Sommertag zurückgegriffen (HÜBLER et al. 2008, S. 388).

6. ÖKONOMISCHE BEWERTUNG DER LOKALEN KLIMAREGULIERUNG

Aufbauend auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Kapiteln erfolgt in diesem Kapitel die ökonomische Bewertung der Ökosystemleistung der lokalen Klimaregulierung durch Waldflächen in Siedlungsnähe. Konkret wird versucht anhand eines Fallbeispiels – hier die Stadt Wien - eine Abschätzung der vermiedenen Todesfall- bzw. Krankheitskosten durch die Wirkung der temperatenausgleichenden Funktion von Waldflächen auf Siedlungsflächen aufzuzeigen. Also welche volkswirtschaftlichen Kosten bei einer hypothetischen Nichtbereitstellung der Ökosystemleistung entstehen würden. Zunächst wird dazu die Bewertungsmethodik und Herangehensweise in allgemeiner Form beschrieben um darauf aufbauend die Bewertung durchzuführen.

6.1. Bewertungsmethodik und Herangehensweise

Der in dieser Arbeit verwendete Ansatz der Bewertung dieser Ökosystemleistung des Waldes fußt auf der Gesundheitskostenmethode. Einer Methode, die hier als eine spezielle Form der Vermeidungskostenmethode verstanden wird, da die durch die Bereitstellung der lokalen Klimaregulierung vermiedenen Gesundheitskosten ermittelt werden sollen. Die Gesundheitskostenmethode wurde in bisherigen Bewertungen eher vernachlässigt und wurde zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit dementsprechend selten in der einschlägigen Literatur aufgefunden (NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE 2016, S. 36). Die Methode kann dazu verwendet werden Naturleistungen sowohl auf einer Makro- sowie Mikroebene zu bewerten. Bei der Bewertung auf Makroebene wird dazu der Einfluss von Ökosystemen auf objektive Lebensbedingungen wie die Gesundheit oder das Freizeitverhalten gemessen und ermittelt. Diese Einflüsse werden in weiterer Folge in Geldeinheiten ausgedrückt. Auf der Mikroebene werden das subjektive Wohlbefinden, die Zufriedenheit und die Grundstimmung von einzelnen Menschen erfasst und bewertet und sind in dieser Arbeit zu vernachlässigen. Das menschliche Leben wird in diesem Zusammenhang als ökonomisches Gut betrachtet, welches sich durch dessen Wertschöpfungspotenzial definiert. Krankheit und Tod können dieses Wertschöpfungspotenzial mindern. Der Wert von Ökosystemen berechnet sich dabei aus den tatsächlich oder potenziell vermiedenen Gesundheitskosten. In diesem Zusammenhang können folglich direkte, indirekte oder intangible Kosten entstehen, welche in Tabelle 10 zusammenfassend dargestellt sind. Direkte Kosten erfassen krankheitsbedingte Zahlungen und Ressourcenverbrauch, wohingegen indirekte Kosten durch die

verlorengangene Produktivität von kranken bzw. verstorbenen Menschen entstehen. Die intangiblen (nicht-materiellen) Kosten versuchen den Verlust von Lebensqualität zu ermitteln. Die vorliegende Arbeit bezieht sich dabei auf direkte und indirekte Kosten in Form von Kosten durch Krankenhausaufenthalte sowie vorzeitiger Todesfälle (NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE 2016, S. 36).

Tabelle 10: Kostenarten und -elemente der Gesundheitskostenmethode

Kostenart	Kostenelemente	Beispiele
Direkte Kosten	Ambulante Behandlung	Arztbesuche
	Stationäre Behandlung	Krankenhausaufenthalte
	Patientenabgaben	Arzneimittelaufwendungen
Indirekte Kosten	Produktionseinbußen	Arbeitsunfähigkeit
		Vorzeitige Todesfälle
Intangible Kosten	Verlust von Lebensqualität	Körperliche Einschränkung Psychischer Stress

Quelle: Born et al. 2012 zitiert in Naturkapital Deutschland - TEEB DE 2016, S. 36

Bei der ökonomischen Bewertung der klimaregulierenden Leistung von Waldökosystemen ergeben sich dabei folgende grundlegende Fragestellungen:

- In welchem Ausmaß (C°/K bzw. Anzahl von klimatologischen Kenntagen) beeinflusst Wald das Temperaturniveau in seiner Umgebung?
- Inwieweit bzw. in welchem Ausmaß (Krankheits- bzw. Todesfälle) beeinflussen erhöhte Temperaturen die menschliche Gesundheit?
- Welche zusätzlichen Gesundheitskosten fallen bei Nichtbereitstellung der Ökosystemleistung „lokale Klimaregulierung“ an?

6.1.1. Klimatische Annahmen

Zunächst muss die Frage nach dem Einfluss von Waldflächen auf das lokale Klima geklärt werden. Die Quantifizierung der klimaausgleichenden Wirkung von Waldflächen auf Siedlungsgebiete stellt sich dabei aufgrund der zahlreichen komplexen Prozesse und Rahmenbedingungen, die auf das Klima wirken, als schwierig heraus. Eine exakte und differenzierte Abschätzung bzw. Berechnung des Temperatursausgleiches alleine durch Waldflächen ist problematisch und kann auch von der derzeitig vorliegenden Literatur nicht pauschal beantwortet werden (siehe Kapitel 4 Klimatische Aspekte). Eine Durchführung der dafür benötigten klimatischen Analysen diesbezüglich ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Aus diesem Grund werden hier zum Teil stark vereinfachte klimatische Annahmen getroffen. Diese Annahmen werden im Rahmen der später folgenden Fallstudie Wien beschrieben.

6.1.2. Ermittlung der Auswirkung auf Todes- bzw. Krankheitsfälle und Monetarisierung

Vielmehr gilt es eine Systematik zu erarbeiten nach welcher eine derartige Bewertung erfolgen kann. Kernstück der Analyse ist dabei die Quantifizierung der durch hohe Temperaturen entstehenden zusätzlichen Todes- und Krankheitsfälle, welche anschließend mit Kostensätzen aus dem Gesundheitssektor monetarisiert werden.

Die Ermittlung der vermiedenen hitzebedingten Todes- und Krankheitsfälle erfolgt auf Basis der, in einer von (HÜBLER et al. 2008) durchgeführten Studie, aufgestellten Formel zur Abschätzung der durch den Klimawandel entstehenden Gesundheitskosten in Deutschland. Im Rahmen dieser Studie wurden gegenwärtige temperaturbedingte Todes- und Krankheitsfälle und deren Kosten mit Zukunftsszenarien zum Klimawandel verglichen. Für die vorliegende Arbeit wurde die angesprochene Formel geringfügig abgeändert, um die Beantwortung der gegebenen Forschungsfragen zu ermöglichen. Anstatt von einem Klimawandelszenario auszugehen, wurde hier versucht den Einfluss auf die thermische Belastung in Siedlungsgebieten bei einem Fehlen der Kühlleistung durch Waldflächen abzuschätzen. Die Formel zur Berechnung der Kosten aufgrund von hitzebedingten Todesfällen lautet wie folgt:

$$D = \sum_k^K \sum_w^W \left((T_{0,k,w} + T_{k,w}) * \frac{M_w}{365} * d_k * d_{season} \right) * VSL$$

D	durchschnittliche jährliche Kosten der durch Hitze verursachten Todesfälle
$T_{0,k,w}$	aktuelle jährliche Anzahl der klimatischen Kenntage k in Referenzraum w (Staat, Land, Stadt, Bezirk, etc)
$T_{k,w}$	jährliche zusätzliche klimatische Kenntage k in Referenzraum w ohne der Kühlleistung des Waldes
M_w	absolute jährliche Todesfälle je Referenzraum w
d_k	durchschnittliche Mortalitätsrate je klimatischem Kenntag k
d_{season}	saisonale Anpassung der Sterblichkeit
VLS	Wert eines statistischen Lebens

Die Formel zur Ermittlung der Kosten für hitzebedingte Krankheitsfälle gestaltet sich analog zu jener der Todesfälle und setzt sich wie folgt zusammen:

$$H = \sum_k^K \sum_w^W \left((T_{0,k,w} + T_{k,w}) * \frac{S_w}{365} * h_k \right) * K$$

D	durchschnittliche jährliche durch Hitze verursachte Behandlungskosten
$T_{0,k,w}$	aktuelle jährliche Anzahl der klimatischen Kenntage k in Referenzraum w (Staat, Land, Stadt, Bezirk, etc)
$T_{k,w}$	jährliche zusätzliche klimatische Kenntage k in Referenzraum w ohne der Kühlleistung des Waldes
S_w	absolute jährliche Krankenhausaufenthalte je Referenzraum w
h_k	durchschnittliche Erhöhung der Krankenseinlieferungen (Morbiditätsrate) je klimatischem Kenntag k
K	Kosten je Krankheitsfall

Studien zum Thema hitzebedingter Mortalität und Morbidität arbeiten meist nicht mit absoluten Temperaturwerten sondern mit klimatischen Kenntagen bzw. Tagen einer bestimmten Temperaturklasse (thermischen Indizes) (HÜBLER et al. 2008; MATZARAKIS et al. 2010; MUTERS et al. 2010b). Dabei werden für bestimmte klimatische Kenntage bzw.

Temperaturklassen (beispielsweise PET- oder PMV-Index) Mortalitäts- bzw. Morbiditätsraten anhand statistischer Verfahren berechnet und analysiert (siehe Kapitel 5.2). Daher stand in vorliegender Arbeit auch die Ermittlung bzw. Veränderung der Anzahl der klimatischen Kenntage und nicht die absolute temperaturbasierte Regulierungsleistung von Waldflächen im Vordergrund. Die Originalstudie von HÜBLER et al. (2008) arbeitete in diesem Zusammenhang mit dem PET-Index, der wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, dazu dient das thermische Befinden von Menschen auszudrücken. Aufgrund fehlender Daten solcher thermischen Bewertungsindizes wird die thermische Belastung und dessen Veränderung hier vereinfacht aufgrund des Auftretens von Sommer- bzw. Hitzetagen angenommen.

Die bereits angesprochenen erhöhten temperaturbedingten Mortalitätsraten je klimatischem Kenntag (d_k) variieren in verschiedenen Studien stark. Hier wurden Mortalitätsraten für Wien von 5,8 Prozent für Sommertage und 13 Prozent für Hitzetage von MOTHERS et al. (2010a) übernommen (siehe Kapitel 5.2.1). Für die Erhöhung der Morbiditätsrate (h_k) liegen keine Daten für Wien vor, weshalb in diesem Fall auf die Annahmen von HÜBLER et al. (2008) zurückgegriffen wird. Dementsprechend wird von einer erhöhten Morbidität von 4 % an Sommer- sowie Hitzetagen ausgegangen. Es muss darauf hingewiesen werden, dass HÜBLER et al. (2008) nur Angaben zur Morbiditätsrate für Sommertage geben weshalb hier für Sommer- und Hitzetage die selbe Rate angenommen wird. Neben den Mortalitäts- und Morbiditätsraten bedarf es außerdem der Kenntnis zu den absoluten Gesamttodes- und Krankheitsfällen für den jeweiligen Referenzraum (M_w bzw. S_w), aus welchen sich mittels der angesprochen Raten (relativen Erhöhung der Todes- bzw. Krankheitsfälle) die Anzahl der zusätzlichen Todes- bzw. Krankheitsfälle beziehen lassen.

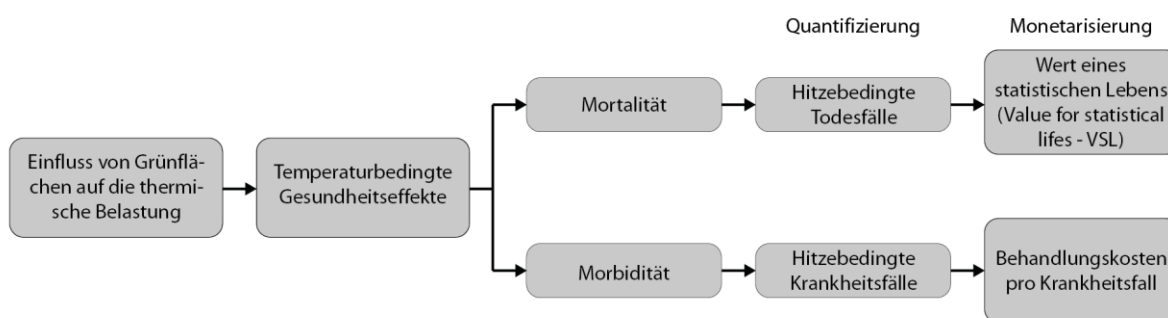
Die saisonale Anpassung der Sterblichkeit (d_{season}) basiert auf der Annahme, dass die allgemeine Sterblichkeit in den Wintermonaten um 8 % höher und in Sommermonaten um 8 % geringer ist als im jährlichen Durchschnitt. Da für die Berechnung der Todesfälle aufgrund von Hitze naturgemäß nur die Sommermonate relevant sind wird die Gesamtrechnung daher mit einem Faktor von 0,92 multipliziert, um diese saisonale Gegebenheit anzupassen (HÜBLER et al. 2008, S. 386).

Zur monetären Bewertung der Todes- und Krankheitsfälle werden, wie eingangs bereits beschrieben, der Wert eines statistischen Lebens (Value of a statistical life – VSL) einerseits

sowie andererseits die Kosten für einen Krankenhausaufenthalt herangezogen. In der Literatur findet sich eine große Breite an verschiedenen Werten für ein statistisches Leben. Diese reichen von mehreren Hunderttausend Euro bis hin zu über fünf Millionen Euro. In diesem Fall wurde der Wert für ein statistisches Leben von den Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) aus dem Jahr 2009 der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr übernommen, welcher mit rund 2,8 Millionen angegeben wird. Dieser Wert wird dabei in der Regel im Zusammenhang mit der Nutzen-Kosten-Analyse von Verkehrsinfrastrukturprojekten verwendet um Veränderungen bei Verkehrsunfallereignissen mit Todesfolge bewerten zu können. Inflationbereinigt auf das Jahr 2013 ergibt sich somit ein hier angenommener VSL von 3,1 Millionen Euro (EUR 3.120.651,60). Aus ethischen Gründen wird der VSL in dieser Arbeit ohne Differenzierung nach Alter oder anderen sozioökonomischen Kriterien angenommen. Für die Kosten eines Krankenhausaufenthaltes wird der vom Bundesministerium für Gesundheit veröffentlichte Wert eines stationären Krankenhausaufenthalts für Wien aus dem Jahr 2013 angenommen, welcher 4.410 Euro beträgt (BMG 2015). Kosten für ambulante Behandlungen und Rettungsdienste werden hier nicht berücksichtigt.

Das Wirkungsgefüge der hier durchgeführten ökonomischen Bewertung der klimaregulierenden Leistung von Waldflächen wird in folgender Abbildung nochmals zusammengefasst dargestellt.

Abbildung 18: Wirkungsgefüge zur Ermittlung der durch Waldflächen vermiedenen Gesundheitskosten



Quelle: eigene Darstellung

6.2. Fallbeispiel Wien

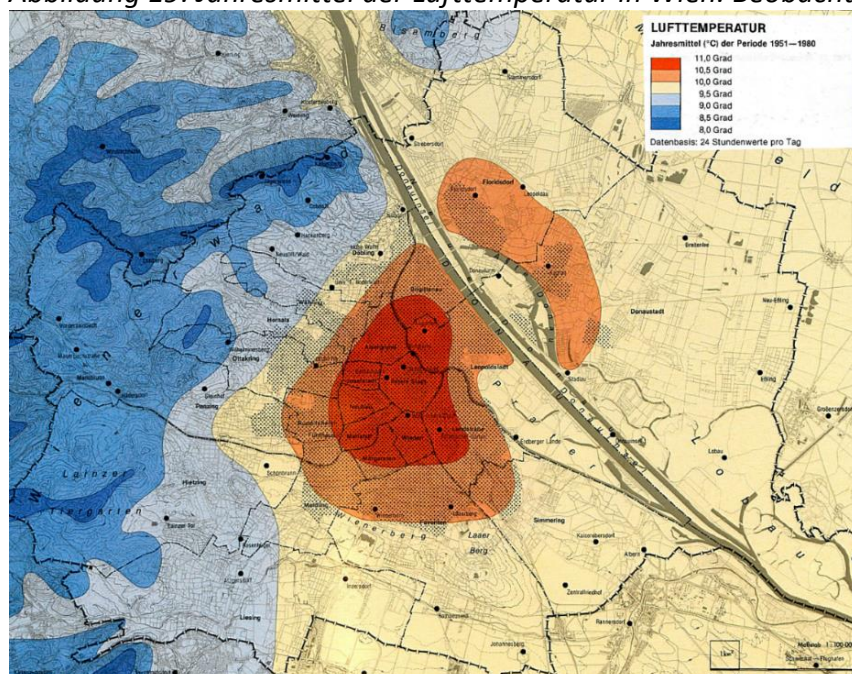
Anhand des Fallbeispiels für die Stadt Wien soll die im vorangegangenen Kapitel aufgezeigte Methodik zur ökonomischen Bewertung der klimaregulierenden Funktion des Waldes an einem konkreten Beispiel angewendet werden. Ziel ist es dabei zu ermitteln, in welchem Rahmen sich der Nutzen der von Wäldern ausgehenden Ökosystemleistung monetär bewegt. Die Stadt Wien wurde dabei aufgrund ihrer Größe und dem damit verbundenen hohen Potenzial der Ökosystemleistung sowie der günstigen Datenverfügbarkeit herangezogen. Aufgrund der Datenverfügbarkeit und der in der Literatur immer wieder besonders hervorgehobenen Bedeutung für das Stadtklima Wiens beschränkt sich die Bewertung bei diesem ersten Ansatz nur auf die Waldflächen des Wienerwaldes. Dazu wird zunächst ein kurzer Überblick zu den klimatischen und grünräumlichen Rahmenbedingungen in Wien gegeben. Darauf folgend wird der Versuch unternommen, die klimausgleichende Wirkung des Wienerwaldes abzuschätzen. Anschließend erfolgt die Ermittlung der durch die lokale Klimaregulierungsfunktion des Waldes vermiedenen Todes- bzw. Krankheitsfälle, welche im Anschluss monetarisiert werden. Die Bewertung wird in einem abschließenden Schritt anhand eines alternativen klimatischen Ansatzes wiederholt. Dies soll den Einfluss der getätigten klimatischen Annahmen auf das Bewertungsergebnis aufzeigen.

6.2.1. Klimatische Aspekte

In Wien herrscht aufgrund der geografischen Lage ein für Mitteleuropa typisches warmgemäßigtes Klima mit Niederschlägen zu jeder Jahreszeit (Cj nach Köppen vgl. dazu Kapitel 4.1 Klima Allgemein) (BERGER & EHRENDORFER 2011, S. 91). Bedingt durch die Lage zwischen den östlichen Ausläufern der Alpen (Wienerwald) und der pannonischen Tiefebene weist Wien einige klimatische Besonderheiten auf und liegt an der Schnittstelle von vier Klimazonen. Das Klima Wiens charakterisiert sich daher durch alpine, mitteleuropäische, pannonische und illyrische Beeinflussungen und ist außerdem stark von den topographischen Gegebenheiten geprägt. Mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von über 10°C zählt Wien zu einer der wärmsten Regionen in Österreich (BERGER & EHRENDORFER 2011, S. 92; ZAMG 2015, online). Der für Städte typische Wärmeinseleffekt kommt dabei auch in Wien zum Tragen und führt zu speziellen innerstädtischen Temperaturbedingungen, welche bei einer Betrachtung der räumlichen Verteilung der Jahresmittel der Lufttemperatur im Raum Wien in der Klimaperiode 1951 bis 1980 (siehe

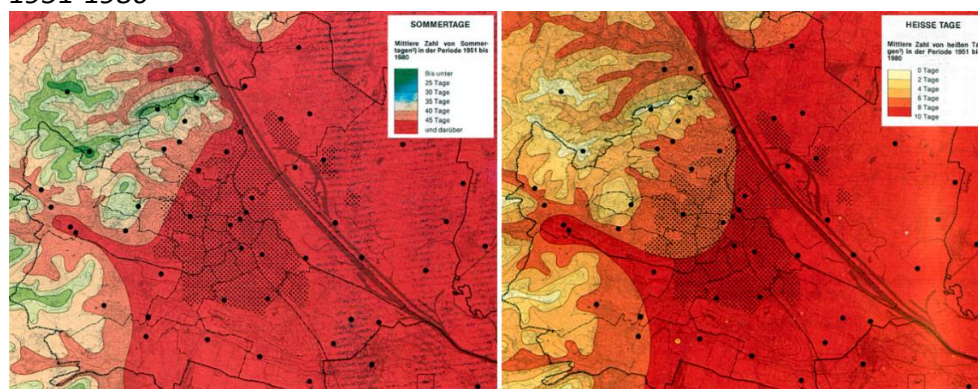
Abbildung 19) deutlich zu erkennen sind. Gut sichtbar ist hier auch die Temperaturabnahme mit Zunahme der Seehöhe und des Vegetationsanteiles in den westlichen Wienerwaldgebieten. Diese Gebiete zeigen sich im Jahresmittel um bis zu 3 K kühler als das Stadtzentrum. Der urbane Hitzeinseleffekt wird besonders bei einer Betrachtung der westlichen Randbezirke mit einer um etwa 1,5 K geringeren mittleren Jahrestemperatur und den restlichen weniger verbauten östlichen Gebiete außerhalb der Innenstadt sichtbar. Hier liegt die jährliche Durchschnittstemperatur immer noch um etwa 1 K unter jener der Innenstadt. Der Wärmeinseleffekt der Stadt spiegelt sich auch bei der Betrachtung der Sommer- sowie Hitzetage dieser Klimaperiode 1951 bis 1980 (siehe Abbildung 20) wieder.

Abbildung 19: Jahresmittel der Lufttemperatur in Wien. Beobachtungsperiode 1951-1980



Quelle: AUER et al. 1989

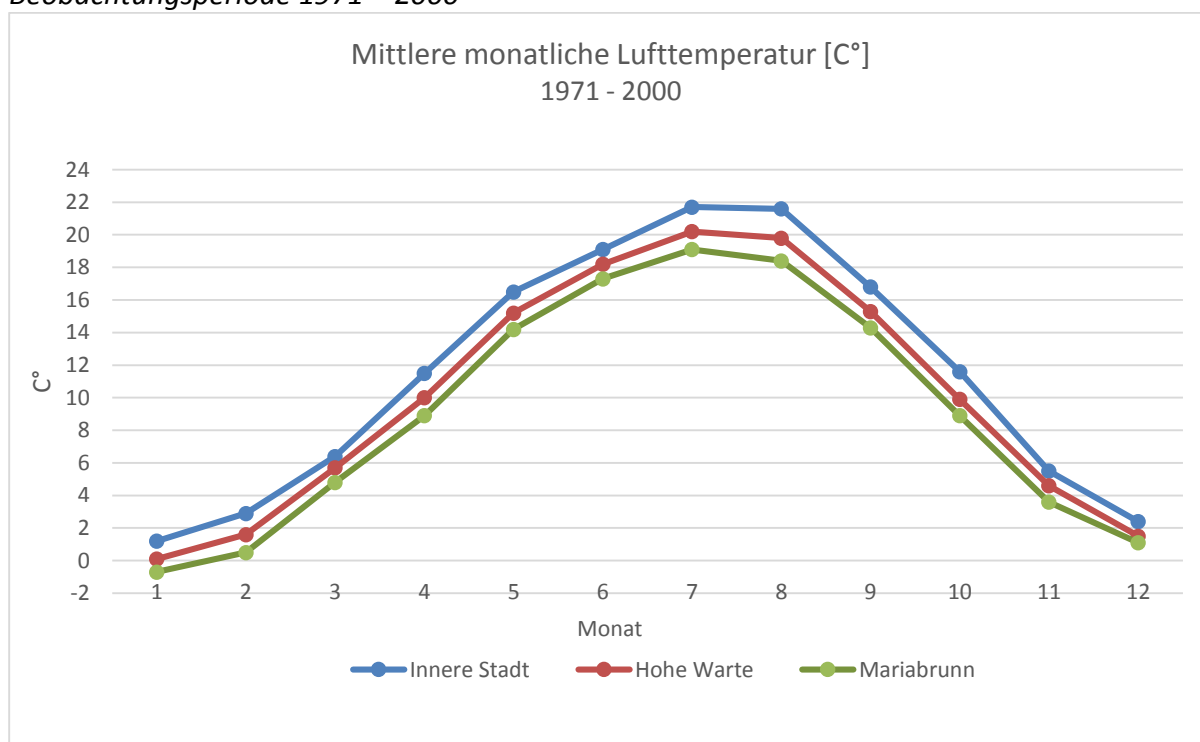
Abbildung 20: Mittlere jährliche Sommer- und Hitzetage in Wien. Beobachtungsperiode 1951-1980



Quelle: AUER et al. 1989

Die städtische Überwärmung Wiens lässt sich auch anhand der mittleren monatlichen Lufttemperaturen der Klimaperiode 1971 bis 2000 dreier Wetterstationen verdeutlichen. Abbildung 21 zeigt den mittleren Verlauf der Lufttemperaturen an der im dicht verbauten Stadtzentrum gelegenen Station Innere Stadt, der im locker bebauten Stadtrand gelegenen Station Hohe Warte und der im Wienerwald liegenden Station Mariabrunn. Dabei ist die erhöhte Temperatur im Innenstadtbereich gut zu erkennen. Im Jahresmittel ist die Lufttemperatur in der Innenstadt um 2,20 K höher als im Bereich der Station Mariabrunn. Dieser Wert deckt sich fast exakt mit dem von MATHEY et al. (2012) angegeben Wert für die Ausgleichswirkung von Wald von 2,24 K (siehe dazu Kapitel 4.4.3). Auffällig ist auch, dass die größten Temperaturunterschiede in den Sommermonaten und dabei vor allem im Juli und August auftreten also jenen Monaten wo es tendenziell zu Hitzeereignissen kommen kann.

Abbildung 21: Mittlere monatliche Lufttemperatur ausgewählter Wetterstationen in Wien. Beobachtungsperiode 1971 – 2000



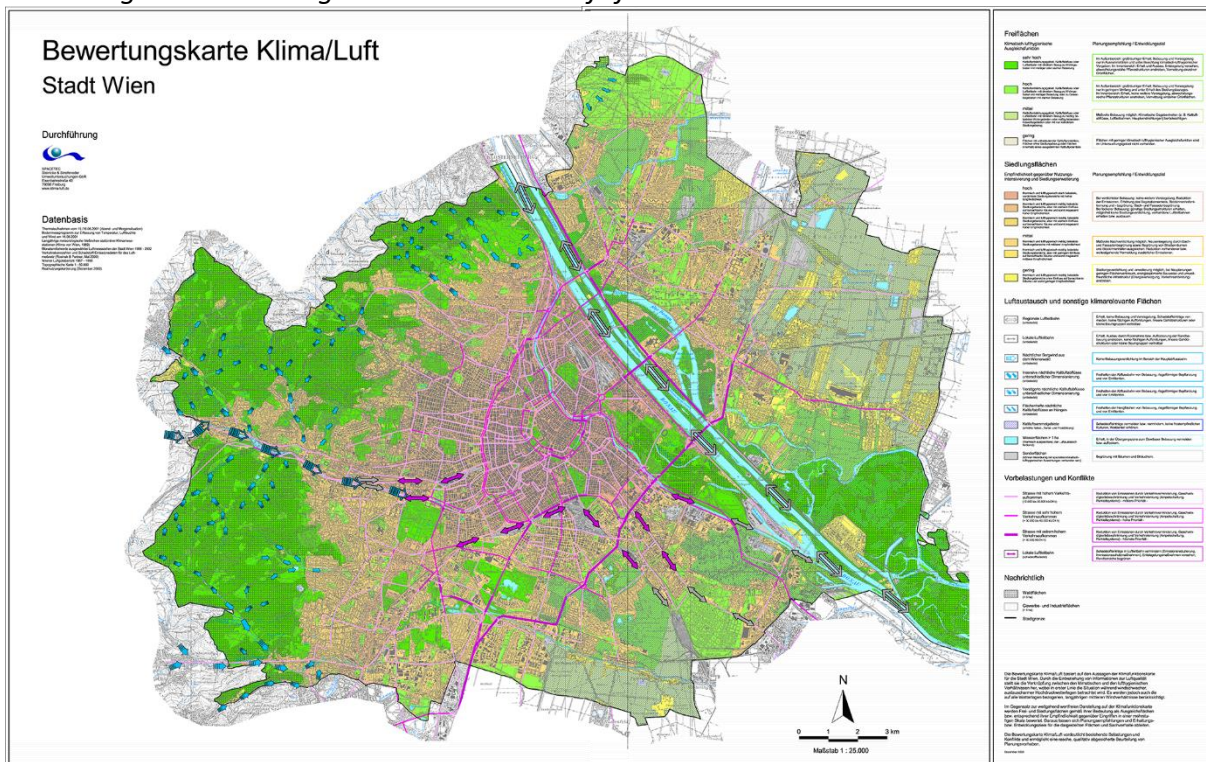
Quelle: eigen Darstellung auf Basis von ZAMG 2015, online

Der Grünflächenanteil an der Gesamtfläche Wiens liegt bei knapp über 50 %, was einer Fläche von über 20.000 Hektar entspricht. Davon sind rund 9.000 Hektar Waldflächen von denen wiederum rund 7.000 Hektar (77 %) im Besitz der Stadt Wien sind (vgl. Kapitel 3.3 Eigentümerverhältnisse des österreichischen Waldes). Den Großteil der Waldflächen in Wien stellen dabei die Bereiche im westlich gelegenen Wienerwald dar. Weitere größere

Waldflächen sind im Bereich der im Osten gelegenen Donauauen anzutreffen. Der Wienerwald stellt dabei eine der bedeutendsten Quellen von Kaltluft und deren klimatischer Bedeutung für Wien dar. (KROMP-KOLB et al. 2007, S. 231). Dies bestätigen auch mehrere Studien, Entwicklungsstrategien und Rechtstexte (LANDESFORSTDIREKTION WIEN 2005; MAGISTRATSABTEILUNG 18 2015; SCHWAB & STEINICKE 2003; ZUVELA-ALOISE 2013). SCHWAB & STEINICKE (2003) schreiben dabei insbesondere den bewaldeten Hanggebieten des Wienerwaldes eine günstige Kaltluftproduktivität zu. In diesem Zusammenhang wird vor allem dem großräumig auftretenden Berg- bzw. Talwindsystem, welches eine Reichweite an ausgleichender Kaltluft in die Bebauung von mehreren Kilometern annehmen kann, eine wichtige stadtklimatische Bedeutung zugeschrieben. Eine exakte Erfassung der Reichweite ist jedoch nicht bekannt (SCHWAB & STEINICKE 2003, S. 27).

Zu den wichtigsten großräumigen Durchlüftungskorridoren zählen das Donau- aber auch das Wiental. Aber auch kleinere Grünkorridore wie etwa die Wienerwaldtäler, wie sie vor allem in den westlichen Bezirken vorkommen, tragen zu einem Kaltlufttransport in die bebauten Gebiete bei (PREISS & HÄRTEL 2015, S. 23). Die Stadtklimatische Situation in Wien wird in folgender Abbildung zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 22: Bewertungskarte Klima und Luft für Wien

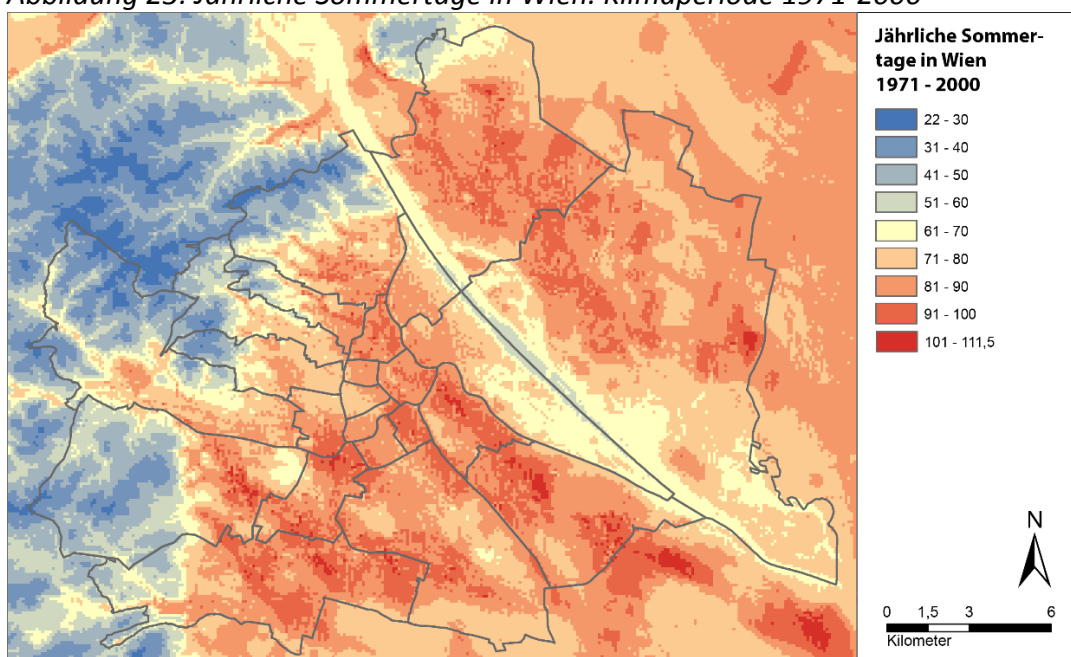


Quelle: SCHWAB & STEINICKE 2003

6.2.2. Quantifizierung der klimaregulierenden Wirkung des Wienerwaldes

Um die klimaregulierende Funktion des Wienerwaldes auf die an ihn angrenzenden Siedlungsflächen zu quantifizieren, wird sich hier einem Mosaik aus verschiedenen mikro- und makroklimatischen Erkenntnissen aus internationalen sowie wienbezogenen Studien und Forschungsarbeiten bedient. Wie im Kapitel „Bewertungsmethodik“ erläutert wurde, ist es erforderlich die regulierende Wirkung nicht in absoluten Temperaturangaben, sondern klimatischen Kenntagen auszudrücken. Als Grundlage für die aktuell vorherrschenden Temperaturbedingungen dienen daher Daten zu den durchschnittlich jährlich auftretenden Sommertagen in Wien (Beobachtungsperiode 1971-2000; stellt gleichzeitig die Referenzperiode für dieses Beispiel dar) von der ZAMG. Die räumliche Verteilung dieser Kenntage wurde von der ZAMG dabei mittels Interpolation zwischen den Daten der in Wien befindlichen Wetterstationen und zusätzlichen klimatischen Simulationen berechnet. Diese Daten konnten mittels einer GIS-Anwendung in Kartenform dargestellt werden (siehe Abbildung 23). Auch hier zeigt sich der deutliche Temperaturunterschied zwischen den Wald- und den Siedlungsflächen. Für die ebenfalls relevanten Hitzetage gab es keine differenzierten Datengrundlagen weshalb hier nur mit Sommertagen gearbeitet wird, wobei die Hitzetage hier in den Sommertagen inkludiert sind und nur nicht gesondert als Hitzetage dargestellt werden.

Abbildung 23: Jährliche Sommertage in Wien. Klimaperiode 1971-2000



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von ZAMG 2015

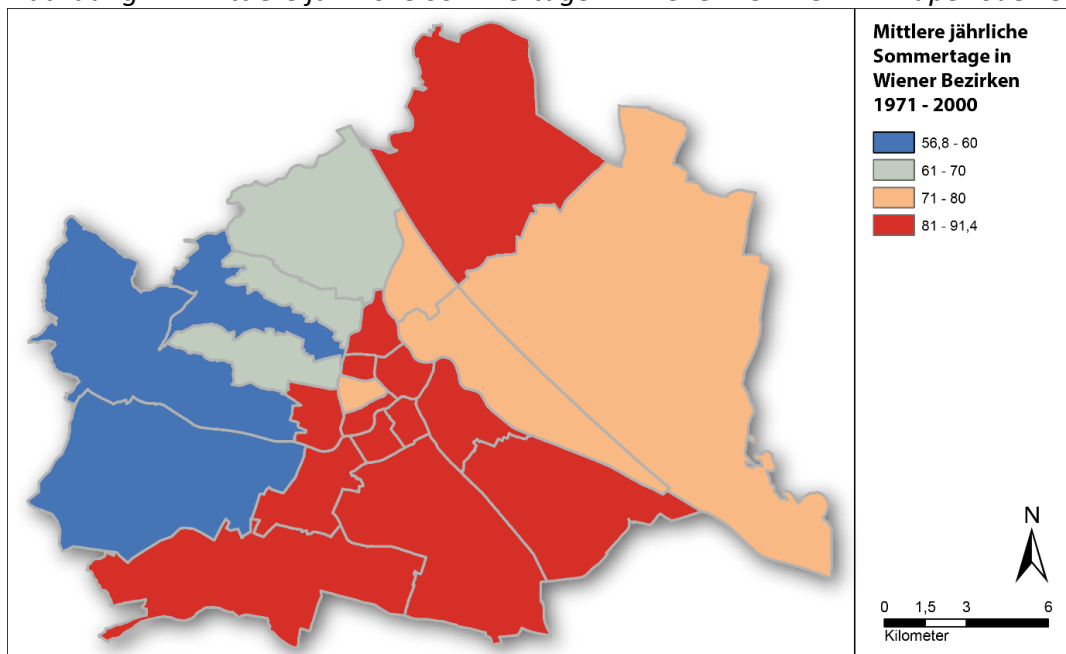
Anhand dieser räumlichen Verteilung der Sommertage konnten in einem weiteren Schritt die durchschnittlich auftretenden Sommertage auf Bezirksebene ermittelt werden (siehe Abbildung 24). Die Ermittlung der Sommertage für die einzelnen Bezirke ist insofern nötig da die später angenommenen Gesamttodes- und Krankheitsfälle für Wien nur auf Bezirksebene vorliegen. Demnach ist nunmehr die zur Bewertung benötigte aktuelle Anzahl der klimatischen Kenntage je Referenzraum $T_{(0,k,w)}$ bekannt.

Die Ausgleichsintensität der Waldflächen wird in Anlehnung an die Erkenntnisse von MATHEY et al. (2012) und dem beobachteten Temperaturunterschied der Wetterstationen Mariabrunn und Innere Stadt (siehe Kapitel 4.4.3 und 6.2.1) mit 2,24 K angenommen. Die Ermittlung der genauen Reichweite der Ausgleichswirkungen bzw. der Kaltluftabflüsse ist wie bereits mehrmals erwähnt nicht möglich. Die Aussagen verschiedener Studien für Wald- bzw. Grünflächen in der Größenordnung des Wienerwaldes reichen dabei von mehreren hundert Metern bis hin zu mehreren Kilometern. Aus Gründen der Einfachheit wird hier angenommen, dass sich die kühlende Wirkung des Wienerwaldes auf die Gesamtfläche der jeweils an diesen angrenzenden Bezirke ausbreitet. Dies entspricht meist einer Reichweite von etwa vier Kilometern. Konkret handelt es sich dabei um die Bezirke 13, 14, 16, 17, 18, 19 und 23. Daraus ergibt sich auch der Vorteil, dass sich so die Veränderungen der Sommertage bei einer hypothetischen Nichtbereitstellung der ausgleichenden Wirkung des Waldes auf Bezirksebene vergleichen lassen. Für die restlichen Bezirke kann in diesem lokalklimatischen Ansatz kein Einfluss der Waldflächen auf die klimatischen Bedingungen mehr angenommen werden obwohl verschiedentlich auch davon ausgegangen wird, dass großflächige Waldflächen eine gesamtstädtische Klimawirkung entfalten können (siehe vor allem MASSON et al. 2013). Diese Annahme wird in dem später folgenden alternativen Bewertungsansatz aufgegriffen (siehe Kapitel 6.2.4).

Es wird weiters angenommen, dass sich die Ausgleichsintensität von 2,24 K linear von den Waldflächen entfernend verringert. Daraus ergab sich eine mittlere Ausgleichsintensität von 1,12 K je Bezirk. Laut (ZUVELA-ALOISE 2013, S. 9) bedeutet eine jährliche durchschnittliche Temperaturerhöhung von einem Kelvin eine Erhöhung der Sommertage um 12,2 (Sommertage). Dementsprechend ist davon auszugehen, dass bei einer fehlenden Ausgleichswirkung jährlich um rund 14 (13,66) Sommertage mehr auftreten würden als in der

Referenzperiode ($T_{k,w}$). Die daraus resultierenden hypothetischen Veränderungen in der Anzahl der jährlich auftretenden Sommertage in den einzelnen Bezirken wird in Tabelle 11 dargestellt.

Abbildung 24: Mittlere jährliche Sommertage in Wiener Bezirken. Klimaperiode 1971-2000



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von ZAMG 2015

Tabelle 11: Hypothetische klimatische Ausgleichswirkung (Sommertage) des Wienerwaldes auf Bezirksebene

Bezirk (Referenzraum w)	Anzahl jährliche Sommertage zum Status Quo ($T_{0,k,w}$)	Hypothetische jährliche Anzahl der Sommertage ohne der Ausgleichswirkung des Wienerwaldes ¹
13 – Hitzing	59,0	72,7
14 – Penzing	56,8	70,5
16 – Ottakring	66,3	80,0
17 – Hernals	58,2	71,9
18 – Währing	69,2	82,9
19 – Döbling	62,4	76,1
23 - Liesing	80,4	94,1

¹ bei einer angenommenen Erhöhung von 13,7 Sommertagen ($T_{k,w}$)

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von ZAMG 2015

6.2.3. Ermittlung der vermiedenen Todes- bzw. Krankheitsfälle und Monetarisierung

Auf Basis der errechneten hypothetischen Zunahme der jährlichen Sommertage in den besagten Bezirken ohne Ausgleichsleistung des Wienerwaldes erfolgt die Ermittlung der durch die Ökosystemleistung vermiedenen Todes- bzw. Krankheitsfälle und in weiterer Folge deren Monetarisierung. Die Ermittlung der Todes- und Krankheitsfälle erfolgte dabei in zwei separaten Schritten. Folgende Ausführungen erläutern die herangezogenen Daten sowie deren Verwendung im Rahmen der Bewertung.

Die benötigten Daten zu den jährlichen Gesamttodesfällen auf Bezirksebene entstammen der Statistik Austria. Die aktuellsten Daten lagen dabei für das Jahr 2013 vor. Wienweit wurden dabei gesamt rund 16.000 Todesfälle verzeichnet wobei davon rund 5.200 Todesfälle auf die von den Ausgleichswirkungen profitierenden Bezirke fielen. Verknüpft mit den jährlich auftretenden Sommertagen zum Status Quo, der angenommenen Mortalitätsrate je Sommertag von 5,8 % und der saisonalen Sterblichkeitsanpassung konnten so die derzeit hitzebedingten Todesfälle für ganz Wien berechnet werden. Dementsprechend ist wienweit unter den derzeit vorherrschenden klimatischen Bedingungen von 209,4 hitzebedingten Todesfällen jährlich auszugehen. In den von der Kühlleistung des Waldes profitierenden Bezirken beläuft sich die Zahl der jährlichen Hitzeopfer auf 56,6. In einem weiteren Schritt werden die zusätzlich auftretenden jährlichen Todesfälle bei einer hypothetischen Nichtbereitstellung der Ökosystemleistung berechnet. Dazu wird die im vorangegangenen Kapitel berechnete erhöhte Anzahl an Sommertagen (siehe Tabelle 11) für die betroffenen Bezirke herangezogen. Aus dieser Berechnung resultiert eine zusätzliche Anzahl an Todesfällen von 11,9. Dies würde bedeuten, dass bei einem vollkommenen Wegfall der Ausgleichsfunktion des Wienerwaldes jährlich rund 12 zusätzliche hitzebedingte Todesfälle in Wien zu erwarten wären.

Als Datengrundlage zur Ermittlung der Veränderungen in der Anzahl der Krankheitsfälle dienen die jährlichen Krankenhausentlassungen für Wien aus dem Jahr 2013. Diese Daten wurden ebenfalls von der Statistik Austria bezogen. Ambulante Aufenthalte sowie Wohnort bzw. Herkunft der entlassenen Patienten wurden hier nicht berücksichtigt. Laut diesen Daten kam es in den Wiener Krankenhäusern im Jahr 2013 zu rund 635.000

Krankenhausentlassungen. Da die Daten zu den Krankenhausentlassungen nur auf Stadtebene und nicht auf Bezirksebene vorliegen wurde eine Krankenhausentlassungsrate pro Einwohner ermittelt welche es wiederum ermöglichte die Entlassungen auf Bezirksebene zu berechnen. Diese Daten zu den Krankenhausentlassungen auf Bezirksebene konnten nun analog zur Berechnung der Todesfälle mit den klimatischen Annahmen und der Morbiditätsrate (hier 4 %) verknüpft werden um einerseits die hitzebedingten Krankheitsfälle zum Status Quo und andererseits zum Szenario der fehlenden Ausgleichsleistung zu ermitteln. Eine saisonale Sterblichkeitsanpassung wie im Fall der Ermittlung der Todesfälle wird hier nicht durchgeführt, da eine solche im Bezug auf Krankheitsfälle (noch) nicht beobachtet werden konnte (HÜBLER et al. 2008). Die Berechnung kam dabei zu dem Ergebnis, dass ohne die ausgleichende Wirkung des Waldes hypothetisch ca. 250 Krankheitsfälle mehr im Jahr auftreten würden als beim Status Quo. Um schlussendlich die bei einer Nichtbereitstellung der klimaregulierenden Wirkung des Wienerwaldes auftretenden zusätzlichen Gesundheitskosten zu erhalten werden die zusätzlichen Todes- und Krankheitsfälle mit den in Kapitel beschriebenen Kostensätzen (VSL und Behandlungskosten) multipliziert. Die detaillierten Ergebnisse sind Tabelle 12 zu entnehmen. Ohne die klimaregulierende Leistung des Wienerwaldes würden in Wien demnach zusätzliche Gesundheitskosten von rund 38 Millionen Euro jährlich entstehen. Anders ausgedrückt werden diese Kosten durch die Ökosystemleistung vermieden.

Tabelle 12: Ergebnisse der Berechnung der hypothetischen vermiedenen jährlichen hitzebedingten Todes- und Krankheitsfallkosten aufgrund der klimaregulierenden Funktion des Wienerwaldes

Untersuchte Bezirke	Bevölkerung (2013)	Gesamt-todesfälle (2013)	Hitzebedingte Todesfälle Status Quo	Vermiedene Todesfälle aufgrund der klimaregulierenden Wirkung des Wienerwaldes	Vermiedene Todesfälle aufgrund d. klimaregulierenden Wirkung des Wienerwaldes bewertet mit Wert eines statistischen Lebens (in Euro)
13	50.831	710	7,0	1,6	5.034.927,62
14	86.248	898	8,5	2,0	6.368.119,72
16	97.565	876	9,7	2,0	6.212.107,88
17	53.489	412	4,0	0,9	2.921.676,31
18	48.162	461	5,3	1,0	3.269.157,23
19	68.892	917	9,5	2,1	6.502.857,22
23	95.263	945	12,6	2,1	6.701.417,75
Gesamt	500.456	5.219	56,6	11,9	37.010.263,74
Untersuchte Bezirke	Bevölkerung (2013)	Gesamt-Krankheitsfälle (2013)	Hitzebedingte Krankheitsfälle Status Quo	Vermiedene Krankheitsfälle aufgrund der klimaregulierenden Wirkung des Wienerwaldes	Vermiedene Krankheitsfälle aufgrund d. klimaregulierenden Wirkung des Wienerwaldes bewertet mit den durchschn. Kosten eines Krankenhausaufenthaltes in Wien (in Euro)
13	50.831	18.565	110,4	25,6	112.753,03
14	86.248	31.500	180,4	43,4	191.314,82
16	97.565	35.633	238,2	49,1	216.418,12
17	53.489	19.535	114,6	26,9	118.648,99
18	48.162	17.590	122,7	24,2	106.832,67
19	68.892	25.161	158,3	34,7	152.815,84
23	95.263	34.792	282,0	47,9	211.311,84
Gesamt	500.456	182.774	1.206,7	251,7	1.110.095,30

Quelle: eigene Berechnungen

6.2.4. Alternativer Bewertungsansatz

Aufgrund der Unsicherheiten in Bezug auf die quantitative klimaregulierende Wirkung von Waldflächen auf das Stadtklima erfolgt die ökonomische Bewertung hier anhand eines alternativen klimatischen Ansatzes. Dabei wird von einer großräumlicheren Ausgleichswirkung aller Wien umgebenden Wald- und Grünflächen ausgegangen. Die Annahmen in diesem Beispiel basieren dabei größtenteils auf der von MASSON et al. (2013) erstellten Studie, welche dem regionalen Freiraumverbund und dabei insbesondere Waldflächen im Großraum Paris eine klimaregulierende Wirkung auf gesamtstädtischer Ebene zuschreibt. Aber auch verschiedentliche andere Quellen wie etwa das STEP 2025 – Fachkonzept Grünraum oder der Wiener Waldentwicklungsplan gehen von einer gesamtstädtischen Beeinflussung des Stadtklimas durch die stadtnahen Wald- und Grünflächen aus (LANDESFORSTDIREKTION WIEN 2005; MAGISTRATSABTEILUNG 18 2015).

Zur Abschätzung des thermischen Ausgleichspotentials der Wald- und Grünflächen in Wien werden dazu die beobachteten Sommer- bzw. Hitzetage ($T_{0,k,w}$) der Wetterstationen Innere Stadt und Hohe Warte herangezogen. Die Station Hohe Warte soll dabei die thermischen Bedingungen in den weniger dicht bebauten Randbezirken repräsentieren, welche aufgrund ihrer Nähe zu den großen Waldgebieten des Wienerwaldes von deren Kaltluftabflüssen und der damit verbundenen Abkühlung profitieren. Die Station Innere Stadt repräsentiert folglich die thermischen Bedingungen der dicht bebauten Innenstadt mit einem stark ausgeprägten Wärmeinseleffekt. Folgende Tabelle zeigt die in der Periode 1971 bis 2000 beobachteten jährlichen Sommer- bzw. Hitzetage:

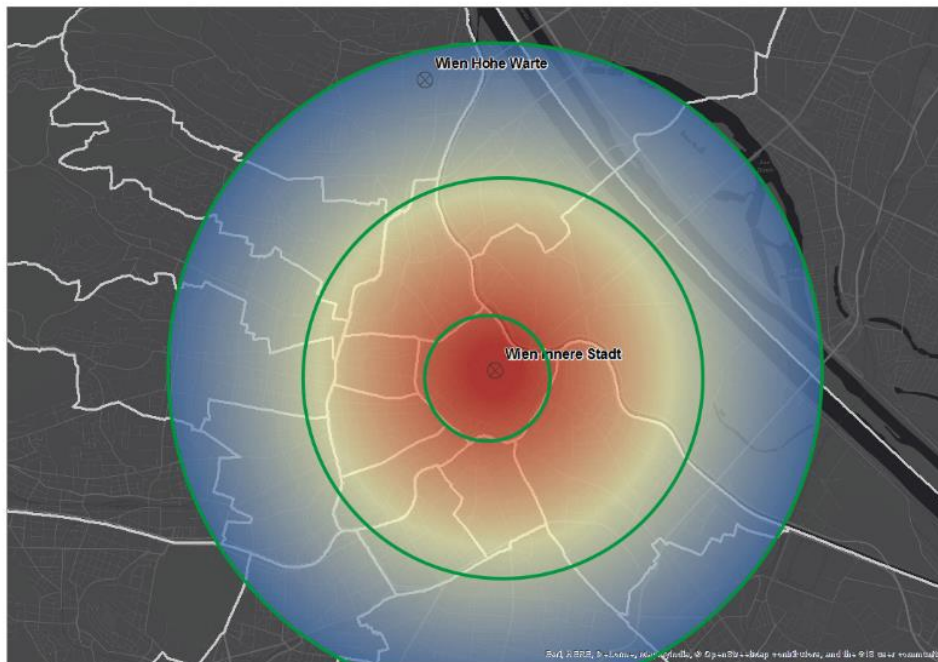
Tabelle 13: Anzahl der jährlichen Sommer- bzw. Hitzetage an zwei ausgewählten Messstationen in Wien (Referenzperiode: 1971 – 2000)

	Anzahl der Sommertage	Anzahl der Hitzetage
Innere Stadt	67,6	17,9
Hohe Warte	56,4	11,5

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von ZAMG 2015

Zusätzlich wird mittels einer GIS Software zwischen den beiden Stationen interpoliert um die räumliche Verteilung der klimatischen Kenntage zu simulieren. Abbildung 25 stellt die berechnete räumliche Verteilung der klimatischen Kenntage dar.

Abbildung 25: Räumliche Verteilung der klimatischen Kenntage in Wien mit schematischer Darstellung der Klimasektoren



Quelle: eigene Darstellung

Für die Bereiche außerhalb des Kreises wird die gleiche Anzahl an Sommer- bzw. Hitzetagen wie für die Station Hohe Warte angenommen. Aufgrund dieser räumlichen Verteilung werden drei sogenannte Klimasektoren definiert, welche durch die grünen Kreise angedeutet werden. Klimasektor 1 stellt dabei den 1. Bezirk mit 67,6 Sommer- und 17,9 Hitzetagen dar. Klimasektor 2 umfasst die inneren, dicht bebauten Bezirke ohne Randlage (2. bis 9., 15. und 20. Bezirk). Für diese Bezirke wird der Mittelwert an Sommer- bzw. Hitzetagen der Station Hohe Warte und Innere Stadt angenommen. Dies ergibt 62 Sommer- und 14,7 Hitzetage in Klimasektor 2. Die restlichen Bezirke befinden sich in Klimasektor 3 mit 56,4 Sommer- sowie 11,5 Hitzetagen.

Darauf aufbauend wird vereinfacht angenommen, dass bei einer fehlenden Bereitstellung der klimatischen Ausgleichsfunktion durch die Wald- und Grünflächen alle Sektoren die gleiche Anzahl an Sommer- und Hitzetagen des Sektors 1 aufweisen würden ($T_{k,w}$). Es käme also in den Sektoren 2 und 3 zu einer Erhöhung der Sommertage um 5,6 bzw. 13 sowie von Hitzetagen um 3,2 bzw. 7,2. In weiterer Folge war es notwendig, die absoluten Todesfälle je Klimasektor (M_w) also der entsprechenden Bezirke zu ermitteln, welche in Tabelle 14 dargestellt werden.

Die Quantifizierung der zusätzlichen Todes- und Krankheitsfälle erfolgt analog zu dem vorangegangenen Beispiel und wird hier nicht weiter erläutert. Die Ergebnisse sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 14: Ergebnisse der alternativen Berechnung der hypothetisch vermiedenen jährlichen hitzebedingten Todes- und Krankheitsfallkosten aufgrund der klimaregulierenden Funktion von Waldflächen in Wien

Modellierte Klimazonen	Bevölkerung (2013)	Gesamt-todesfälle (2013)	Hitzebedingte Todesfälle Status Quo	Vermiedene Todesfälle aufgrund der klimaregulierenden Wirkung von Wäldern	Vermiedene Todesfälle aufgrund d. klimaregulierenden Wirkung von Wäldern bewertet mit Wert eines statistischen Lebens (in Euro)
Klimazone 1	16.268	190	0,0	0,0	0,00
Klimazone 2	548.262	4.804	84,4	11,4	35.422.023,37
Klimazone 3	1.176.716	11.338	115,6	42,9	133.768.675,04
Gesamt	1.741.246	16.332	56,6	54,2	169.190.698,41
Modellierte Klimazonen	Bevölkerung (2013)	Gesamt-Krankheitsfälle (2013)	Hitzebedingte Krankheitsfälle Status Quo	Vermiedene Krankheitsfälle aufgrund der klimaregulierenden Wirkung von Wäldern	Vermiedene Krankheitsfälle aufgrund d. klimaregulierenden Wirkung von Wäldern bewertet mit den durchschn. Kosten eines Krankenhausaufenthaltes in Wien (in Euro)
Klimazone 1	16.268	5.941	55,7	0,0	0,00
Klimazone 2	548.262	243.101	2043,4	234,4	1.033.890,74
Klimazone 3	1.176.716	386.897	2768,7	856,5	3.777.046,20
Gesamt	1.741.246	635.939	4.867,8	1.090,9	4.810.936,92

Quelle: eigene Berechnung

Es zeigt sich, dass die vermiedenen Gesundheitskosten bei einer Berechnung anhand dieser klimatischen Annahmen doch deutlich höher sind. Die hypothetisch vermiedenen Kosten für Todesfälle betragen dabei rund 170 Millionen Euro. Die vermiedenen Kosten für Krankheitsfälle belaufen sich auf rund 4,8 Millionen Euro.

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND DISKUSSION

In diesem abschließenden Kapitel sollen die aus der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse zusammenfassend dargestellt und diskutiert werden.

Die vorliegende Arbeit reiht sich in eine Vielzahl von in der jüngeren Vergangenheit entstandenen Ansätzen zur Erfassung des ökonomischen Wertes der von Ökosystemen erbrachten Leistungen. Die in der Literatur anzutreffenden Bewertungsansätze sind dabei genau so vielfältig wie die von der Natur erbrachten Leistungen selbst. Neben zahlreichen Einzelstudien und –bewertungen rückte dabei auch die gesamtheitliche Erfassung und Bewertung aller auf der Erde vorkommenden Ökosysteme und dessen Leistungen in den Mittelpunkt des Forschungsinteresses. Eine Vorreiterrolle nahm in diesem Zusammenhang die Millennium Ecosystem Assessment- und die darauf aufbauende TEEB-Studie ein. Im Rahmen dieser von den Vereinten Nationen ins Leben gerufenen Studien wurde eine systematische Erfassung und Bewertung der weltweiten Ökosystemleistungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Studie konnten eine bereits fortgeschrittene Degradation der auf der Erde vorkommenden Ökosystemleistungen feststellen weshalb im gleichen Zuge Handlungsempfehlungen zur Vermeidung einer anhaltenden Zerstörung der Ökosysteme abgegeben wurden. Der ökonomischen Bewertung und der damit verbundenen Inwertsetzung von Ökosystemleistungen kann dabei eine entscheidende Rolle zum Schutz der Ökosysteme zukommen. So stellt die ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen mittlerweile ein, wenn auch nicht unumstrittenes, wichtiges Instrument zur Argumentation im Bereich des Naturschutzes dar, da damit das Bewusstsein für den Wert der Natur abseits des bloßen Rohstoffgedankens mittels wirtschaftlicher Argumente geschärft werden kann. Die Ausführungen der vorliegenden Arbeit können dabei wie eingangs bereits erwähnt als ein weiterer Ansatz zur Verdeutlichung des Wertes der von der Natur bereitgestellten Leistungen verstanden werden.

Der hier gewählte Ansatz der ökonomischen Bewertung der klimaregulierenden Leistung von Wald anhand der Gesundheitskostenmethode stellt einen innovativen Bewertungsansatz dar und wurde dementsprechend nicht in dieser Form in der Literatur vorgefunden. Es musste also eine eigene Systematik zur Bewertung entwickelt werden. Dabei zeigte sich deutlich, wie schwierig eine exakte Abgrenzung der klimaregulierenden Wirkung von Waldflächen ist. Auch wenn eine merklich positive Wirkung von Waldflächen auf Siedlungsflächen unbestritten ist,

sind pauschale Aussagen sowie Indikatoren zur Quantifizierung und Messung dieser komplexen Prozesse bis jetzt nicht vorhanden. Vor allem die Fragen bezüglich des flächenabhängigen Ausgleichspotentials von Waldflächen sowie der Distanzwirkung der Ausgleichsfläche Wald erwiesen sich als problematisch und zeigten entsprechende Forschungslücken auf. Dies mag auch daher rühren, dass quantitative Analysen im Bereich der Stadtklimatologie oft auf innerstädtische Grünflächen (mikroklimatische Ebene) und nicht auf größere zusammenhängende Waldflächen im periurbanen Umfeld (mesoklimatische Ebene) beziehen. Stadtklimatische Analysen auf regionaler bzw. mesoklimatischer Ebene geben bislang meist nur qualitative Aussagen zu besagten Prozessen. Womöglich ist eine diesbezügliche Indikatorbildung gar nicht möglich, da klimatische Prozesse wie etwa die hier relevanten Kaltluftabflüsse stark standort- und situationsabhängig sind.

Aufgrund dieser Unsicherheiten wurde die Bewertung anhand zweier unterschiedlicher klimatischer Annahmen vorgenommen. Bewertungsansatz 1 geht dabei von einer räumlich begrenzten klimaregulierenden Funktion der Wienerwaldflächen aus wohingegen Bewertungsansatz 2 von einer gesamtstädtischen Wirkungsentfaltung ausgeht. Ziel war es dabei den Einfluss verschiedener klimatischer Annahmen auf das Bewertungsergebnis aufzuzeigen. Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse der beiden Bewertungsansätze:

Tabelle 15: Vergleich der Ergebnisse der beiden Bewertungsansätze

	Bewertungsansatz 1	Bewertungsansatz 2
Zusätzliche jährliche Todesfälle	11,9	54,2
Zusätzliche jährliche Krankheitsfälle	251,7	1.090,9
Zusätzliche jährliche Gesundheitskosten in Mio. Euro (gerundet)	38,120	174,001

Quelle: eigene Berechnung

Die Ergebnisse der beiden Bewertungsansätze weisen naturgemäß deutliche Unterschiede auf. Dies ist einerseits auf die höhere Anzahl an betroffenen Menschen in Ansatz 2 andererseits dem dort angenommenen ausgeprägteren Ausgleichspotenzial des Waldes geschuldet. Diese Unterschiede in der Betrachtungsweise eignen sich jedoch dazu, zukunftsrelevante Entwicklungstendenzen abzubilden. Der sich fortsetzende Trend zur Urbanisierung wird beispielsweise mit einem Bevölkerungswachstum in Wien und anderen

Städten einhergehen. Eine höhere Einwohnerzahl bedeutet dabei gleichzeitig eine Erhöhung des Schadenpotenzials. Gleichzeitig wird dies jedoch auch den Siedlungsdruck an den Stadträndern erhöhen wodurch stadtnahe Waldflächen eventuell gefährdet werden. Weiters wird der prognostizierte Klimawandel zu einer erhöhten Anzahl an Hitzeereignissen führen wodurch den klimaregulierenden Leistungen von Waldflächen eine zusätzliche Bedeutung zukommen wird.

Aus Sicht der Raumplanung wird es in diesem Zusammenhang nötig sein auf regionaler Ebene dafür zu sorgen, dass großflächige zusammenhängende Waldflächen erhalten bleiben oder erweitert werden. In Wien wird dem bereits größtenteils Rechnung getragen. Dies zeigt sich unter anderem im umfassenden rechtlich verankerten Schutz der großen bestehenden Wiener Waldflächen aber auch in der Anstrengung neue Waldgebiete, wie etwa dem Projekt „Norbert-Scheid-Wald im Norden der Stadt, zu errichten. Als ein ebenfalls geeignetes Instrument zur Sicherung von klimaregulierenden Waldflächen erweist sich der Waldentwicklungsplan aus dem Bereich der forstlichen Raumplanung. Durch die Ausweisung als Wohlfahrtswald ist der Waldbesitzer gezwungen den Wald in jener Art und Weise zu bewirtschaften, dass die Wohlfahrtswirkung erhalten bleibt. Zusätzlich muss auf kommunaler Ebene mittels geeigneter Instrumente versucht werden die Ausdehnung der Siedlungsgebiete so gering wie möglich zu halten um zusätzliche Versiegelungen von klimatisch wichtigen Ausgleichsflächen zu verhindern. Dabei ist zum Beispiel an eine nach innen gerichtete auf Verdichtung abzielende Entwicklung zu denken. Außerdem gilt es die bestehenden Flächen die als Kaltluftbahnen dienen von Bebauung freizuhalten.

8. VERZEICHNISSE

8.1. Literaturverzeichnis

- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Wien. 1096 S.
- AUER, I., BÖHM, R. & MOHNL, H. (1989): Klima von Wien. Wien.
- BAMMEL, K., FALLERT-MÜLLER, A., KILIAN, U. & KLONK, S. (2009): Der Brockhaus Wetter und Klima: Phänomene, Vorhersage, Klimawandel. Leipzig.
- BARROW, M. W. & CLARK, K. A. (1998): Heat-related illnesses. *American Family Physician* 58. (Heft 3). S. 749–756, 759.
- BASU, R. & SAMET, J. M. (2002): Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiologic Reviews* 24. (Heft 2). S. 190–202.
- BERGER, R. & EHRENDORFER, F. (2011): Ökosystem Wien: die Naturgeschichte einer Stadt. Wien.
- BMFLUW (2012): WEP Richtlinie. http://www.bmlfuw.gv.at/dms/lmat/forst/oesterreich-wald/raumplanung/waldentwicklungsplan/WEP/2012_neu_WEP-Richtlinie_2012_mit-Leitbild_Helvetica_17-07-2012_0800/2012_neu_WEP%20Richtlinie_2012_mit%20Leitbild_Helvetica_17%2007%202012_0800.pdf (04.05.2015)
- BMG (2015): Stationäre Kosten in landesgesundheitsfondsfinanzierten Krankenanstalten 2005-2014. Wien.
- BMLFUW (Hrsg.) (2014): Biodiversitäts-Strategie Österreich 2020+. Wien.
- BMLFUW (2015a): Nachhaltige Waldwirtschaft in Österreich - Österreichischer Waldbericht 2015. Wien.
- BMLFUW (2015b): Wirtschaftliche Bedeutung Ökosystemleistungen. Wien.
- BONGARDT, B. (2006): Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen: dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. Hohenwarsleben. 228 S.
- CHEN, D., WANG, X., THATCHER, M., BARNETT, G., KACHENKO, A. & PRINCE, R. (2014): Urban vegetation for reducing heat related mortality. *Environmental Pollution* 192. S. 275–284.
- CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (Hrsg.) (2006): Global biodiversity outlook 2. Montreal. 81 S.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKIN, R. G., SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387. (Heft 6630). S. 253–260.

- DIMOUDI, A. & NIKOLOPOULOU, M. (2003): Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35. (Heft 1). S. 69–76.
- DOICK, K. & HUTCHINGS, T. (2013): Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure.
- EHRNLEITNER, T. (2013): Mikroklimatische Wirkung von Grünflächen in Städten: Eine Zusammenschau sowie planerische Aspekte. Place of publication not identified. 112 S.
- ELIASSON, I. & HOLMER, B. (1990): Urban heat island circulation in Göteborg, Sweden. *Theoretical and Applied Climatology* 42. (Heft 3). S. 187–196.
- ELIASSON, I. & UPMANIS, H. (2000): Nocturnal Airflow from Urban Parks-Implications for City Ventilation. *Theoretical and Applied Climatology* 66. (Heft 1–2). S. 95–107.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) (2011): Die Biodiversitätsstrategie der EU bis 2020. Luxemburg. 27 S.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2012): ARBEITSUNTERLAGE DER KOMMISSIONSDIENSTSTELLEN - Leitlinien für bewährte Praktiken zur Begrenzung, Milderung und Kompensierung der Bodenversiegelung. Brüssel.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013): MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN. Brüssel.
- GEO-NET CONSULTING GMBH (2012): Leitfaden zur Berücksichtigung klimatischer Ausgleichsfunktionen in der räumlichen Planung am Beispiel der Regionen Mittlerer Oberrhein und Nordschwarzwald. Hannover.
- GEO-NET CONSULTING GMBH (2014): Stadtklimaanalyse Landeshauptstadt München. o. O.
- GERERSDORFER, T., FORMAYER, H., MOSHAMMER, H., FRANK, A., HAAS, P. & LEITNER, B. (2006): Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima. Teilprojekt von StartClim2005 „Klimawandel und Gesundheit.
- GETZNER, M., JUNGMEIER, M., KÖSTL, T. & WEIGLHOFER, S. (2011): Fließstrecken der Mur - Ermittlung der Ökosystemleistungen - Endbericht. Klagenfurt.
- GILL, S. ., HANDLEY, J. ., ENNOS, A. . & PAULEIT, S. (2007): Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment* 33. (Heft 1). S. 115–133.
- HAGEN, K. (2011): Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Dissertation, TU Wien.
- HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. (2011): Common international classification of ecosystem services (CICES): 2011 Update. Nottingham: Report to the European Environmental Agency.

- HANSJÜRGENS, B. (Hrsg.) (2012): Einführung und Grundlagen: Erste Veranstaltung der Workshop-Reihe des Bundesamtes für Naturschutz ... 07. - 11. November 2011, Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm. Bonn. 82 S.
- HARLFINGER, O. & KNEES, G. (1999): Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung. Band 1. 1., mit 14 Farbtaf. o. O. 196 S.
- HIDALGO, J., MASSON, V. & GIMENO, L. (2009): Scaling the Daytime Urban Heat Island and Urban-Breeze Circulation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49. (Heft 5). S. 889–901.
- HIEBL, J., REISENHOFER, S., AUER, I., BÖHM, R. & SCHÖNER, W. (2011): Multi-methodical realisation of Austrian climate maps for 1971–2000. *Adv. Sci. Res.* 6. S. 19–26.
- HÜBLER, M. & KLEPPER, G. (2007): Kosten des Klimawandels - Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit.
- HÜBLER, M., KLEPPER, G. & PETERSON, S. (2008): Costs of climate change: The effects of rising temperatures on health and productivity in Germany. *Ecological Economics* 68. (Heft 1–2). S. 381–393.
- HUTTER, H.-P., MOSHAMMER, H., WALLNER, P., LEITNER, B. & KUNDI, M. (2007): Heatwaves in Vienna: effects on mortality. *Wiener klinische Wochenschrift* 119. (Heft 7–8). S. 223–227.
- IMA (2013): Modellgestützte Klimaanalyse und –bewertung für die Regionalplanung in Hessen Grundlagen am Bsp. Marburg. o. O.
- KOPPE, C., JENDRITZKY, G. & PFAFF, G. (2003): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. *DWD Klimastatusbericht 2003*. S. 152–162.
- KOPPE, C., KOVATS, S., MENNE, B. & JENDRITZKY, G. (2004): Heat-waves: risks and responses.
- KOVATS, R. S. & HAJAT, S. (2008): Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annual Review of Public Health* 29. (Heft 1). S. 41–55.
- KROMP-KOLB, H., FORMAYER, H. & CLEMENTSCHITSCH, L. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien.
- KUMAR, P. (2010): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: ecological and economic foundations*. o. O.
- KUTTLER, W. (2004): Stadtklima. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 16. (Heft 4). S. 263–274.
- KUTTLER, W. (2008a): *Klimatologie*. o. O. 264 S.
- KUTTLER, W. (2008b): *Klimatologie: Grundriss Allgemeine Geographie*. 1. Aufl. o. O.
- LANDESFORSTDIREKTION WIEN (2005): *Waldentwicklungsplan - Teilplan Wien*.

- LI, Y., ZHAO, M., MOTESHARREI, S., MU, Q., KALNAY, E. & LI, S. (2015): Local cooling and warming effects of forests based on satellite observations. *Nature Communications* 6.
- LOOMIS, J. B. & RICHARDSON, R. (2000): Economic values of protecting roadless areas in the United States. o. O.
- MAGISTRATSABTEILUNG 18 (2015): STEP2025 - Stadtentwicklungsplan Wien - Fachkonzept Grün- und Freiraum. Wien.
- MALBERG, H. (1997): *Meteorologie und Klimatologie: eine Einführung*. Berlin [u.a.].
- MALBERG, H. (2013): *Meteorologie und Klimatologie: Eine Einführung*. o. O. 377 S.
- MARKTL, W. (2010): Klima beeinflusst Mortalität. *Österreichische Ärztezeitung*. (Heft 10). S. 64.
- MASSON, V., LION, Y., PETER, A., PIGEON, G., BUYCK, J. & BRUN, E. (2013): "Grand Paris": regional landscape change to adapt city to climate warming. *Climatic Change* 117. (Heft 4). S. 769–782.
- MATHEY, J., RÖBLER, S., LEHMANN, I., BRÄUER, A., GOLDBERG, V., KURBUJHN, C. & WESTBELD, A. (2012): Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel: Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben (FKZ 3508 821 800) „Noch wärmer, noch ... und Freiraumstrukturen im Klimawandel“. 1., Aufl. Bonn-Bad Godesberg.
- MATZARAKIS, A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas.
- MATZARAKIS, A., MUTHERS, S. & KOCH, E. (2010): Human biometeorological evaluation of heat-related mortality in Vienna. *Theoretical and Applied Climatology* 105. (Heft 1–2). S. 1–10.
- MCPHERSON, G. E., NOWAK, D. J. & ROWNTREE, R. A. (1994): Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project.
- MOSHAMMER, H. (2006): Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien.
- MOSHAMMER, H., GERERSDORFER, T., HUTTER, H.-P., FORMAYER, H., KROMP-KOLB, H. & SCHWARZL, I. (2009): Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich.
- MUTHERS, S., MATZARAKIS, A. & KOCH, E. (2010a): Climate Change and Mortality in Vienna—A Human Biometeorological Analysis Based on Regional Climate Modeling. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7. (Heft 7). S. 2965–2977.
- MUTHERS, S., MATZARAKIS, A. & KOCH, E. (2010b): Summer climate and mortality in Vienna – a human-biometeorological approach of heat-related mortality during the heat waves in 2003. *Wiener klinische Wochenschrift* 122. (Heft 17–18). S. 525–531.
- NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE (Hrsg.) (2012): *Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft - Eine Einführung*. 2. Aufl. München. 90 S.

- NATURKAPITAL DEUTSCHLAND - TEEB DE (2016): Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Berlin, Leipzig.
- OKE, T. R. (1987): Boundary layer climates. London.
- OKE, T. R., J. M. CROWTHER, K. G. MCNAUGHTON, J. L. MONTEITH & B. GARDINER (1989): Micrometeorology of an Urban Forest.pdf. o. O.
- OLIVEIRA, S., ANDRADE, H. & VAZ, T. (2011): The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. Building and Environment 46. (Heft 11). S. 2186–2194.
- ÖSTERREICHISCHE RAUMORDNUNGSKONFERENZ (Hrsg.) (2011): Österreichisches Raumentwicklungskonzept. Wien. 101 S.
- PETER LEBER (2015): Interview. o. O.
- PREISS, J. & HÄRTEL, C. (2015): Urban Heat Island - Strategieplan Wien. Wien.
- REUTER, U. & KAPP, R. (2012): Städtebauliche Klimafibel - Hinweise für die Bauleitplanung.
- REY, G., JOUGLA, E., FOUILLET, A., PAVILLON, G., BESSEMOULIN, P., FRAYSSINET, P., CLAVEL, J. & HÉMON, D. (2007): The impact of major heat waves on all-cause and cause-specific mortality in France from 1971 to 2003. International Archives of Occupational and Environmental Health 80. (Heft 7). S. 615–626.
- SACHSEN, T. G. (2013): Die Wirkung von Vegetation in randstädtischen Luftleitbahnen : Studien zur Kaltluft in der Stadt Aachen.
- SCHERBER, K. (2014): Auswirkungen von Wärme-und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II.
- SCHWAB, U. & STEINICKE, W. (2003): Stadtklimauntersuchung Wien.
- STEININGER, K. W., KÖNIG, M., BEDNAR-FRIEDL, B., KRANZL, L., LOIBL, W. & PRETTENTHALER, F. (2015): Economic Evaluation of Climate Change Impacts: Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria. o. O. 473 S.
- TURNER, R. K., PAAVOLA, J., COOPER, P., FARBER, S., JESSAMY, V. & GEORGIU, S. (2003): Valuing nature: lessons learned and future research directions. Ecological economics 46. (Heft 3). S. 493–510.
- UNMÜBIG, B. (2015): Vom Wert der Natur. Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift 30. (Heft 1). S. 11.
- VAN KOOTEN, G. C. & BRENT SOHNGEN (2007): Economics of Forest Ecosystem Carbon Sinks: A Review. Submitted to the Forestry Chronicle.

ZAMG (2015): Klimadaten von Österreich 1971 - 2000.
http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm (07.09.2015)

ZAMG (2016): Kompas WebGIS. <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimakarten> (07.09.2015)

ZANINOVIĆ, K. & MATZARAKIS, A. (2013): Impact of heat waves on mortality in Croatia. International journal of biometeorology 58. (Heft 6).

ZUVELA-ALOISE, M. (2013): Adaption and mitigation of the climate change impact on urban heat stress based on model runs derived with an urban climate model.

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Bewertung von Ökosystemleistungen	12
Abbildung 2: Wertschätzung für öffentliche Güter	16
Abbildung 3: Waldentwicklungsplan Österreich.....	28
Abbildung 4: Verteilung der Waldfunktionen	31
Abbildung 5: Schutzgebiete in Wien	34
Abbildung 6: Jahresmittel der Lufttemperatur in Österreich	39
Abbildung 7: Beobachtete maximale Temperaturunterschiede in ausgewählten europäischen Städten	41
Abbildung 8: Schnitt durch die städtische Wärmeinsel	42
Abbildung 9: Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts.....	43
Abbildung 10: Energieabgabe eines Baumes an dessen Umwelt	47
Abbildung 11: Hang-, Berg- und Flurwindsystematik	51
Abbildung 12: Verhältnis von Vegetationsausstattung (gvd), Flächengröße und thermischem Wirkungspotential – gemessen an einem Sommertag um 14:00 Uhr.....	54
Abbildung 13: Auswirkungen einer Veränderung der Landbedeckung von Wald- zu Stadtflächen auf die durchschnittlichen jährlichen Sommertage in Wien	55
Abbildung 14: Klimawandelszenarien bis 2100 nach IPCC	57
Abbildung 15: Beobachtete mittlere jährliche Sommertage in Wien (Beobachtungsperiode 1971 – 2000) (oben) und geschätzte Anzahl der zukünftigen jährlichen Sommertage (2070- 2100) bei einem angenommenen Klimaszenario A1B (unten)	58
Abbildung 16: Wärmebilanz des Menschen	59
Abbildung 17: Bewertung des thermischen Befindens anhand der Indizes PMV und PET	62
Abbildung 18: Wirkungsgefüge zur Ermittlung der durch Waldflächen vermiedenen Gesundheitskosten.....	71
Abbildung 19: Jahresmittel der Lufttemperatur in Wien. Beobachtungsperiode 1951-1980.	73
Abbildung 20: Mittlere jährliche Sommer- und Hitzetage in Wien. Beobachtungsperiode 1951- 1980.....	73
Abbildung 21: Mittlere monatliche Lufttemperatur ausgewählter Wetterstationen in Wien. Beobachtungsperiode 1971 – 2000	74
Abbildung 22: Bewertungskarte Klima und Luft für Wien	75
Abbildung 23: Jährliche Sommertage in Wien. Klimaperiode 1971-2000	76
Abbildung 24: Mittlere jährliche Sommertage in Wiener Bezirken. Klimaperiode 1971-2000	78

Abbildung 25: Räumliche Verteilung der klimatischen Kenntage in Wien mit schematischer Darstellung der Klimasektoren	83
--	----

8.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definition der Wertigkeit der Funktionen	28
Tabelle 2: Kennzahl der Funktionsbewertung	29
Tabelle 3: Besitzverhältnisse des österreichischen Waldes (Erhebungsjahr 2012).....	35
Tabelle 4: Klimazonen und -typen der Erde nach Köppen.....	37
Tabelle 5: Ausgewählte Charakteristik des Stadtklimas einer Großstadt in mittleren Breiten	40
Tabelle 6: Ursachen des Stadtklimas.....	45
Tabelle 7: Wirksamkeit in Bezug auf die Kaltluftproduktion unterschiedlicher Bodenbedeckungen und Vegetationsstrukturen (-- sehr gering, - gering, o mittel, + hoch, ++ sehr hoch).....	50
Tabelle 8: Beobachtete Wirkungsintensität und Reichweite städtischer Grünflächen nach Flächengröße.....	53
Tabelle 9: Klimatologische Kenntage	61
Tabelle 10: Kostenarten und -elemente der Gesundheitskostenmethode	67
Tabelle 11: Hypothetische klimatische Ausgleichswirkung (Sommertage) des Wienerwaldes auf Bezirksebene	78
Tabelle 12: Ergebnisse der Berechnung der hypothetischen vermiedenen jährlichen hitzebedingten Todes- und Krankheitsfallkosten aufgrund der klimaregulierenden Funktion des Wienerwaldes.....	81
Tabelle 13: Anzahl der jährlichen Sommer- bzw. Hitzetage an zwei ausgewählten Messstationen in Wien (Referenzperiode: 1971 – 2000)	82
Tabelle 14: Ergebnisse der alternativen Berechnung der hypothetisch vermiedenen jährlichen hitzebedingten Todes- und Krankheitsfallkosten aufgrund der klimaregulierenden Funktion von Waldflächen in Wien	84
Tabelle 15: Vergleich der Ergebnisse der beiden Bewertungsansätze	86