

Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DISSERTATION

Freiraum im Freiraum Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der technischen Wissenschaften

am

Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen
Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

Gutachter:

O.Univ.Prof. Richard Stiles MA Dip LD Dr.h.c.

Ao.Univ.Prof. Dr.phil. Erich Mursch-Radlgruber
(BOKU Wien, Institut für Meteorologie)

von

Dipl.-Ing. Katrin Hagen

Matr.Nr.: 9826737

1070 Wien, Westbahnstraße 14/14

Wien im Juni 2011

Kurzfassung

Der Forschungsschwerpunkt liegt auf den Gebieten Klimaerwärmung, Stadtklima und dem Potential der Landschaftsarchitektur im Umgang mit der fortschreitenden Überwärmung innerstädtischer Strukturen. Vor dem Hintergrund der sich bereits abzeichnenden sowohl klimatischen als auch gesellschaftlichen Entwicklungen wird dieses Thema für eine nachhaltige Stadtentwicklung immer zentraler. Die vielfältigen Funktionen, die der städtische Freiraum unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten ausübt, sind inzwischen allgemein anerkannt. Das den einzelnen Freiräumen spezifische lokale Klima spielt dabei eine wichtige Rolle. Die klimatischen Bedingungen entscheiden über Nutzbarkeit, Gestalt und Aufenthaltsqualität der Freiräume und über die Rahmenbedingungen für die angrenzende Bebauung – zum Beispiel darüber, wie Energieeffizienz erreicht werden kann. Besonders relevant wird das lokale Klima im wohnungsnahen Umfeld, in dem das (thermische) Wohlbefinden der Menschen und somit die Lebensqualität des Einzelnen einen extrem hohen Stellenwert haben.

Die vorliegende Arbeit ist auf der Suche nach effektiven landschaftsarchitektonischen Strategien, die eine Anpassung an die klimatischen Veränderungen unterstützen und dem steigenden Nutzerdruck auf den öffentlichen Freiraum gerecht werden. Hier besteht der Anspruch, den Anteil an dem immer wieder wissenschaftlich belegten positiven Effekt auf das Stadtklima durch 'Materialien' wie Vegetation, Wasser und Luft (im Sinne von Belüftung und Ventilation) in den dichten Stadtstrukturen zu erhöhen. Gleichzeitig sollen die notwendigen flexibel nutzbaren Stadtflächen erhalten bleiben. In diesem Sinn konzentriert sich die Arbeit auf das Potential von Gestaltungsprinzipien, die den mikroklimatischen Effekt von Vegetation und Wasser in die Vertikale bringen. Die auf diese Art und Weise zusätzlich geschaffene Strukturierung der Freiräume hat den positiven Begleiteffekt, dass das lokale (Mikro-)Klima in den so geschaffenen kleineren Freiraumstrukturen wirksamer beeinflusst werden kann und sich somit die Aufenthaltsqualität lokal direkt verbessern lässt.

Parallel dazu geht es aber auch um die grundsätzliche Erforschung und Erprobung unterschiedlicher Methoden zur Untersuchung (mikro-)klimatischer Aspekte in Bezug auf ihre Anwendbarkeit für konkrete Stadtplanungsprozesse. Forschungsprojekte, die sich mit diesem Thema beschäftigen, nutzen meist mehrere Methoden für ihre Untersuchungen: Messreihen, Simulationen, Interviews, Experimente etc. Das spezielle Interesse der Dissertation gilt darüber hinaus der historischen Analyse, die bisher weitgehend vernachlässigt wurde. Ein unter klimatischen Aspekten herausragendes Beispiel sind hier die maurischen Gärten in Südspanien (*al-Andalus*). Die Mauren sind für ihr Bemühen um eine gelungene Akklimatisation (insbesondere der Vegetation) und für das Streben nach dem (thermischen) Wohlbefinden in all seinen Facetten bekannt. Die Schlüsse, die aus dieser mediterranen Gartenarchitektur gezogen werden können, sind auch deswegen für mitteleuropäische Städte interessant, weil Klimaszenarien belegen, dass sich das zukünftige mitteleuropäische dem des aktuellen mediterranen Klimas mit großer Geschwindigkeit annähert.

An diesem Punkt kommen die beiden Ansätze der Arbeit zusammen. Eine wesentliche Strategie in der Gestaltung maurischer Gärten ist die Schaffung umschlossener Gartenbereiche, die in direktem Zusammenhang mit einem bewusst geplanten Einsatz von Vegetation und Wasserelementen stehen. Der Vorteil der historischen Analyse ist dabei ein ganzheitlicher Ansatz, der sowohl sinnliche und gestalterische als auch funktionale Aspekte integriert. Diese Herangehensweise an eine landschaftsarchitektonische Raumbildung wurde auf einen mitteleuropäischen städtebaulichen Kontext übertragen und unter Verwendung der Simulationsmethode auf quantitativ messbare mikroklimatische Auswirkungen untersucht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Methode eine starke Vereinfachung sowohl der Modellvarianten als auch der Rahmenbedingungen erfordert und grundsätzlich nur Tendenzen aufzeigen kann. Sie hat sich jedoch als hilfreiches Instrument zur Unterstützung der wissenschaftlichen Argumentationen und der nachvollziehbaren Veranschaulichung mikroklimatischer Aspekte in der Stadtplanung bewährt. Auf der Basis der Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen wurde abschließend ein Datenblatt zur Erhebung mikroklimatisch bedingter Kriterien von zeitgenössischen Beispielen städtischer Landschaftsarchitektur in Mitteleuropa entwickelt. Diese Methode dient dem Aufzeigen von gestalterischen Umsetzungsmöglichkeiten und verdeutlicht den engen Zusammenhang zwischen sinnlichen und gestalterischen Aspekten und dem (thermischen) Wohlbefinden. Die exemplarisch untersuchten zeitgenössischen Beispiele zeigen Parallelen und sogar Analogien zu den Gestaltungspinzipien, die in den Untersuchungen zu maurischen Palastgärten generiert wurden, und verdeutlichen somit, dass es hier nicht um die Implementierung einer 'historisierenden' Gestaltungssprache, sondern um Anregungen zu innovativen Gestaltungslösungen geht.

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen bestätigen grundsätzlich das vielversprechende Potential einer landschaftsarchitektonischen Raumbildung im Freiraum. Die vorliegende Arbeit zeigt die Vor- und Nachteile der angewandten Methoden und verdeutlicht den Vorteil der Verwendung einer Methodenvielfalt für konkrete Stadtplanungsprozesse. Dabei bestätigen und ergänzen sich die Methoden untereinander und bilden zusammen ein wichtiges Instrument für eine Diskussionsbasis und Bewusstseinsstärkung in Bezug auf mikroklimatische Aspekte für eine zukünftige und nachhaltige Stadtentwicklung.

abstract

The research focuses on topics of climate change in general and specifically on urban climate and the potential of urban landscape architecture in regard to these issues. Against the background of current climatic and societal changes urban 'open' spaces in general and their specific microclimate in particular will play an essential role for the sustainable urban development. Climate will be a decisive factor for issues like design, usability and quality of urban open spaces and it will also be crucial for e.g. energy-efficiency of adjacent buildings. These microclimatic aspects will become especially relevant since (thermal) well-being and the quality of life are most important criteria within living areas.

The research on hand is looking for effective strategies in landscape architecture to enhance adaptation to changing climatic conditions and at the same time to cope with the mounting pressure on public open space to guarantee the well-being of populations in flux. The aim is to increase the use of 'materials' like vegetation, water surfaces and air (i.e. airing and ventilation) – a strategy which has been proven by a variety of studies to have the most positive effect on microclimate – while at the same time not reducing the required 'free' urban surface for flexible needs and uses. This could for instance be accomplished by moving vegetation and water surfaces into a vertical dimension.

On the other hand this study will investigate various research methods in order to better understand their applicability in urban planning processes. Research projects on urban climate tend to take their empirical methods from the natural and social sciences, i.e. measurements, simulations and various ways to collect personal experiences (interviews, oral history). The interest of this study is focussed on a historical investigation and analysis – a research method that seems to have been neglected so far in this context - the Moorish gardens of al-Andalus in Southern Spain being an outstanding example. The Moors are highly renowned for their knowledge in acclimatisation (especially of plants) and their pursuit of thermal and sensual well-being. Another reason to direct research especially on these historic Mediterranean gardens is the fact that the climate of Central European cities tends towards Mediterranean climate conditions due to global warming. Contemporary technical developments and solutions should therefore merge with the experience of successful historic strategies.

A main design principle with regard to microclimatic aspects of Moorish landscape gardening is the enclosure of garden areas by using vegetation as a structural element (for instance vegetation 'walls' and hedges) and the integration of water in all dimensions. The study analyses the underlying design principles and is searching for adequate research methods to transfer the findings to an urban Central European context. Applying (among other strategies) the simulation method, various design-models are being tested for their microclimatic effects on typical urban layouts. The next step involved collecting, categorizing and scrutinizing contemporary examples of European urban landscape design that might show certain affinities to the historical findings.

The findings will help to establish a coherent basis for discussions on urban planning processes.

Vorwort und Danksagung

Meine erste Begegnung mit den Gärten der Alhambra hatte ich als Kind an einem besonders heißen Sommertag in Granada. Die Gartenanlagen, die wir an diesem Tag besuchten, milderten sofort die fast unerträgliche Hitze und verströmten eine angenehme Kühle. Besonders intensiv erinnere ich mich an das lustvolle und erfrischende Spiel mit dem allgegenwärtigen Wasser. Diesen wunderbaren ersten Eindruck habe ich nicht wieder vergessen und Andalusien hat für mich seit dieser Zeit eine geradezu magische Anziehungskraft.

Im Jahr 2004 wurde dann der lang gehegte Wunsch wahr und ich konnte meinen Lebensmittelpunkt nach Granada verlegen. Aus der Kindheitserinnerung an die herrlichen Gärten wurde ein konkretes Beschäftigungsfeld. Im Auftrag des ›Patronato de la Alhambra y Generalife‹ hatte ich im Rahmen einer Studie die Gelegenheit, mich intensiv mit den Wäldern - die die gesamte Palastanlage umgeben - auseinanderzusetzen. Während dieser Zeit habe ich viele Stunden und Tage auch in den Gärten und in der Bibliothek der Alhambra verbracht und ich hatte sehr bald das Bedürfnis, tiefer in die Geschichte der Gärten einzutauchen und zu diesem Thema zu forschen.

Mit Beginn meiner Lehr- und Forschungstätigkeit an der TU Wien 2006 entstand der erste Entwurf für eine mögliche Dissertation. Dabei war es mir von Anfang an besonders wichtig, über einen rein gartenhistorischen Ansatz hinaus zu gehen. Gerade die Schnittstelle zwischen historischen Gärten und zeitgenössischen Gestaltungsansätzen hat seit Beginn meiner Berufstätigkeit einen besonderen Reiz auf mich ausgeübt. Ich hatte von Beginn an den Anspruch, eine Verknüpfung zu aktuellen Themen der Stadtentwicklung und somit einen, an einer konkreten Anwendung orientierten, Planungsbezug herzustellen.

Der Ansatzpunkt dazu lag mir als allgegenwärtig brisante Problematik ständig vor Augen: die spürbare und immer weiter zunehmende Erwärmung der Wiener Innenstadtbezirke und die immer dringendere Suche nach Schatten, Ruhe, Grün und Wasser während der heißen Sommermonate. Es ergab sich also die Fragestellung, wie man die sinnlichen Qualitäten der maurischen Gärten - die durch Verwendung 'natürlicher' Gestaltungsprinzipien wie Vegetation, Wasser und Luft erreicht werden - in den zeitgenössischen Stadtraum implementieren und somit Ansätze für eine 'nachhaltige' Stadtentwicklung im Sinne von Wohlbefinden und Lebensqualität finden könnte. Mein Interesse galt also dem Potential der Landschaftsarchitektur, das Klima innerhalb der dichten Stadtstrukturen zu verbessern – auf sinnliche, sozial gesellschaftliche und klimabezogene (thermische) Weise.

Die Arbeit hat mir viel Freude gemacht - was nicht zuletzt auch an der fachlichen und persönlichen Unterstützung all jener Personen lag, die mich beim Schreiben begleitet haben.

Großer Dank gilt dabei meinen beiden Betreuern Prof. Richard Stiles und Prof. Erich Mursch-Radlgruber für die inhaltliche und strukturelle Hilfestellung und für viele intensive Gespräche und Diskussionen.

Ich danke dem ›Patronato de la Alhambra y Generalife‹ (insbesondere Mariano Boza) und dem ›Patronato del Real Alcázar de Sevilla‹ (insbesondere Manuel Hurtado) für den Zugang zu den Palastanlagen und zu den Bibliotheken sowie für ihre Hilfsbereitschaft; Michael Bruse und seinem Team von der Uni Mainz für das zur Verfügung stellen der Version 4.0 ihres Programms ENVI-met für die Arbeit mit den Simulationen; den Planungsbüros Burckhardt+Partner und Agence Ter für die Bereitstellung von Informationen und Planungsunterlagen zu ihren wunderbaren Projekten in der Schweiz.

Dank gilt auch allen meinen Kolleginnen und Kollegen an der TU Wien für ihre Unterstützung, insbesondere Christoph Luchsinger für intensive Gespräche; Sabine Knierbein, Ali Madanipour, Aglaée Degros, Maja Lorbek und Oliver Frey für spannende Seminare und für das Ermöglichen eines Gedankenaustausches mit anderen interessierten und engagierten Teilnehmerinnen und Teilnehmern – auch ihnen danke ich für die vielen und fruchtbaren Diskussionen und Anregungen.

Besonderer Dank gilt all jenen 'Gleichgesinnten', die mich während des Arbeitsprozesses begleitet haben und die mich immer wieder an die Oberfläche geholt haben, allen voran ›SODS‹ das sind Elisabeth Leitner, Ian Banerjee, Wencke Hertzsch und Eva Germann und den 'Kolleginnen aus Semriach' - und meinem Freundeskreis für die viele Geduld.

Mein ganz besonderer Dank gilt Irene und Deddo Hagen und Birgit Flos für ihr nie nachlassendes Interesse und ihre zum Glück immer auch kritische Unterstützung.

Wien im Juni 2011

*Al alba, el agua del jardín se mezcló
con su nombre, más penetrante que todo perfume.
El azahar es su sonrisa; el céfiro su aliento;
la rosa perlada de rocío su mejilla.
Por eso amo los jardines: porque siempre
me traen al recuerdo la que adoro.*

(al-Taliq, 10. Jh.)

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
<i>abstract</i>	III
Vorwort und Danksagung	IV
1. Forschungsziel	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Fragestellungen und Methodik	3
2. Klimawandel, Nachhaltigkeit und die Rolle des städtischen Freiraums	9
2.1 Einführung	9
2.2 Klimawandel	11
2.2.1. Der Wandel des globalen Klimas (Makroklima)	11
2.2.2. Natürliche Variation und Beschleunigung durch anthropogene Faktoren	11
2.2.3. Faktoren der Beschleunigung	12
2.2.4. Auswirkungen des Klimawandels	14
2.2.5. Der Umgang mit dem Klimawandel	16
2.2.6. Die Ebene der Stadt	17
2.3 Nachhaltigkeit	17
2.3.1. Der Begriff 'Nachhaltigkeit'	17
2.3.2. Die verschiedenen Ebenen der Nachhaltigkeit	18
2.3.3. Theorie und Umsetzung	18
2.3.4. Die Ebene der Stadt	20
2.3.4.1. Ökologische und ökonomische Verantwortung	20
2.3.4.2. Bewusstseinsbildung	21
2.3.4.3. Politische Strategien	22
2.4 Der städtische Freiraum	22
2.4.1. Der städtische Freiraum im Sinne von 'Landschaft'	22
2.4.2. Funktionen des städtischen Freiraums	23
2.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	24

3. Stadtklima, Mikroklima und thermisches Wohlbefinden	26
3.1 Einführung	26
3.2 Das Klima der Stadt (Mesoklima)	27
3.2.1. Unterschiede Stadt - Umland	27
3.2.2. Ursachen der Erwärmung	29
3.2.2.1. Struktur	29
3.2.2.2. Materialien	31
3.2.2.3. Weitere Faktoren	32
3.2.3. Auswirkungen und Trends	32
3.2.3.1. Temperatur	33
3.2.3.2. Wasserhaushalt	34
3.2.3.3. Weitere Auswirkungen	34
3.2.4. Einfluss des städtischen Freiraums auf das Stadtklima	35
3.2.4.1. Belüftung und Belichtung	35
3.2.4.2. Mitigation der Wärmeinsel	36
3.2.4.3. 'Ganzheitliche' Betrachtungsweise	37
3.3 Das Klima der einzelnen Stadträume (Mikroklima)	38
3.3.1. Atmosphärische und klimatische Faktoren	39
3.3.1.1. Strahlungsbilanz und Wärmeübergabe	39
3.3.1.2. Wind	41
3.3.1.3. Feuchtigkeit	42
3.3.2. Oberflächenbedingte Faktoren	43
3.4 Bewusster Einfluss auf das Mikroklima	45
3.4.1. Struktur: Einfluss auf klimatische Faktoren	45
3.4.1.1. Strahlung	45
3.4.1.2. Wind	46
3.4.1.3. Niederschlag, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit	47
3.4.2. Materialien: Einfluss auf oberflächenbedingte Faktoren	47
3.4.2.1. Baustoffliche Materialien	47
3.4.2.2. Vegetation	48
3.4.2.3. Wasserflächen	52
3.4.3. Mikroklimatische Landschaftsarchitektur	52
3.5 Thermisches Wohlbefinden	53
3.5.1. Wärmebilanz des Menschen	54
3.5.2. Die thermische Behaglichkeit des Menschen	55
3.5.2.1. Klimatische Faktoren	56
3.5.2.2. Nicht-klimatische Faktoren	57
3.5.3. Berechnungsmodelle und Indizes des thermischen Wohlbefindens	59
3.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	61

4. Aktuelle Forschung zum Thema Stadtklima und Ansätze für die Stadtplanung	63
4.1 Einführung	63
4.2 Aktuelle Forschung	63
4.2.1. Europäische Forschungsprojekte und Programme zu Stadtklima und Freiraum	63
4.2.2. Forschungsarbeiten zum Thema thermisches Wohlbefinden im städtischen Freiraum	65
4.2.3. Politisch motivierte Studien	66
4.3 Ansätze für die Stadtplanung	67
4.3.1. Steigerung des Grünanteils	67
4.3.2. Klimasensitive Stadtplanung	69
4.3.3. Bewusstseinsbildung	72
4.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	73
5. Gestaltungsprinzipien maurischer Palastgärten	75
5.1 Einführung	75
5.2 Quellen	76
5.3 Einführung in die Thematik	79
5.3.1. Einführung in die Geschichte von <i>al-Andalus</i>	79
5.3.2. Die Rolle von Landschaft und Landwirtschaft	81
5.3.3. Der maurische Palastgarten im Wandel	83
5.3.4. Das Klima von <i>al-Andalus</i>	85
5.4 Der maurische Palastgarten	88
5.4.1. Allgemeine Gestaltungsprinzipien	88
5.4.2. Vegetation	89
5.4.2.1. Gestaltung der Fläche	90
5.4.2.2. Strukturierung des Raums	90
5.4.2.3. Wirkung auf die Sinne und das Mikroklima	91
5.4.3. Wasser	92
5.4.3.1. Gestaltung in der Fläche	92
5.4.3.2. Gestaltung im Raum	93
5.4.3.3. Wirkung auf die Sinne und das Mikroklima	93
5.4.4. Ganzheitlicher Gestaltungsansatz	95
5.5 Raumbildung anhand von Beispielen	96
5.5.1. Raumbildung durch Architektur	97
5.5.1.1. Umbauter Gartenraum: Das Konzept ' <i>patio-pórtico-torre</i> '	97
5.5.1.2. Mikroklimatische Betrachtung	101
5.5.2. Raumbildung durch strukturell eingesetzte Vegetation	103
5.5.2.1. Die <i>bailarinas</i> von Granada	103
5.5.2.2. Mikroklimatische Betrachtung	105
5.5.3. Raumbildung durch Absenkung der Vegetationsfläche	106
5.5.3.1. Patio de la Casa de la Contratación und Patio del Crucero im Real Alcázar de Sevilla	106

5.5.3.2.	Mikroklimatische Betrachtung	109
5.5.4.	Das Zusammenspiel von Wasser und raumbildender Vegetation	110
5.5.4.1.	Die Escalera del Agua im Generalife, Granada	110
5.5.4.2.	Mikroklimatische Betrachtung	113
5.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	113
6.	Simulationen im städtebaulichen Kontext	116
6.1	Einführung	116
6.2	ENVI-met 4.0	116
6.3	Voruntersuchungen und Fokus	117
6.4	Rahmenbedingungen	118
6.4.1.	Konstante Faktoren	119
6.4.1.1.	Gestalterische Rahmenbedingungen	119
6.4.1.2.	Simulationseinstellungen und Darstellung der Daten	121
6.4.2.	Variable Faktoren	122
6.4.2.1.	Gestalterische Interventionen	122
6.4.2.2.	Windbedingungen	124
6.5	Ergebnisse zu den einzelnen klimatischen Faktoren	125
6.5.1.	Geschlossene Platzsituation	126
6.5.1.1.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit	126
6.5.1.2.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur (T_{sur})	130
6.5.1.3.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt})	132
6.5.1.4.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur (T_{pot})	135
6.5.1.5.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit	138
6.5.2.	Offene Platzsituation	140
6.5.2.1.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit	140
6.5.2.2.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur (T_{sur})	143
6.5.2.3.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt})	146
6.5.2.4.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur (T_{pot})	148
6.5.2.5.	Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit	151
6.6	Ergebnisse zum thermischen Wohlbefinden (PET)	154
6.6.1.	Geschlossene Platzsituation	154
6.6.2.	Offene Platzsituation	157
6.7	Diskussion der Zusammenhänge zwischen dem PET und den einzelnen klimatischen Faktoren	160
6.7.1.	Windgeschwindigkeit	163
6.7.2.	Oberflächentemperatur und mittlere Strahlungstemperatur	164
6.7.3.	Potentielle Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit	166
6.8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	167

7. Mikroklimatische Betrachtung zeitgenössischer urbaner Landschaftsarchitektur	169
7.1 Einführung	
7.2 Entwurf Datenblatt	169
7.2.1. Kriterien	170
7.2.2. Kategorien	170
7.2.2.1. Projektdaten	170
7.2.2.2. Raumbildung	171
7.2.2.3. Materialien	171
7.2.2.4. Mikroklima	172
7.2.2.5. Anmerkungen / Planunterlagen	173
7.2.3. Muster Datenblatt	173
7.3 Gestaltungsbeispiele	174
7.3.1. Raumbildung durch Vegetation	174
7.3.1.1. Der MFO-Park in Zürich	174
7.3.1.2. Mikroklimatische Betrachtung	177
7.3.1.3. Datenblatt MFO-Park	178
7.3.2. Raumbildung durch Absenkung	179
7.3.2.1. Der 'Gartenhof' der Fondation Louis-Jeantet in Genf	179
7.3.2.2. Mikroklimatische Betrachtung	180
7.3.2.3. Datenblatt Fondation Louis-Jeantet	182
7.4 Diskussion weiterführender Gestaltungsansätze	183
7.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	184
8. Diskussion und Ausblick	185
8.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	185
8.2 Diskussion der angewandten Methoden	188
8.2.1. Historische Bestandsaufnahme und Analyse	188
8.2.2. Simulationen	188
8.2.3. Datenblatt	189
8.3 Fazit	190
8.4 Ausblick	192
Bibliographie	194
Abbildungsverzeichnis	202
Verzeichnis der zusätzlichen elektronischen Materialien (DVD)	208

1. Forschungsziel

1.1 Einleitung

Der Klimawandel und seine Folgen sind spätestens seit Erscheinen des »4. Sachstandsberichts« des »International Panel of Climate Change« (IPCC) und des auf die ökonomischen Auswirkungen fokussierten »Stern-Reports« (beide 2007) ganz oben auf der politischen Agenda. Eine Vielzahl an Studien belegt, dass anthropogene Faktoren deutlich zu der dramatischen Beschleunigung des natürlich stattfindenden Klimawandels innerhalb der letzten Jahrzehnte beigetragen haben. Der globale Klimawandel sorgt auch für eine fortschreitende Erwärmung der Städte, in denen heute bereits eine große Mehrheit der Bevölkerung lebt. Die durch die gebauten Stadtstrukturen zusätzlich ausgebildeten Wärmeinseln wirken sich wiederum auf das globale Klimageschehen aus, sodass sich der globale Klimawandel und das Stadtklima gegenseitig verstärken. Die Städte haben somit einerseits allgemein einen großen Einfluss auf Umwelt und Klima, andererseits sind in ihnen die Auswirkungen auch am deutlichsten zu spüren. Die Städte nehmen sozusagen den Trend der globalen Klimaentwicklung vorweg.

Es zeichnet sich inzwischen ab, dass aufgrund von divergenten wirtschaftlichen und politischen Interessen der einzelnen Länder auf der global-politischen Ebene ein noch so dringender Konsens in naher Zukunft kaum zu erreichen sein wird. Die Debatte verlagert sich zunehmend von der politischen Entscheidungsebene auf ein notwendiges gesellschaftliches (soziales) Sofortprogramm, das auf die alarmierende Lage direkt reagieren sollte. Dafür müssen regional und auch lokal eigenständige Ansätze und Strategien gefunden werden, die für jeden nachvollziehbar und vor allem schnell und einfach umsetzbar bzw. implementierbar sind. In der Summe könnten so auch wichtige Schritte für nationale oder sogar globale Lösungsansätze gesetzt werden. Die vorliegende Arbeit möchte einen Beitrag dazu leisten.

Der Fokus der Arbeit liegt dabei auf den Auswirkungen des Klimawandels für (mittel-) europäische Städte und insbesondere auf deren Konsequenzen für das (thermische) Wohlbefinden der Bevölkerung. Die Stadtplanung steht hier vor großen Herausforderungen - wenn sie gemäß ihrer Aufgabe das Wohl der Bevölkerung als ihr vorrangiges Ziel versteht. So wird z.B. die Nutzbarkeit und Aufenthaltsqualität der städtischen Freiräume immer wichtiger.

Neben den klimatischen Entwicklungen zeichnen sich auch auf der gesellschaftlichen Ebene entscheidende Veränderungen ab. Es werden sowohl demographische Veränderungen (z.B. in den Alters- und Sozialstrukturen und aufgrund zunehmender Zuwanderung) als auch gesellschaftliche Umstrukturierungen wirksam. Diese Entwicklung ist beispielsweise an der (auch durch Arbeitslosigkeit aufgezwungenen) wachsenden Freizeit in Kombination mit ökonomischen Problemen zu beobachten. Themen wie Integration, Identität und Lebensqualität erhalten besonders in europäischen Städten einen immer höheren Stellenwert. Städtische Freiräume übernehmen dabei wichtige Funktionen. Sie

sind soziale Schnittstellen im Sinn eines erweiterten Lebensraums und zudem Erholungsraum - hier zunehmend auch im Sinn einer stressfreien *leisure zone*, beispielsweise durch die Bereitstellung thermisch angenehmer Freiräume, möglichst zu allen Jahreszeiten.

Insgesamt nimmt der Nutzungsdruck auf den städtischen Freiraum zu – und das natürlich besonders in den Innenstadtgebieten und anderen verdichteten Bereichen. Auf der einen Seite wirken sich in mitteleuropäischen Städten die klimatischen Veränderungen durch das Ansteigen der Temperatur-Mittelwerte insofern positiv aus, als sie grundsätzlich einen längeren Aufenthalt im Freiraum ermöglichen - was den Nutzungsdruck auf diesen weiter erhöht. Die klimatischen Veränderungen bringen andererseits jedoch vor allem große Belastungen mit sich. Am signifikantesten ist dabei die Aufheizung der Städte, die sich besonders negativ auf die Gesundheit von alten oder allgemein geschwächten Menschen und von Kindern auswirkt. Vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklungen gewinnt diese Thematik damit an zusätzlicher Relevanz. Eine problembewusste Planung des städtischen Freiraums verfügt über das Potential, auf die sozialen/demographischen und auch auf die klimabezogenen Herausforderungen zu reagieren. Eine Vielzahl an Studien bestätigt, dass insbesondere eine Erhöhung des Grün- und Wasseranteils in der Stadt das Stadtklima und das lokale Klima positiv beeinflusst. Durch gestalterische Interventionen kann die Landschaftsarchitektur auch bei eingeschränktem Raumangebot gezielt auf das lokale Klima Einfluss nehmen und somit eine kurz- und mittelfristige Anpassung an die sich verändernden klimatischen Bedingungen ermöglichen. In der Summe der einzelnen Maßnahmen kann sie somit dem Wärmeinsel-Effekt der Stadt entgegenwirken, also direkt zur Mitigation beitragen.

Es ist daher festzuhalten, dass städtische Freiräume sowohl im Hinblick auf soziale als auch unter Berücksichtigung gesundheitlicher Aspekte eine immer wichtigere Rolle spielen. Diese beiden Aspekte und die grundsätzliche Anerkennung ihrer Relevanz sind zwei wesentliche Voraussetzungen für das Wohlbefinden und damit für die Lebensqualität der Stadtbewohnerinnen und Stadtbewohner. Eine hohe Lebensqualität hat auch direkten Einfluss auf ökonomische Aspekte der Stadtentwicklung wie z.B. den Immobilienmarkt (Grünraum im Wohnumfeld) und auf Bewertungen im internationalen Städtewettbewerb.

Spitzer (1997: 68) definiert die Aufgabe der Stadtplanung im Hinblick auf eine nachhaltige Stadtentwicklung so: *„Es ist unsere Aufgabe, Landschaften und das städtische Habitat so zu gestalten, dass wirtschaftliche, ökologische, soziale und kulturelle Nachhaltigkeit gefördert werden. Ästhetik, Multifunktionalität sowie ökologische und soziale Kriterien spielen dabei eine wichtige Rolle“*.

In der Auseinandersetzung mit dem Potential von städtischem Freiraum werden alle diese Aspekte relevant. Im städtischen Umfeld ist also gerade auch die Landschaftsarchitektur dazu aufgerufen, die Herausforderungen der sich abzeichnenden Entwicklungen anzunehmen, Lösungsansätze für den Umgang mit ihnen zu finden und umzusetzen und die Möglichkeiten und Vorteile einer nachhaltigen Planung möglichst vielen Menschen aufzuzeigen und bewusst zu machen. Sie ist dabei in der Lage, auf einer sehr individuellen Ebene auf die Bedürfnisse der Stadtbewohnerinnen und Stadtbewohner einzugehen.

Obwohl diese besondere Bedeutung des städtischen Freiraums inzwischen grundsätzlich anerkannt wird, scheint sie doch nach wie vor in der Stadtentwicklungs-Planung weder

besonders hervorgehoben noch zumindest wahrgenommen zu werden. Strategische Papiere zu nachhaltiger Stadtentwicklung wie die »Charta von Aalborg« (1994) und die »Leipzig Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt« (2007) betonen zwar die sozialen und klimatischen Herausforderungen, in ihren Maßnahmen und Empfehlungen findet der städtische Freiraum jedoch kaum Erwähnung. Die »Europäische Landschaftskonvention« (2000) ist hier die Ausnahme. Sie erkennt explizit die Bedeutung der städtischen Landschaft an, wobei sie in ihren Formulierungen jedoch eher allgemein und vage bleibt. Auch innerhalb der verschiedenen Bereiche der Stadtplanung wird die spezielle Kompetenz der Landschaftsarchitektur für diese Problematik nur bedingt bzw. nur marginal wahrgenommen. Durch eine nach wie vor stattfindende städtebauliche Verdichtung einerseits und die gleichzeitig zunehmende Privatisierung von Stadträumen andererseits verringert sich der freie öffentliche Raum in den Städten weiter. Dadurch geht ein großes Potential für die Steigerung der Lebensqualität in den Städten verloren.

In den letzten Jahren wurde der Aspekt des thermischen Wohlbefindens in der Stadt vermehrt in Forschungsarbeiten aufgenommen und somit ein neuer Diskurs zu Stadtklima und zum Potential von städtischem Freiraum initiiert. Die vorliegende Arbeit möchte ihren Beitrag zum Diskurs der wachsenden Bedeutung der Landschaftsarchitektur für eine zukünftige nachhaltige Stadtentwicklung einbringen und hierbei besonders produktive Schnittstellen mit anderen Fachdisziplinen aufzeigen. Dabei stehen immer klimatische Aspekte im Vordergrund. Weiter geht es um den Praxisbezug des bearbeiteten theoretischen Hintergrunds der Fragestellungen - also um die Möglichkeit einer konkreten Anwendung in der Stadtplanung. Das deklarierte Ziel der Arbeit ist, mögliche Potentiale zu erkennen, zu belegen und Ansätze zur Umsetzung anzubieten.

1.2 Fragestellungen und Methodik

Die konstatierten Entwicklungen sind ein fortlaufendes Phänomen, die Städte sind somit auf eine nicht absehbare längere Zeitspanne damit konfrontiert. Neben dem allgemeinen Ziel, bestimmte Veränderungen – wie die des Klimas – aufzuhalten, wird es zunehmend wichtig, schnell und direkt umsetzbare Ansätze für den adäquaten, problembewussten Umgang mit ihnen zu finden. Ein Fokus muss dabei auf dem innerstädtischen, verdichteten Stadtbestand liegen, in dem die Probleme besonders akut sind. Es geht darum, rasch implementierbare Lösungsmöglichkeiten zu finden, die weder eine städtebauliche Umstrukturierung noch eine (oft aufwendige) Klärung von Besitzverhältnissen erfordern, also um gestalterische Eingriffe im öffentlichen Freiraum, die auf längere Sicht gültig bleiben und auch auf andere Städte übertragbar sein sollten.

In der vorliegenden Arbeit stehen dabei die Verwendung landschaftsarchitektonischer Mittel und deren mikroklimatische Auswirkungen im Vordergrund. Eine wichtige Prämisse sind Bestandssicherung und möglicherweise Neuplanung von flexibel nutzbaren (urbanen) Freiflächen.

Im Laufe eingehender Beschäftigung mit der Thematik hat sich das Potential von landschaftsgestalterischen und gebäudeunabhängigen vertikalen Gestaltungselementen herauskristallisiert. Der Fokus der Untersuchungen hat sich dabei zunehmend auf den Aspekt einer Raumbildung innerhalb eines bestehenden Freiraums - also auf einen 'Frei-

raum im Freiraum' - und auf mögliche Gestaltungsvarianten und Übertragungsansätze gerichtet.

Forschungsziel:

Die Arbeit ist auf der Suche nach einer effektiven Strategie im Umgang mit der fortschreitenden Erwärmung bestehender städtischer Strukturen mit dem Ziel, einerseits konkrete Ansätze für eine Anpassung zu finden und andererseits das Bewusstsein für stadtklimatische Aspekte zu schärfen und anhand von präzisierten (mikro)klimatischen Kriterien eine Diskussionsgrundlage bereit zu stellen. Untersuchungsobjekte sind die Freiraumplanung und deren Möglichkeiten eines wirksamen Einflusses auf Stadtentwicklungsprozesse.

Daraus ergeben sich unterschiedliche Fragestellungen und die Gliederung der Arbeit:

- a. Mit welchen Rahmenbedingungen ist die (mittel)europäische Stadtplanung konfrontiert und welche Rolle spielen dabei die städtischen Freiräume und somit die Landschaftsarchitektur?**

(Kapitel 2) Der Fokus liegt hier auf den Auswirkungen der gesellschaftlichen und klimatischen Veränderungen allgemein und insbesondere auf der konkreten Ebene der Stadt. Das Kapitel stellt die kontextuelle Einordnung des Forschungsthemas dar und soll die Relevanz der Thematik für eine zukünftige Stadtentwicklung verdeutlichen.

Zentrale Fragestellungen sind: *Welches sind die Faktoren und Auswirkungen des Klimawandels? Was ist im Rahmen dieser Arbeit unter dem Begriff 'Nachhaltigkeit' zu verstehen? Welche Rolle spielen die Städte in diesen Debatten? Wie definieren sich die städtischen Freiräume und welche Rolle spielen sie im Zusammenhang mit den sozialen und klimatischen Veränderungen?*

Die Literatur kommt vor allem aus den Bereichen der Stadtsoziologie, Meteorologie, Klimatologie, sowie aus Berichten von Institutionen und Forschungsgruppen und allgemein der Stadt- und Freiraumplanung.

- b. Welche Faktoren bestimmen das Stadt- und das Mikroklima und somit das thermische Wohlbefinden in den einzelnen Stadträumen und welche Möglichkeiten hat die Landschaftsarchitektur für eine bewusste Einflussnahme?**

(Kapitel 3) Es geht einerseits um das Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem allgemeinen Stadtklima und dem lokalen Mikroklima einzelner Freiräume innerhalb der Stadtstruktur und andererseits um die Rolle des Mikroklimas für das

Wohlbefinden. Weiters geht es hier um die Möglichkeiten der direkten Einflussnahme und um das Potential der Landschaftsarchitektur z.B. für die Steigerung des thermischen Wohlbefindens. Im Rahmen dieses Kapitels werden die relevanten Grundlagen definiert.

Zentrale Fragstellungen sind: *Wie unterscheidet sich das Stadtklima von dem der Umgebung? Welches sind die Faktoren und Auswirkungen? Wie wirken sich die städtischen Freiräume auf das Klima der gesamten Stadt (Mesoklima) und auf das Klima der einzelnen Freiräume (Mikroklima) aus? Welche Möglichkeiten zur bewussten Einflussnahme gibt es? Was versteht man unter 'thermischem Wohlbefinden' und welche weiteren Faktoren sind dabei zu berücksichtigen?*

Die Literatur hierzu kommt vor allem aus den Bereichen der Klimatologie (hier besonders: Mikroklimatologie), Biologie, (in der Verbindung) Bioklimatologie und der Stadt- und Freiraumplanung.

c. Worauf konzentriert sich die aktuelle Forschung zu den Themen Stadtklima, Freiraum und thermisches Wohlbefinden, und welche Ansätze für die Stadtplanung leiten sich daraus ab?

(Kapitel 4) Das Kapitel ist als Überblick über aktuelle Forschungsprojekte und Forschungsprogramme und zur Definition von bislang nicht oder nicht eingehend untersuchten Potentialen für zukünftige Stadtplanungsstrategien konzipiert. Es wird eine Auswahl an aktuellen Ansätzen und Strategien aufgezeigt, die in diversen Forschungsarbeiten und Studien erarbeitet wurden oder aktuell noch in Arbeit sind, bzw. zum Teil bereits in Stadtentwicklungsprozessen in verschiedenen Städten Anwendung finden.

Zentrale Fragstellungen sind: *Welche Forschungsprojekte und -berichte prägen die derzeitige Diskussion über den städtischen Freiraum und das Mikroklima in der Stadt? Welche Ansätze gibt es bereits in der Stadtplanung?*

Die Literatur hierzu konzentriert sich vor allem auf wissenschaftliche Studien sowie spezielle Forschungsprojekte und Dissertationen.

d. Welche Ansätze lassen sich in anderen Klimaregionen und anderen Kulturen finden, wie wird bzw. wurde vor der technologischen Entwicklung mit klimatisch bedingten, schwierigen Rahmenbedingungen umgegangen?

(Kapitel 5) Aufgrund der klimatischen Veränderungen können Gestaltungsprinzipien aus heißeren und trockeneren Klimaten themenrelevante Erkenntnisse liefern. Für mitteleuropäische Städte sind aufgrund der klimatischen Entwicklung Beispiele aus dem mediterranen Raum besonders interessant. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Laufe der technologischen Entwicklung der direkte Bezug zu klimatischen Gegebenheiten immer geringer geworden ist.

Die Bearbeitung eines Beispiels von traditionellem Wissen im Umgang mit dem Klima wird anhand der maurischen Kultur in *al-Andalus* (Südspanien) durchgeführt, die klimabezogene Problematiken in beispielhafter Art und Weise löste. Der Fokus wird dabei auf die Gestaltungsprinzipien innerhalb der maurischen Palastgärten gelegt. Dies beruht u.a. darauf, dass die Dimensionen der Palastgärten denen der heutigen Freiraumstrukturen europäischer Städte näher sind als jene der verwinkelten maurischen Stadtstruktur, und dass die Arbeit explizit auf der Suche nach landschaftsarchitektonischen Gestaltungsprinzipien ist. Zudem sind die für die Untersuchung ausgewählten Palastanlagen gut dokumentiert. Als wichtiges Gestaltungsprinzip stellte sich im Zuge der Untersuchung eine gärtnerische Raumbildung innerhalb der Freiräume heraus. Zu diesem Aspekt wurden Beispiele ausgewählt und eingehender betrachtet. Der Fokus richtet sich dabei auf die Palastanlagen in Granada und Sevilla.

Zu den mikroklimatischen Aspekten wird einerseits auf historische Quellen und Beschreibungen zurückgegriffen, andererseits wird die Analyse der ursprünglichen (rekonstruierten) Gestaltungsformen der Gartenbereiche mit den Ergebnissen aus aktuellen mikroklimatischen Studien (s. Kapitel 3) zusammengeführt.

Zentrale Fragstellungen sind: *In welchem Kontext ist die Entwicklung der Palastgärten zu betrachten? Durch welche Gestaltungsprinzipien werden sie im Allgemeinen geprägt? Welche Erkenntnisse lassen sich unter mikroklimatischen Aspekten erzielen? Welche grundsätzlichen Prinzipien der Raumbildung lassen sich erkennen? Welche Kriterien spielen bei den unterschiedlichen Methoden der Umsetzung eine Rolle?*

Die Literatur hierzu sind frühe Texte wie Handbücher und Beschreibungen (ab dem 11. Jh.), zeitgenössische Sekundärliteratur (ab dem 20. Jh.) sowie gartenhistorische und denkmalpflegerische Studien. Zudem wurde in zahlreichen Begehungen der Palastanlagen in Granada und Sevilla eine eigene Bestandsaufnahme und Analyse durchgeführt.

e. Wie lassen sich neue Erkenntnisse in einen städtebaulichen mitteleuropäischen Kontext übertragen, und wie lassen sich mikroklimatische Auswirkungen von innovativen Gestaltungsinterventionen im Stadtraum überprüfen und abbilden?

(Kapitel 6) Ergebnisse der Untersuchung zu den maurischen Palastgärten werden in einen städtebaulichen Kontext übertragen und auf ihre mikroklimatische Wirksamkeit überprüft. Dazu werden unterschiedliche Gestaltungsvarianten aus den Ergebnissen abgeleitet und vereinfachte Modelle für die Durchführung von Simulationen entwickelt. Die Durchführung der Simulationen wird dabei auf wenige Aspekte reduziert, um eine Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten zu erreichen und gegebenenfalls allgemeiner gültige Aussagen zu formulieren.

Zentrale Fragstellungen sind: *Welches Programm soll für die Untersuchung Anwendung finden? Inwieweit können die konkreten Aspekte bei derzeitigem*

Entwicklungsstand des ausgewählten Simulationsprogramms simuliert und abgebildet werden? Welche Rahmenbedingungen sind für die Durchführung und Auswertung der Simulationsreihen festzulegen?

Für die Simulationsreihen wurde das Programm ENVI-met verwendet (entwickelt von Michael Bruse und seinem Team am Geografischen Institut der Johannes Gutenberg Universität Mainz). Für die Arbeit wurde ein aktuelles Abbild der neuen Version 4.0 zur Verfügung gestellt (derzeit in Entwicklung).

f. Wie könnten die unter interdisziplinärer Verwendung verschiedener Methoden gewonnenen Erkenntnisse auf aktuelle städtebauliche Situationen übertragen und als Diskussionsgrundlage für am Planungsprozess beteiligte Akteurinnen und Akteure kommuniziert werden?

(Kapitel 7) Anhand von zeitgenössischen urbanen Gestaltungsbeispielen werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie die aus der historischen Analyse und den Simulationen resultierenden Überlegungen in einen zeitgenössischen und urbanen mitteleuropäischen Kontext gestalterisch transferiert werden könnten. Dabei ist das Potential der den untersuchten Beispielen zu Grunde liegenden, mikroklimatischen Gestaltungsprinzipien für den Umgang mit den sich verändernden klimatischen (und gesellschaftlichen) Bedingungen mitteleuropäischer Städte relevant. Für die Betrachtung, Kategorisierung und Dokumentation mikroklimatischer Aspekte von zeitgenössischen Gestaltungsbeispielen wird ein Datenblatt entwickelt. Die Erstellung des Datenblattes soll auf den Ergebnissen der Untersuchungen aus Kapitel 5 und 6 basieren.

Zentrale Fragstellungen sind: *In welcher Form lassen sich grundsätzlich (schnelle) Aussagen zu klimatischen Aspekten von Freiraumgestaltungen treffen? Wie können diese zusammengefasst und dokumentiert werden? Welche mitteleuropäischen Beispiele zeigen gestalterische Parallelen zu den Gestaltungsprinzipien von Raumbildung aus den maurischen Palastgärten?*

Die Literatur kommt aus Werken zur urbanen Landschaftsarchitektur der letzten 20 Jahre. Zu ausgewählten Projekten werden Informationen und Planungsunterlagen der jeweiligen Planungsbüros konsultiert und Begehungen vor Ort durchgeführt.

Zur Beantwortung der formulierten Fragestellungen erweist sich die Berücksichtigung verschiedener Forschungsgebiete wie Naturwissenschaften, Klimatologie, Soziologie und Geschichtswissenschaft und die Verwendung unterschiedlicher Methoden als notwendig.

Für die vorliegende Studie werden folgende Untersuchungsmethoden zur Bearbeitung der jeweiligen Themenschwerpunkte verwendet:

- Bewertung der (klimatologischen und soziologischen) Grundlagen zur Etablierung des aktuellen Forschungsstandes und als Diskussionsbasis zum Thema Stadtklima sowie zum Potential bestehender Umsetzungsstrategien und Gestaltungsansätze für die Stadtplanung (Kapitel 2-4)
- Historische Bestandsaufnahme und Analyse am Beispiel der maurischen Gärten in *al-Andalus* zur Generierung von mikroklimatischen Gestaltungsprinzipien (Kapitel 5)
- Verwendung quantitativer Methoden zur Überprüfung mikroklimatischer Effekte, wie z.B. die Erstellung von Simulationsmodellen für einen definierten mitteleuropäischen/ innerstädtischen Kontext (Kapitel 6)
- Konzeption eines Datenblattes zur Erhebung und Bewertung von mikroklimatischen Aspekten aktueller urbaner Landschaftsarchitektur in Mitteleuropa auf Basis der Untersuchungsergebnisse und zur Überprüfung einer möglichen gestalterischen Übertragbarkeit (Kapitel 7)

In der Diskussion im abschließenden Kapitel 8 werden neben den Ergebnissen der einzelnen Untersuchungen auch die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden einer kritischen Betrachtung unterzogen. Dabei ergeben sich die folgenden abschließenden Fragestellungen:

g. Wie können die unterschiedlichen Methoden sich gegenseitig ergänzend verwendet werden?

Welche Möglichkeiten bietet dabei die unter stadtklimatischen Aspekten bislang selten herangezogene historische Analyse?

Welches Potential hat die Methodenvielfalt für eine allgemeine Bewusstseinsstärkung und für konkrete Stadtplanungsprozesse?

2. Klimawandel, Nachhaltigkeit und die Rolle des städtischen Freiraums

2.1 Einführung

Im vorliegenden Kapitel soll der Hintergrund der Rahmenbedingungen untersucht werden, mit denen die gegenwärtige und insbesondere die zukünftige Stadtplanung konfrontiert ist bzw. sein wird. Das betrifft vor allem die gesellschaftlichen und klimatischen Veränderungen, die sich in den letzten Jahrzehnten verstärkt bemerkbar gemacht haben. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich dabei auf Aspekte des Klimawandels und der Nachhaltigkeit. In Tabelle 2.1 wurde dazu - aus den im Anhang zitierten Quellen - ein chronologischer Überblick über die wissenschaftlichen und politischen Entwicklungen in der Klimawandel- und Nachhaltigkeitsdebatte zusammengestellt. Die Tabelle verdeutlicht einerseits die zunehmende Bedeutung dieser beiden Themenfelder - insbesondere auch für die Stadtentwicklung - und andererseits die engen Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den beiden Diskursen. Welche Tendenzen zeichnen sich hier ab und was bedeuten sie für den städtischen Freiraum bzw. welche Rolle spielt dieser im Umgang mit den noch zu erwartenden Entwicklungen?

Ein öffentliches Bewusstsein vom Ausmaß des globalen Klimawandels mit all seinen Folgen und von der Nachhaltigkeit als oberstes Ziel einer weiteren Entwicklung zeigt sich erst seit kurzem. Der Umgang mit beiden Begriffen neigt zu einer 'Unschärfe', die einerseits eine Folge von häufiger Instrumentalisierung der Begriffe durch verschiedene Interessengruppen ist (Politik, Wirtschaft, Medien) und die andererseits eine solche Instrumentalisierung selbst erst ermöglicht. Dabei polarisieren Stellungnahmen, die sowohl der Dramatisierung als auch der Verharmlosung der Themen Vorschub leisten.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Klimawandel in seinem Bezug zu der tatsächlich stattfindenden Erwärmung und zu den damit verbundenen Auswirkungen behandelt. In wieweit natürliche oder anthropogene Faktoren hier eine Rolle spielen, ist dabei für das spezielle Forschungsinteresse sekundär. Die Studie sieht aber die Beschleunigung des natürlichen Klimawandel-Prozesses durch den Menschen als grundsätzlich gegeben an.

Der Begriff der 'Nachhaltigkeit' ist in diesem Zusammenhang im Sinne von 'Verantwortung' zu verstehen. Eine nachhaltige Entwicklung fordert einen verantwortungsvollen Umgang in allen für eine positive Entwicklung essentiellen Bereichen, d.h. unter Berücksichtigung ökologischer, sozialer und ökonomischer Gesichtspunkte.

Die Arbeit konzentriert sich dabei insbesondere auf die Ebene der Stadt. Der städtische Freiraum spielt für eine nachhaltige Stadtentwicklung eine große Rolle. Er ist dabei in seiner Gesamtheit - d.h. sowohl hinsichtlich der räumlichen Ausdehnung als auch hinsichtlich seiner vielseitigen Funktionen - zu betrachten.

Klimawandel		Nachhaltigkeit	
Jh.	Zeitleiste		
<	Ortswechsel (Völkerwanderung)	Naturvölker	
18.		Begriff Nachhaltigkeit in Waldbewirtschaftung (Carlowitz)	
19.	1824 Erwärmung Atmosphäre (Fourier) 1862 verantwortliche Gase (Tyndall) 1895 Annahme Klimaveränderung (Brückner) 1896 Hypothese Zusammenhang anthropogenes CO2 und Erderwärmung (Arrhenius)		industri. Revolution
20.	1941 empirische Daten anthropogener Klimawandel (Fohn)	Nachhaltigkeit Gesamtwirtschaft	1. Weltkrieg 1929 Black Friday Weltwirtschaftskrise 2. Weltkrieg
	1957/58 IGY Nachweis Zusammenhang Anstieg CO2 und Mensch		Wirtschaftswunder
	1968 Gründung Club of Rome		
	1969 Normierung Umweltverträglichkeitsprüfung USA (NEPA)		
	1972 1. Bericht Club of Rome: »Grenzen des Wachstums« / Treibhauseffekt	Umweltschutzkonferenz Stockholm	
	1973 2. Bericht Club of Rome	Gründung UN-Umweltprogramm	1. Ölkrise
	1979 »Charney-Report« der National Academy of Science (Warnung)		2. Ölkrise
	1980	Begriff 'sustainable development' in World-Conservation-Strategy	ökolog. Bewegung
	1981	»Time to act« Global 2000	
	1983	Gründung Brundtland-Kommission (UN)	
	1985	UVP-Richtlinie EU	
	1987 Brundtland-Report »Unsere gemeinsame Zukunft«		Prioritäten
	1988 Gründung IPCC		
	1990 1. Sachstandsbericht IPCC		Golfkrieg
	1992 Klimarahmenkonvention New York (Verabschiedung)		wirtschaftl. Prioritäten
	1992 Umweltkonferenz Rio de Janeiro, »Agenda 21« (nachhaltige Entwicklung als politisches Ziel)		
	1993	Start 5. UAP für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung (1993-2000)	
	1994	Klimarahmenkonvention	
	1994	»Charta von Aalborg« (Nachhaltige Stadtentwicklung)	
	1995 2. Sachstandsbericht IPCC		Themen Umwelt u. Gesundheit
	1996	Ergebnisse 5. UAP (Umweltaktionsprogramm) mit Schwerpunkt »Zukunftsfähige Städte in Europa« Gründung Kampagne »Nachhaltige Stadt« und Bildung europäischer Netzwerke	
	1997 UN-Klimakonferenz / Kyoto-Protokoll		
	1998 5. EU Forschungsrahmenprogramm »Energy, Environment and Sustainable Development« (1998-2002)		
21.	2000 Europäischer Rat / »Lissabon-Strategie«		
	2001	»Europäische Landschaftskonvention« Beschluss »EU Strategie für nachhaltige Entwicklung« (Göteborg)	
	2001 3. Sachstandsbericht IPCC		
	2002	»Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung« in Johannesburg (Umsetzung nationaler Nachhaltigkeitsstrategien)	
	2005	Kyoto-Protokoll in Kraft	
	2006 »Stern-Report«		
	2006 »An inconvenient truth« Filmpremiere (Al Gore) ausgezeichnet mit dem Special-Humanitas-Preis und dem Oscar für Dokumentarfilm 2007	Beschluss »Erneuerte EU-Nachhaltigkeitsstrategie« »Thematische Strategie für die städtische Umwelt« (EU)	
	2007 4. Sachstandsbericht IPCC		
	2007 Friedensnobelpreis an IPCC und an Al Gore	»Leipzig Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt« (EU)	Klimakrise Wirtschaftskrise
	2009 Revision des EU-Emissionshandelssystem 'Scheitern' der UN-Klimakonferenz Kopenhagen	Überprüfung »Erneuerte EU-Nachhaltigkeitsstrategie«	
	künftige Nachfolgestrategie zur Lissabon-Strategie »EU 2020«		Thema Lebensqualität (Wohlbefinden)

Tab. 2.1 : Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung der Klimawandel- und Nachhaltigkeitsdebatte im chronologischen Abriss

2.2 Klimawandel

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen und auf den Umgang mit ihnen. Die globalen Zusammenhänge des aktuell stattfindenden Wandels werden dabei zusammenfassend skizziert.

2.2.1. Der Wandel des globalen Klimas (Makroklima)

Das Klima kann als Ausdruck der Energiebilanz beschrieben werden. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen einkommender Energie (Solarstrahlung) und abgegebener (ausgestrahlter) Energie her. Wird dieses Gleichgewicht gestört, so ändert sich zeitverschoben das Klima, da die Balance wieder hergestellt werden muss. Sowohl der Wärmehaushalt als auch (im direkten Zusammenhang damit) der Wasserhaushalt der Atmosphäre werden vom Boden bzw. der Erdoberfläche aus gesteuert. Als Auslöser für eine Änderung der Energiebilanz gelten z.B. eine Variation in der Intensität der Solarstrahlung, eine Änderung des Reflektionsvermögens (Oberfläche, Bewölkung) oder ein veränderter Anteil von absorbierenden Gasen ('Treibhausgase', vor allem CO₂ und Methan) und Aerosolen (Partikeln in der Luft) in der Atmosphäre (Rahmstorf und Schellnhuber 2007, S.13). Es hat nachweislich immer (also lange vor dem Auftreten des Menschen) natürliche Änderungen der Energiebilanz dieser Art gegeben (z.B. Pfister 1999). Es werden dabei unterschiedliche natürliche Regulationsprozesse wirksam. Adams (2007) beschreibt z.B. verschiedene Prozesse zur Anpassung der Vegetation an neue klimatische Bedingungen, wobei positive Rückkoppelungen einen bestehenden Trend so lange verstärken können, bis es zu einem Kippeffekt kommt und dadurch eine entgegenwirkende Entwicklung ausgelöst wird.

Weiter zurückliegende Klimaänderungen sind als Daten direkt in der Natur ablesbar. Neben den Landschaftsformen geben z.B. mineralische Ablagerungen in Meeren, Gaseinschlüsse im Eis und die Paläontologie Aufschluss über den Salzgehalt der früheren Meere, über Niederschlagsmengen oder auch über den CO₂-Anteil in der Atmosphäre (so genannte 'Proxy-Daten') (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 11). Pfister spricht von den 'Archiven der Natur' und stellt diese den jüngeren 'Archiven der Gesellschaft' als indirekte Datengewinnung - z.B. durch Überlieferung - gegenüber (Pfister 1999: 16).

2.2.2. Natürliche Variation und Beschleunigung durch anthropogene Faktoren

Obwohl es in der Klima-Rekonstruktion viele Unsicherheiten gibt, stimmen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler doch in einigen Punkten überein. Wir befinden uns seit ca. 10.000 Jahren in einer Phase von - relativ gesehen - stabilem Klima (Warmzeit Holozän) (z.B. Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 25). Diese Stabilität kann als Voraussetzung für die Entwicklung von Zivilisation angesehen werden (s. Behringer 2009, der auf diesen Aspekt intensiver eingeht). Viele Untersuchungen - so auch die Berichte des IPCC - beziehen sich in erster Linie auf das Klima des vorigen Jahrhunderts. Um eine Relation zwischen den natürlichen Prozessen des Klimawandels und dem viel diskutierten anthropogenen Einfluss auf das Klimageschehen herzustellen, ist ein weiter zurückreichender Blick sinnvoll.

Pfister (1999) stellt in seiner Publikation »Wetternachhersage« einen Abriss der Klimaentwicklungen der letzten 500 Jahre zusammen, wobei er sich besonders mit der natürlichen Variabilität des Klimas unter Berücksichtigung der Anomalien und Naturkatastrophen beschäftigt. Glaser (2008) untersucht die letzten 1200 Klima-Jahre speziell in Mitteleuropa. Behringer (2009) blickt noch weiter zurück und befasst sich mit den direkten Zusammenhängen zwischen dem Klima und der Entwicklung von Zivilisation und Kultur.

Für die nördliche Hemisphäre wird das Mittelalter allgemein als Wärmeoptimum bezeichnet. Danach folgte ein Abkühlungstrend (von insgesamt 0,2°-0,6°C) bis hin zur 'kleinen Eiszeit' im 17. und 18. Jh. Seit Mitte des 19. Jh. steigen die Temperaturen wieder an und haben bereits Mitte des 20. Jh. die Werte des Mittelalters überschritten. Pfister unterscheidet das warme 20. Jh. (1896-1987) vom Treibhausklima des 21. Jh. (1988-1997) (Pfister 1999: 75).

Abrupte Umlagerungen des Klimas, also Übergänge von warm zu kalt und umgekehrt, haben sich häufig in wenigen Jahrzehnten oder Jahren vollzogen. Den Kippeffekt zum Warmen seit den 1960er Jahren bezeichnet Pfister jedoch als extrem (ebd.: 211). Den Wendepunkt vom warmen 20. Jh. zum Treibhausklima des 21. Jh. legt er auf das Jahr 1988 fest, er spricht hier vom wärmsten Jahrzehnt seit 500 Jahren (ebd.: 77). Seit Veröffentlichung des Buches ist ein weiteres Jahrzehnt vergangen und Glaser hält 2008 fest, dass mit einer Ausnahme die letzten 12 Jahre zu den wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1850 gehören (Glaser 2008: 247). Rahmstorf und Schellnhuber gehen davon aus, dass diese sogar die wärmsten Jahre seit mehreren Jahrhunderten davor darstellen (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 53).

Nach Ansicht Pfisters bewegen sich Naturkatastrophen in Mitteleuropa noch in der natürlichen Bandbreite eines durchschnittlichen Intervalls von z.B. Winterstürmen (alle 15 Jahre). Das 19. Jh. betrachtet er dabei als ein Jahrhundert größerer Belastungen und das 20. Jh. als ein 'Klimatisches Gunstjahrhundert' (Pfister 1999: 262). Auch hier muss bedacht werden, dass in dem Jahrzehnt nach Erscheinen des Buches eine deutliche Entwicklung stattgefunden hat. Naturkatastrophen finden weltweit und auch in Mitteleuropa inzwischen fast jährlich statt (so z.B. in Österreich: Überschwemmung 2005, Schneemassen 2006, Kyril-Sturm 2007, Stürme Emma und Paul 2008, Hochwasser 2009).

Obwohl Pfister in seinem Buch die Dramatik aus der Klimawandel-Debatte zu relativieren versucht, ist er sich mit anderen erwähnten Verfassern einig, dass der stattfindende Wandlungsprozess im Vergleich zu den letzten Jahrhunderten ungewöhnlich ist (ebd.: 75) und eine Beschleunigung des natürlichen Prozesses durch den Menschen als gegeben angesehen werden kann.

2.2.3. Faktoren der Beschleunigung

Mitte des 19. Jh. wurde die Bedeutung der so genannten Treibhausgase für die Erdatmosphäre erkannt (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 29). Bestimmte Gase (z.B. CO₂, Methan, Wasserdampf) in der Atmosphäre haben die Eigenschaft, dass sie zwar die kurzwellige hereinkommende Sonnenstrahlung, nicht aber die langwellige Ausstrahlung der

Erde hindurch lassen und somit letztere auf die Erde zurückstrahlen. Damit nehmen sie direkten Einfluss auf die Strahlungsbilanz (Energiebilanz) der Erde. Die Folge ist eine Art Wärmestau, man spricht von dem so genannten Treibhauseffekt (ebd.: 30ff.).

CO₂ zählt zu den wichtigsten dieser Klimagase. In der Klimageschichte haben große Schwankungen an CO₂ in der Atmosphäre stattgefunden. Diese Schwankungen unterliegen einem globalen Regulationsprozess, dem Kohlenstoffkreislauf. Die ablaufenden Regulationsprozesse sind dabei oft sehr langwierig (ebd.). Heute weiß man, dass das Temperaturmaximum an der Grenze vom Paläozän zum Eozän (vor 55 Millionen Jahren) mit einer Erwärmung um 5 bis 6°C auf eine plötzliche Steigerung an CO₂ zurückzuführen ist. Der Grund dieses plötzlichen natürlichen CO₂-Anstiegs ist bis heute ungeklärt, es gibt aber verschiedene Vermutungen wie Vulkanaktivität, Meteoriteneinschlag oder instabiles Methanhydrat (ebd.: 38ff.). Rahmstorf und Schellnhuber (2007) lassen einen Vergleich zum aktuell stattfindenden Klimawandel zu, wobei sich der heutige Anstieg eindeutig durch menschliches Zutun erklären lässt. Der Mensch greift in den natürlich stattfindenden Kohlenstoffkreislauf z.B. durch Verwendung fossiler Brennstoffe und Abholzung der Wälder ein und verstärkt dadurch den Prozess. Das frei werdende CO₂ wird vor allem in die Luft abgegeben, große Mengen werden aber auch im Wasser gespeichert und führen zur Versauerung der Meere (IPCC 2007).

Seit den 50er Jahren gibt es Aufzeichnungen zur CO₂-Konzentration und das Bewusstsein eines stetigen Anstieges, der z.B. in Form der sogenannten 'Keeling-Kurve' festgehalten ist (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 33). Heutige Studien bestätigen die bereits in den 70er Jahren formulierte Annahme, dass bei einer Verdopplung des CO₂ in der Atmosphäre eine Erwärmung von durchschnittlich 3°C zu erwarten ist (1,5°-4,5°C) (ebd.: 46ff.; IPCC 2007).

Neben der Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ist der Mensch auch direkt für den Anstieg der Konzentration anderer Treibhausgase wie Methan, FCKW und N₂O verantwortlich. Auch Wasserdampf zählt zu den Treibhausgasen, ist aber nur indirekt als Folge der stetigen Erwärmung und deren atmosphärischen Rückkopplungen durch den Menschen beeinflusst (ebd.: 36).

Selbstverständlich sind die Treibhausgase nicht alleine für die Erwärmung verantwortlich. Wie oben erwähnt, gibt es auch natürliche Einflüsse wie Sonnenaktivität, Aerosole, etc. Es existieren unterschiedliche und unabhängige Ansätze zur Untersuchung der verschiedenen 'Antriebe der Erwärmung' (ebd.: S.42) und deren Wechselwirkungen untereinander. Die meisten Studien kommen aber zu einem ähnlichen Ergebnis, was den signifikanten Einfluss des Menschen in Form von gesteigerter CO₂-Konzentration und in Form anderer Gase auf die aktuelle Erwärmung angeht (IPCC 2007). Zusätzlich nimmt der Mensch auch durch andere Eingriffe wie jene der Veränderung und Gestaltung der Umwelt (z.B. Strukturen, Oberflächen, Materialien) und durch anthropogene Wärmequellen signifikanten Einfluss auf die Erwärmung (s. 3.2.2).

Laut IPCC (2007) müssen wir ohne Klimaschutzmaßnahmen derzeit mit einer Erwärmung um 2°- 6°C bis zum Jahr 2100 rechnen, selbst bei optimistischen Rechnungen bedeutet dies eine Verdreifachung der bislang im 20. Jh. stattgefundenen Erwärmung (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 49). Die jüngste vergleichbare Erwärmung um 5°C hat am Ende

der letzten Eiszeit vor 15.000 Jahren stattgefunden. Die Erwärmung hat sich damals jedoch über einen Zeitraum von 5.000 Jahren erstreckt, der aktuelle Wandel vollzieht sich lediglich über den Zeitraum eines Jahrhunderts (ebd.: 53; Adams 2007: 74).

2.2.4. Auswirkungen des Klimawandels

Die globale Erwärmung ist die markanteste Konsequenz des Klimawandels und selbst Faktor weiterer Auswirkungen. Es gibt verschiedene Methoden zur Messung der stattfindenden Erwärmung. Einerseits die direkten Datenerhebungen von Wetterstationen, über die ein deutlicher Anstieg der mittleren Temperatur beobachtet werden kann, und von Meerestemperaturen, bei denen ein Anstieg der Oberflächentemperatur zu verzeichnen ist (z.B. Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 54). Weitere Aussagen zur globalen Erwärmung können indirekt durch Beobachtung der Auswirkungen getroffen werden. Dazu zählen der Gletscherschwund, der Rückgang des arktischen Eises, der Anstieg des Meeresspiegels, der Veränderungen der Meeresströme und das Tauen des Permafrostes, das zur Freisetzung großer Mengen Methan führt. Die genannten Auswirkungen bedingen sich dabei zum Teil gegenseitig und verstärken als (positive) Rückkopplung wiederum die Erwärmung (ebd.: 56ff.; Wilby 2007).

Es gibt eine weitere Reihe von Auswirkungen der Erwärmung, die regional besonders spürbar sind. Darunter fallen die Zunahme an Wetterextremen, jahreszeitliche Veränderungen und Auswirkungen auf die Ökosysteme, sowie gesundheitliche Aspekte wie die Ausbreitung von Krankheiten (z.B. IPCC 2007; Wilby 2007). Im Folgenden sollen diese Auswirkungen in erster Linie auf Mitteleuropa bezogen werden.

Global gesehen ist im Zusammenhang mit der starken Erwärmung der Weltmeere eine Zunahme an Hurrikanen und tropischen Stürmen zu beobachten (IPCC 2007). Bei lokalen Wetterextremen wie Stürmen, Überschwemmungen und Dürren ist der Zusammenhang mit der globalen Erwärmung schwer nachweisbar, es lassen sich jedoch einige Trends für Mitteleuropa ablesen. Auch in Mitteleuropa haben die Stürme zugenommen. Insgesamt ist auch die Zunahme von starken Niederschlägen in mittleren Breiten zu verzeichnen, die u.a. schwere Überflutungen nach sich ziehen (z.B. Glaser 2008). Der Temperaturanstieg in Mitteleuropa findet laut IPCC fünfmal rascher als im globalen Durchschnitt statt (in Pfister 1999: 266). Als sehr wahrscheinlich kann ein Anstieg der Häufigkeit und der Stärke von Hitzewellen angenommen werden. Eine weitere Studie (Meehl und Tebaldi 2004) befasst sich mit Szenarien zur Entwicklung von Hitzewellen und stellt auf Europa bezogen einen Nord-Süd-Gradienten fest, wobei die größten Veränderungen grundsätzlich für den mediterranen Raum prognostiziert werden. Interessant hierbei ist jedoch der Aspekt, dass die gefährlicheren Auswirkungen dagegen eher in Mitteleuropa zu erwarten sind, da hier im Gegensatz zum mediterranen Raum noch keinerlei Adaptierung stattgefunden hat.

Die Erwärmung hat bedeutende Auswirkungen auf die Ökosysteme und die Biodiversität. Das betrifft besonders die (evolutiven) Anpassungsprozesse von Flora und Fauna an die veränderten Bedingungen (z.B. Parmesan 2003; Parmesan und Yohe 2006). Adams betont die Abhängigkeit von Vegetationstypen und ihrer Lebensräume vom Mikroklima und hebt dabei gleichzeitig auch deren (z.T. verstärkenden) Einfluss auf eben dieses

hervor, u.a. durch Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit (z.B. des Reflektionsgrades) und des Wasserhaushaltes (Adams 2007).

Flora und Fauna reagieren, indem sie in Richtung der Pole bzw. in höher gelegene Gebiete wandern. Adams (2007) spricht dabei hinsichtlich der Vegetation von einer Wanderung in Richtung Norden von 5 km pro Jahr, wobei die Baumarten 'hinterherhinken'. Parmesan und Yohe (2006) gehen für die Arten in ihrer Gesamtheit von 6,1 km pro Jahrzehnt in Richtung der Pole - bzw. von 6,1 m pro Jahrzehnt in die Höhe - aus. Damit verbunden ist auch eine Wanderung von Pflanzenschädlingen und -krankheiten. Parmesan (2003) warnt davor, dass die Geschwindigkeit des aktuellen Klimawandels zu hoch ist und die Gefahr besteht, dass die Arten hinsichtlich ihrer Reaktionen auf die Erwärmung diesem Tempo nicht standhalten können. Erschwerend kommen großflächige Unterbrechungen wie landwirtschaftliche Flächen und Stadtgebiete hinzu. Folgen sind extreme Einschränkungen und Isolation von Lebensräumen und das damit verbundene vermehrte Aussterben von Arten. Hier wird deutlich, dass großflächige Grünverbindungen durch ihre Verknüpfung von Lebensräumen auch für die Adaption von Arten an neue klimatische Standortbedingungen notwendig sind.

Anpassungsprozesse werden vor allem in saisonalen Verschiebungen sichtbar. Parmesan und Yohe (2006) sprechen von phänologischen Veränderungen von 2,3 Tagen pro Jahrzehnt und einer allgemeinen Verlängerung der Vegetationsperioden. Sie weisen besonders auf die Gefahr einer Asynchronität (*'asynchrony'*, ebd.: 657) und der damit drohenden Gefahr einer Zerstörung des Gleichgewichtes zwischen voneinander abhängigen Arten hin.

Ursprünglich reagierte der Mensch auf klimatische Veränderungen ebenfalls durch Abwandern. Aufgrund der technischen Entwicklungen entstand aber eine zunehmende Unabhängigkeit von der Natur und den natürlichen Klimabedingungen, was das Sesshaftwerden förderte (Behringer 2009). Im Gegenzug ist der Mensch den klimatischen Veränderungen jedoch gerade durch diese statische Verortung auch ausgeliefert. Menschen können sich grundsätzlich rasch an neue Begebenheiten anpassen, aber durch die Geschwindigkeit des aktuellen Wandels droht ein Verlust an Erfahrung und Berechenbarkeit (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 81). Bezogen auf die Erwärmung stellen vor allem der Hitzestress und dadurch bedingte Herz-Kreislauf-Erkrankungen eine gesundheitliche Gefahr für die Bevölkerung dar (Rudel et al. 2007; Meehl 2004). Durch die veränderten Klimabedingungen verbreiten sich zudem Krankheiten, die z.B. wie die Malaria von Mücken übertragen werden (z.B. Wilby 2007; Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 80).

Auf allen Ebenen wird mit verschiedenen Szenarien gearbeitet. Sie erlauben aber keine Prognosen im eigentlichen Sinn, sondern beleuchten die Konsequenzen verschiedener Handlungsoptionen. Es geht dabei um mögliche bzw. wahrscheinliche Folgen. Dabei wird häufig auf globalen Mittelwerten aufgebaut. Regional können diese jedoch sehr unterschiedlich sein und somit fallen auch die Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und Menschen regional unterschiedlich aus. Bereits stattfindende Auswirkungen lassen nicht unbedingt auf das Ausmaß zukünftiger schließen, da es sich meist nicht um lineare Prozesse handelt und die Feedback-Reaktionen (positive und negative Rückkopplungen) schwer einschätzbar sind. Sie können aufgrund ihrer Komplexität oft nicht bzw. nicht ausreichend berücksichtigt werden (Adams; Rahmstorf und Schellnhuber). Goodess et al. (2007) spre-

chen daher in Bezug auf die Stadtplanungsebene von „*probabilistic climate scenarios*“ und von „*decision making under uncertainty*“.

2.2.5. Der Umgang mit dem Klimawandel

Die britische Regierung beauftragte den Ökonomen Nicholas Stern im Jahr 2006 mit einer Studie, die erstmals explizit die Kosten des Klimawandels behandeln sollte. Der als »Stern-Report« veröffentlichte Bericht weist vor allem auf die globalen Zusammenhänge und Verantwortungen hin. Stern stimmt mit anderen Studien überein, dass durch Klimaschutzmaßnahmen deutlich geringere Kosten entstehen als durch die prognostizierten Folgekosten des Klimawandels. Zu berücksichtigen sind dabei sowohl die direkten Folgekosten z.B. aufgrund von Naturkatastrophen und hinsichtlich der Gesundheit als auch die indirekten Kosten und gesellschaftlichen Auswirkungen, die z.B. durch Klimaflüchtlingswellen zu erwarten sind (Stern 2007).

„Nach einer Untersuchung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung können bei einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 3,5°C bis 2100 ökonomische Verluste im Wert von 150 Billionen US-Dollar entstehen, bei einem Anstieg um 4,5°C könnten sich diese Verluste sogar noch verdoppeln.“ (Kemfert 2005 in Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 121)

Hier stellen sich brisante ethische Fragen zur globalen Verantwortung vor allem schwächeren Nationen gegenüber. Die Lebensstandard-Schere zwischen den Hauptauslösern des Klimawandels (Industrienationen) und den Hauptbetroffenen (Entwicklungsländer) wird sich weiter öffnen. Es handelt sich dabei um einen wichtigen Aspekt innerhalb der Nachhaltigkeitsdebatte (s. 2.3). Für die Einschätzung des zu erwartenden Klimaschadens ist die Berücksichtigung der proportionalen Beziehung zwischen den Faktoren einer Veränderung und der Verwundbarkeit, also der Klimasensitivität, essentiell (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 42ff.).

Grundsätzlich werden zwei Strategien im Umgang mit dem Klimawandel unterschieden. Längerfristig gesehen ist die Mitigation - d.h. Gegenmaßnahmen - das oberste Ziel. Dabei spielen globale Zielvorgaben wie der Emissionsschutz und politische Maßnahmen wie die Nachhaltigkeitsstrategie eine wichtige Rolle. Der aktuell stattfindende Klimawandel wird mit seinen Auswirkungen jedoch noch weit in das nächste Jahrhundert hineinreichen, selbst unter der unwahrscheinlichen Annahme eines sofortigen Stopps aller den Klimawandel fördernden Aktionen (IPCC 2007; Stern 2006). Mittel- und kurzfristig ist daher auch die Adaption (Strategie zur Anpassung) an die veränderten Klimabedingungen ein wesentlicher Aspekt. Rahmstorf und Schellnhuber definieren das Ziel dieser Adaption an den Klimawandel als einen „... *Versuch, die potentiell negativen Folgen durch möglichst intelligente, preiswerte und leicht durchführbare Maßnahmen weitestgehend abzuschwächen und die potentiell positiven Folgen durch ebensolche Maßnahmen weitestgehend zu verstärken.*“ (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 121). Die Mehrheit der *scientific community* ist sich darüber einig, dass beide Strategien, sowohl die Mitigation als auch die Adaption, parallel zu entwickeln und zu verfolgen sind (IPCC 2007; Hunt 2004).

2.2.6. Die Ebene der Stadt

Der Klimawandel ist besonders in den Städten spürbar, da sich die Auswirkungen hier durch die städtebaulichen Strukturen und die verwendeten Materialien noch verstärken. Gleichzeitig wirken sich auch die besonderen klimatischen Bedingungen in der Stadt wiederum auf das globale Klimageschehen aus. Städtische Freiräume, insbesondere Grün- und Wasserflächen, bergen dabei ein großes Potential, da sie neben der direkten Mitigation der städtischen Wärmeinsel auch Chancen zur Adaption an die veränderten Klimabedingungen innerhalb der überhitzten Städte bieten. Dies betrifft sowohl bereits angesprochene ökologische Aspekte - wie Lebensraum und dessen Verknüpfung für Flora und Fauna - als auch gesundheitliche, soziale und ökonomische Aspekte für die Stadtbevölkerung. Es wird allgemein unter dem Stadtklima (Mesoklima) und dem lokalen Klima (Mikroklima) der einzelnen Stadträume unterschieden, wobei sich das Stadtklima aus der Gesamtheit der lokalen Klimate zusammensetzt.

Auf dem Stadt- und Mikroklima liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit. Diese Themenfelder stellen die wissenschaftliche Grundlage für die weiteren Untersuchungen dar und werden daher in einem eigenen Kapitel ausführlicher behandelt (s. Kapitel 3).

2.3 Nachhaltigkeit

Es soll hier keine Diskussion um den Begriff 'Nachhaltigkeit' an sich geführt werden. Vielmehr soll der Begriff im Sinne einer verantwortungsvollen Stadtentwicklung hinsichtlich sozialer, ökologischer und ökonomischer Aspekte verdeutlicht werden. Die besondere Rolle des städtischen Freiraums und des damit verbundenen lokalen Klimas für eine derartige 'nachhaltige' Entwicklung steht dabei im Vordergrund. Zum allgemeinen Verständnis der Nachhaltigkeitsdebatte ist ein kurzer Blick auf die wichtigsten politischen Entwicklungen und grundsätzlichen Ideen sinnvoll. Wie bereits einleitend erläutert, ist diese in einem engen Zusammenhang mit den klimatischen Entwicklungen zu sehen.

2.3.1. Der Begriff 'Nachhaltigkeit'

Der Begriff der Nachhaltigkeit basiert auf dem 1987 erschienenen Brundtland-Report »Unsere Gemeinsame Zukunft« und konzentriert sich in dem viel zitierten Satz: „*Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.*“ (Brundtland und Hauff 1987: 42).

Der Begriff wird in seiner Komplexität intensiv diskutiert, eine konsensfähige und allgemeingültige Definition scheint bislang aber noch nicht gefunden zu sein. Müller definiert Nachhaltigkeit als „*Versuch, ein Konzept zu entwickeln, wie die wirtschaftlichen Ressourcen erhalten, die sozialen Bedürfnisse gesichert und die natürlichen Grundlagen dauerhaft geschützt werden können.*“ (Müller 1997: 31). Gerken und Renner (1996) beschreiben sie als „*gesellschaftliches Abwägungskonzept zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Zielsetzungen*“ und Homann (1996) bezeichnet sie als 'regu-

lative Idee' (beide in Feindt 1997: 41). Feindt selbst sieht die Nachhaltigkeit als einen Leitbegriff, der den früheren Begriff des 'Gemeinwohls' abgelöst hat (ebd.: 38).

Für eine weitere Verwischung des Begriffes 'Nachhaltigkeit' sorgt die allgemeine Faszination, die dieser auslöst. Spitzer führt hier Begriffe wie 'Vision', 'magische Anziehungskraft' und 'Paradigma' an. Der Begriff scheint *en vogue* zu sein und wird geradezu inflationär benutzt, wobei er jeweils anders ausgelegt und damit auch instrumentalisiert wird (Spitzer 1997: 61).

2.3.2. Die verschiedenen Ebenen der Nachhaltigkeit

Frühe Ansätze der Nachhaltigkeits-Debatte betonen in erster Linie die enge Beziehung zwischen Ökonomie und Ökologie. Die 1972 in Rio de Janeiro einberufene Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung stellte erstmals die sozialen Aspekte in den Vordergrund. Inzwischen ist die Bedeutung der sozialen Ebene für die Nachhaltigkeit allgemein anerkannt und neben der Ökologie und Ökonomie fester Bestandteil ihres so genannten 'Drei-Säulen-Modells'. Spitzer betont vor allem die Chancengleichheit und das 'natürliche Kapital' (erneuerbare und nicht erneuerbare natürliche Ressourcen) als Basis für eine funktionierende Nachhaltigkeit (ebd.: 63). Die Herausforderung dabei ist, die „richtige Balance zwischen Eigenverantwortlichkeit der Einzelnen und der Fürsorgepflicht von Institutionen (Staat, Betrieb, Gemeinschaften) sowie die Fähigkeit zu konstruktiver Konfliktlösung“ zu finden (Spitzer 1997: 64). Er spricht auch von der Notwendigkeit zur Integration zweier weiterer zu den bereits genannten Ebenen des 'Drei-Säulen-Modells': Die konkrete Umsetzung einer Selbstbegrenzung versteht er als kulturelle Aufgabe und somit sieht er die 'kulturelle Nachhaltigkeit' mit den Aspekten der „Vielfalt, Kreativität, Überlieferung und die Unterstützung lebenslangen Übens und Lernens“ (ebd.: 65) als vierte Ebene der Nachhaltigkeit an; Wertebindungen und ethische Grundhaltungen wie das 'Geben und Nehmen' und der 'Respekt', die vor allem in der Erziehung verankert sind und sich an Vorbildern und Erfahrungen orientieren, bilden die fünfte 'Ebene der Werte und der spirituellen Basis' (ebd.: 66).

2.3.3. Theorie und Umsetzung

An der Konferenz in Rio nahmen 170 Staaten teil. Ein wichtiges Ergebnis der Konferenz war die Agenda 21, in der die nachhaltige Entwicklung als politisches Ziel definiert und die Forderung nach nationalen Nachhaltigkeitsstrategien formuliert wurde. Die Agenda 21 stellt eine Art Gerechtigkeitsziel dar, wobei jedoch zu bedenken ist, dass „... in verschiedenen gesellschaftlichen Handlungsfeldern verschiedene Auslegungen des Gerechtigkeitsbegriff vorzufinden [sind]“ (Walzer 1983 in Feindt: 39). Zumindest wurde auch die 'Stärkung der Rolle wichtiger Gruppen' verankert und somit ein Aspekt der Kompromissfindung eingeführt.

Im Rahmen eines Sondergipfels der europäischen Staats- und Regierungschefs im Jahr 2000 in Lissabon wurden für die vier zentralen Themenbereiche Klimaveränderung, Verkehr, Gesundheit und natürliche Ressourcen gemeinsame Ansätze hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung auf Ebene der EU - die so genannte »Lissabon-Strategie« -

vereinbart. 2002 folgte dann der Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg, auf dem die Nachhaltigkeitsstrategien auf nationaler Ebene fortgeführt wurden.

Neben vielen Kritikern räumt die EU in der »Erneuten EU-Nachhaltigkeitsstrategie« (2006) selbst ein, dass trotzdem in allen genannten Bereichen viel zu wenig getan wurde (ebd.: Anlage S.2). Nach wie vor stehen wirtschaftliche Aspekte wie die Wettbewerbsfähigkeit im Vordergrund vieler politischer Entscheidungsprozesse (Müller 1997: 30). Ein weiterer Grund liegt aber vermutlich auch in der Tatsache, dass die allgemeinen übergeordneten Zusammenhänge von der Bevölkerung nicht erkannt bzw. ignoriert wurden, da sie im täglichen Leben der (insbesondere der europäischen) Stadtbevölkerung noch nicht spürbar waren und somit auch keine Einsicht für die Notwendigkeit zur Selbstbegrenzung bestand. Die aktuelle Thematisierung des Klimawandels in der Politik und in den Medien sowie die Weltwirtschaftskrise lassen jetzt die globalen Wechselwirkungen und die Abhängigkeit und Verantwortung eines Jeden ins Bewusstsein rücken. Die aktuellen Krisen können, provokant ausgedrückt, die Chance zum Umdenken und zu einer Umsetzung der erforderlichen Strategien bieten. In diesem Zusammenhang ist auch die Erkenntnis in der Politik entscheidend, dass eine funktionierende Umsetzung nachhaltiger Entwicklung nur unter Berücksichtigung sozialer Aspekte möglich sein wird. In der erneuerten EU-Strategie für nachhaltige Entwicklung ist daher eine „*kontinuierliche Verbesserung der Lebensqualität sowohl der heutigen als auch künftiger Generationen*“ integriert worden, „*wodurch Wohlstand, Umweltschutz und sozialer Zusammenhalt gewährleistet werden.*“ (»Die erneuerte EU-Nachhaltigkeitsstrategie« 2006, Anlage: 3).

Müller sieht gerade in der Umweltpolitik eine zentrale Rolle für eine nachhaltige Entwicklung und begründet dies mit der Bedeutung ökologischer Belange für soziale und ökonomische Aspekte (Müller 1997: 34). Feindt weist bei diesem Ansatz einer 'integrativen' Strategie, bei der die Belange des einen Aspektes ebenso die anderen Aspekte betreffen, auf die Gefahr hin, dass es in dem Moment Konflikte gibt, in dem z.B. eine Konkurrenz um knappe Ressourcen auftritt. Er gibt weiter zu bedenken, dass gerade die ökologischen Ziele in solchen Konflikten voraussichtlich immer schwächer abschneiden werden (Feindt 1997: 39).

Es geht also auch um eine Bewusstseinsbildung auf allen Ebenen. Diese muss als notwendiger Prozess verstanden werden und lässt sich nur durch die Stärkung von Bildung, Forschung und Information bewerkstelligen. Sie ist daher auch in der »Erneuten EU-Nachhaltigkeitsstrategie« (2006) verankert. Wichtige Instrumente stellen diesbezüglich auch die Gemeinschaftsbildung und die Partizipation dar. Zur Umsetzung von Strategien stehen zwei unterschiedliche Ansätze zur Verfügung. Die 'top-down' Methode eignet sich vor allem dazu, Rahmenbedingungen (für größere Bereiche) zu schaffen. Auf der kleinskaligeren Ebene kann die 'bottom-up' Methode eine wirkungsvolle Ergänzung dazu sein. Eine derartige Ergänzung wird vor allem in Stadtplanungsprozessen interessant. Spitzer spricht zudem von sogenannten 'Zwischenformen', in denen z.B. Katalysatorwirkung und Vermittlung im Vordergrund stehen (Spitzer 1997: 67).

2.3.4. Die Ebene der Stadt

Die Grenzen zwischen Stadt und Land verschwimmen zusehends. Während früher Suburbanisierung durch das Bild von 'Zentrum und Peripherie' geprägt wurde, herrscht jetzt das Konzept 'Netz und Knoten' vor, wobei sich vor allem auch innerhalb der Kernstadt soziale Brennpunkte herausbilden. Im Zuge der Entwicklung von innenstadtorientierten und berufsorientierten Lebensstilen wird inzwischen die Innenstadt als Lebens- und Wohnort zunehmend attraktiver (Siebel 2004: 37ff.).

Die Stadt stellt einen heterogenen Pool dar, einen Sammelpunkt verschiedener Ethnien, sozialer Schichten, politischer und kultureller Hintergründe. Das bedeutet ein großes Potential für notwendige Veränderungen, aber auch besonders komplexe Problemzonen. Feindt führt dazu häufig mit der Stadt in Zusammenhang gebrachte Begriffe wie 'Streitfeld und Ideenpool', 'Marktplatz der Ideen', 'ökologische Dichte', 'Soziodiversität' und 'Nischen', aber auch die von Alexander Mitscherlich formulierte 'Unwirtlichkeit der Städte' an (Feindt 1997: 43).

2.3.4.1. Ökologische und ökonomische Verantwortung

Aufgrund der Zahl ihrer Einwohner und deren Anspruch auf einen gehobenen Lebensstandard verursachen die Städte grundsätzlich einen großen 'ökologischen Fußabdruck': Sie sind sowohl intensive Verbraucher als auch große Emittenten und ihr Einfluss auf die Umwelt fällt dementsprechend heftig aus. Rees hält fest, dass die Stadtökologie ein Teil der Humanökologie ist und damit lokale Nachhaltigkeit notwendig ist, um eine globale Nachhaltigkeit zu erreichen (Rees 1997). Neben der globalen ökologischen Stabilität betrifft dies ebenso die geopolitische Sicherheit (ebd.; Stern 2006). Aufgrund der allgemeinen Konzentrierung der sozialen Kontakte, der Arbeitswege, der Infrastruktur und aufgrund einer höheren Gebäudeeffizienz stellt die Dichte der Stadt grundsätzlich auch ein ökologisches und ökonomisches Potential dar. Wirksam kann dieses Potential jedoch nur werden, wenn die Bewohnerinnen und Bewohner der Stadt bereit sind, aus einem ökologischen und sozialen Bewusstsein heraus zu handeln. Das bedeutet, dass Städte - insbesondere jene in Industriestaaten - eine große globale Verantwortung haben.

Insgesamt steht vor allem die Stadtplanung vor einer großen sozialen Herausforderung. Der zunächst einmal demographische gesellschaftliche Wandel - gerade der letzten Jahrzehnte - wirkt sich auf vielfältige Weise direkt und indirekt auf die europäischen Länder und insbesondere auf die europäischen Städte aus. Einen großen Anteil an dem weiterhin stattfindenden Anwachsen der Städte haben Zugewanderte, die den sich abzeichnenden Bevölkerungsschwund (Geburtenrückgang, Überalterung) in europäischen Ländern zum Teil aufzufangen vermögen. Den Menschen mit Migrationshintergrund wird aber eine positive Identifikation erschwert, weil ein emotionaler Bezug zu dem für sie fremden Ort fehlt bzw. nicht unterstützt wird. Siebel spricht diesbezüglich von einer fehlenden 'Erinnerungsschicht', die sich dann in einem Gefühl des Fremdseins ausdrückt (Siebel 2004: 20). Hinzu kommt eine zunehmende Anzahl von Personen ohne geregelte Arbeit, was sich auf die wirtschaftliche Situation und auf die Freizeit auswirkt.

Dieser gesellschaftliche Wandel wird unterschiedliche Auswirkungen haben. Siebel sieht z.B. die Gefahr der Exklusion und Segregation und der Verstärkung von sozialer Ungleichheit und betont die Notwendigkeit einer stärkeren „*Sozialintegration' im urbanen Kontext*“ (Siebel 2004: 46). Kaelble beobachtet zudem den im 20. Jh. typischen Wandel von einer Trennung sozialer Milieus hin zu einer Trennung in eine Vielzahl von kleineren sozialen Gruppierungen wie Singles, Pensionierte, Arbeitslose, Studierende, Alleinerziehende, Zugewanderte, etc. (Kaelble 2007). Die Folge sind Unterschiede im Sozialstatus, abzulesen z.B. an Quantität und Qualität des Wohnraums. Eine wichtige Aufgabe muss daher neben der Integration zugewanderter Mitbürgerinnen und Mitbürger auch der Umgang mit den sich verändernden Alters-, Familien- und Sozialstrukturen sein. All diesen Strukturen ist in Europa ein relativ hoher Lebensstandard und ein hoher Anspruch auf Lebensqualität gemeinsam (ebd.).

Lebensqualität umschreibt das aktuelle physische, soziale und ökonomische subjektive Wohlbefinden (Maderthaner 1995: 176). Neben der körperlichen und seelischen Gesundheit spielen laut Argyle vor allem Sozialkontakte, Freizeit und Arbeit eine entscheidende Rolle, bevor weitere Faktoren wie soziale Klasse, Geschlecht, Alter, Nationalität, etc. zum Tragen kommen (ebd.: 180). Gesundheit und Wohlbefinden bedingen sich dabei gegenseitig. Die physische Nähe und die Häufigkeit der Sozialkontakte sind ebenso wichtig wie eine gewisse soziodemografische Übereinstimmung und eine Ähnlichkeit in Einstellung und Meinung. Gerade die beiden letztgenannten Kriterien liegen auf dem schmalen Grat zwischen Kommunikation (als Grundbedürfnis und Grundvoraussetzung menschlicher Existenz) und somit Integration und der von Siebel (s.o.) angesprochenen Gefahr von Segregation und dementsprechend von Ausgrenzung. Ziel einer nachhaltigen Entwicklung muss also neben der Schaffung eines gesunden Umfeldes eine Förderung der Kommunikation über soziale und ethnische Grenzen hinaus sein, um das Zusammengehörigkeitsgefühl insgesamt zu steigern. Hierin besteht eine wichtige Aufgabe der Stadtplanung (Maderthaner 1995: 192).

2.3.4.2. *Bewusstseinsbildung*

Die Städte haben nicht nur einen großen Einfluss auf das globale Umwelt- und Klimageschehen, sondern in ihnen ist dieses auch am deutlichsten spürbar. Das subjektive Erkennen des Einzelnen, dass durch positive Veränderung der Umwelt ein besseres Lebensumfeld erreicht werden kann und dies auch für die zukünftigen Generationen anzustreben ist, erleichtert den Schritt zu nachhaltigem Handeln auch unter Inkaufnahme einer dafür notwendigen Selbstbegrenzung. Soziale Aspekte - wie z.B. Lebensqualität - erhalten somit auch für eine nachhaltige Entwicklung eine zunehmende Bedeutung.

Wichtig dabei ist die Sensibilisierung für direkte Wechselwirkungen, z.B. für die Einsicht, dass ökologische Belange auch wichtige Aspekte der Lebensqualität ausmachen können. So ist der Erhalt von Ökosystemen und der Artenvielfalt in der Stadt auch unter stadtklimatischen Aspekten und als Naturerlebnis zu betrachten; beide stehen im direkten Zusammenhang mit dem Wohlbefinden des Einzelnen. Die Ressourcen werden grundsätzlich immer rarer, aber die Wissensbasis der Menschheit nimmt ständig zu. Spitzer sieht hier die „*Schlüsselrolle bei einem Übergang zu nachhaltigem Wirtschaften und Leben*“ und ein großes Potential der Städte (Spitzer 1997: 68).

2.3.4.3. Politische Strategien

Die grundsätzliche Bedeutung des Themas Nachhaltigkeit für die Städte wurde allgemein erkannt und in verschiedenen Berichten politisch verankert, so z.B. in der »Charta der Europäischen Städte und Gemeinden auf dem Weg zur Zukunftsbeständigkeit« (bekannt als Aalborg-Charta, 1994), in der »Thematischen Strategie der städtischen Umwelt« (2006) und in der »Leipzig-Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt« (2007). Auch die Notwendigkeit von Information, Bildung und Forschung für eine erfolgreiche nachhaltige Entwicklung wurde von Seiten der Politik anerkannt und in die »Erneuerte EU-Nachhaltigkeitsstrategie« (2006) aufgenommen.

Bei Durchsicht dieser strategischen Papiere wird deutlich, dass sich die Empfehlungen nur auf ganz bestimmte Themenfelder fokussieren. Dabei fällt besonders auf, dass der städtische Freiraum und klimatische Aspekte im Sinne des thermischen Wohlbefindens keine explizite Erwähnung finden. Die »Thematische Strategie der städtischen Umwelt« (2006) betont z.B. die Abhängigkeit der Lebensqualität *„direkt vom Zustand der städtischen Umwelt“* und weist den städtischen Gebieten eine *„wichtige Rolle für die Anpassung an den Klimawandel“* zu. Die formulierten Leitlinien beziehen sich jedoch vorwiegend auf Emissionsvermeidung und nachhaltige Verkehrssysteme, nicht aber auf städtische Grün- und Wasserflächen oder auf die Aufenthaltsqualität in den Freiräumen. Die »Leipzig-Charta« (2007) empfiehlt die *„Herstellung und Sicherung qualitativvoller öffentlicher Räume“*, wobei der Fokus auf rein gestalterischen Aspekten im Sinne eines *„hohen baukulturellen Niveaus“* liegt. In den weiteren Punkten – wie z.B. in der Handlungsstrategie *„Steigerung der Energieeffizienz“* oder in der Empfehlung, *„besondere Aufmerksamkeit den benachteiligten Stadtquartieren im gesamtstädtischen Kontext zu widmen“* - findet der Freiraum trotz seines hohen Potentials keinerlei Erwähnung.

Im Folgenden sollen daher die vielseitigen Funktionen und die Bedeutung des städtischen Freiraums für eine nachhaltige Stadtentwicklung aufgezeigt werden.

2.4 Der städtische Freiraum

2.4.1. Der städtische Freiraum im Sinne von 'Landschaft'

Im städtischen Freiraum kommen die unterschiedlichen Aspekte der Nachhaltigkeit zusammen. In engem Zusammenhang damit spielen gerade auf der Ebene der Stadt auch die (mikro-)klimatischen Aspekte eine wichtige Rolle für die Nachhaltigkeit.

Der städtische Freiraum wird allgemein als 'nichtbebaute Fläche der Stadt' beschrieben. Dazu zählen sowohl grün- und wasserbestimmte Freiräume wie Parks, Gärten, Flüsse und Seen als auch versiegelte Freiräume wie Plätze, Verkehrsflächen und Höfe. Es wird grundsätzlich zwischen öffentlichen oder privaten Freiräumen unterschieden. Für eine Gesamtbetrachtung ist diese Unterscheidung nur dann entscheidend, wenn es um rechtliche Fragen, z.B. um die Möglichkeit der Einflussnahme durch die öffentliche Hand geht. Unter ökologischen und stadtklimatischen Aspekten ist eine solche Trennung grundsätzlich nicht sinnvoll. Räumlich betrachtet müssen weitere Flächen hinzugezählt werden:

Freiräume, die sich auf und in Gebäuden bilden, also sowohl Dachgärten, Terrassen und Balkone, als auch überdachte Freiräume, die einer öffentlichen Nutzung gewidmet sind, wie z.B. öffentliche Passagen und Unterführungen. Unter ökologischen und stadtklimatischen Aspekten werden zudem vertikale Flächen, wie Fassaden, als potentielle Freiflächen relevant. Der städtische Freiraum ist also als eine übergeordnete 'Landschaft' zu verstehen und wird daher explizit in die »Europäische Landschaftskonvention« (2000) als wichtiger Bestandteil des allgemeinen Konzeptes von Landschaft integriert.

2.4.2. Funktionen des städtischen Freiraums

Die Vielzahl an Funktionen von städtischen Freiräumen werden allgemein in drei Hauptkategorien gegliedert: a) umweltrelevante und ökologische Funktionen, b) soziale und gesellschaftliche Funktionen und c) strukturelle und symbolische Funktionen (UrbSpace 2010).

Unter umweltrelevanten und ökologischen Funktionen (a) werden klimatische Verbesserungen, Lärmfilterung, Einfluss auf den Wasserkreislauf und Oberflächenwassermanagement sowie die Bereitstellung von Lebensraum für Flora und Fauna verstanden (ebd.). Viele ökologische Aspekte haben unmittelbar auch mit klimatischen Aspekten zu tun. Der städtische Freiraum trägt sowohl zur Mitigation der Klimaerwärmung als auch zur Adaption an die veränderten klimatischen Bedingungen bei.

Als soziale und gesellschaftliche Funktionen (b) werden die Bereitstellung von Raum für Freizeitnutzung und Erholung, die Förderung sozialer Kontakte und der Kommunikation, die Schaffung von Zugang zu Naturerlebnissen und der Einfluss auf die physische und psychologische Gesundheit der Menschen zusammengefasst (UrbSpace 2010). Diese sozialen Aspekte stellen die wichtigsten Kriterien für das Wohlbefinden dar und betreffen somit direkt die Lebensqualität in der Stadt (Maderthaner 1995).

Bei der Beschäftigung mit dem Stadtraum ist es besonders wichtig, laufende Veränderungen der gesellschaftlichen Strukturen und sich dadurch ändernde Bedürfnisse zu berücksichtigen. Entwicklungstendenzen müssen beobachtet und aufgezeigt werden, um diese rechtzeitig einkalkulieren bzw. auf sie reagieren zu können. So bringen z.B. Entwicklungen in der Technologie, insbesondere der Kommunikationstechnologie, die Gefahr einer weiteren Anonymisierung mit sich, und die kapitalistische Gesellschaftsordnung führt zu einer fortschreitenden Privatisierung ehemals öffentlicher Freiräume. Dies führt vor allem zu Problemen für sozial benachteiligte Gesellschaftsschichten, da damit eine zunehmende Kommerzialisierung des öffentlichen Raumes in Form von Gastronomie und kommerziellen Veranstaltungen einhergeht. Auf der anderen Seite wird der öffentliche Raum auch immer mehr mit privaten Aktivitäten belegt. Siebel führt hier z.B. die Mobiltelefonie an (Siebel 2004: 29). Die Grenzen zwischen öffentlich und privat verschwimmen somit immer mehr. Viele der ursprünglichen Funktionen des öffentlichen Raums - wie z.B. als Ort des Handels und der Repräsentation - sind aufgrund des sozialen Wandels weitgehend obsolet geworden. Manche Funktionen wie Erholung und Freizeit haben sich erst in jüngerer Zeit entwickelt. Selle merkt an, dass viele Veränderungen eine Zeit der Anpassung brauchen und häufig die bislang unerkannten Potentiale neuer Aktivitäten und Funktionen, die die vermeintlichen Lücken füllen, erst allmählich relevant werden. Er rät daher

von einer Dramatisierung - wie sie in der Vergangenheit häufig im Zuge gesellschaftlicher Umbrüche inszeniert wurde - ab: „*In einem Prozess des permanenten Funktionswandels, des Um- und Neudefinierens dessen, was städtische Öffentlichkeit ist und Nutzung öffentlicher Räume sein kann, nehmen wir heute einen Ausschnitt wahr, an dessen Ende eine neue Etappe des Wandels ihren Anfang nimmt.*“ (Selle 2004: 145).

Allgemein wird innerhalb der Städte die Bedeutung sozialer Kontakträume steigen. Es zeichnet sich bereits jetzt ein zunehmender Nutzungsdruck auf öffentliche Freiräume ab. Dabei ist ein Angebot an Freiräumen - im Sinne von unbebauten, nicht kommerziell genutzten und flexibel nutzbaren Räumen - vor allem in den verdichteten Stadtgebieten dringend notwendig. Auch hier kommt den klimatischen Bedingungen eine zunehmende Bedeutung zu, was sowohl die Lebensqualität als auch die Gestalt und Nutzbarkeit der Freiräume betrifft.

Unter die strukturellen und symbolischen Funktionen (c) fallen architektonische Formulierung, Abgrenzung und Verknüpfung einzelner Gebiete des Stadtgefüges, die Verbesserung der Lesbarkeit der Stadt oder der Umgebung, die Schaffung einer örtlichen Identität und die Funktion des städtischen Freiraums als Träger von Identität, Bedeutungen und Werten (UrbSpace 2010). Hier sind auch wichtige soziale Aspekte wie z.B. die Integration verankert.

2.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die letzten Dekaden des vorigen Jahrhunderts und das erste Jahrzehnt des 21. Jh. waren von gesellschaftlichen Umbrüchen und geradezu dramatischen Klimaverschiebungen geprägt. Die Städte sind von diesen Veränderungen besonders betroffen, bzw. sie üben ihrerseits einen großen Einfluss auf die stattfindenden Entwicklungen aus. Grundsätzlich ist ein weiteres Anwachsen der Städte bei gleichzeitiger Zunahme der Dichte und Differenzierung der Bevölkerungsstruktur zu erwarten, wobei letztere zunehmend heterogener wird. Soziale Aspekte wie Integration, Gesundheit und Partizipation, ökologische Aspekte wie der Erhalt der Ökosysteme und ökonomische Aspekte wie die Energie-Effizienz sind entscheidende Kriterien für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Der globale Klimawandel und das Phänomen Stadtklima verstärken sich gegenseitig. Dabei gleicht sich das Klima mitteleuropäischer Städte immer mehr dem mediterranen Klima an.

Vor dem Hintergrund des sich abzeichnenden sozialen und klimatischen Wandels - insbesondere auch in mitteleuropäischen Städten - wird die zunehmende Bedeutung von städtischen Freiräumen ersichtlich.

Der städtische Freiraum ist somit aufgrund seiner vielfältigen Funktionen unbedingt

1. als **Schlüsselfaktor für eine zukünftige nachhaltige Stadtentwicklung** und
2. in seiner Gesamtheit **im Sinn von 'Landschaft'** zu verstehen.

Städtische Freiräume spielen sowohl im Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels (Adaption) als auch bei einer Verbesserung des Klimas (Mitigation)

eine wichtige Rolle. Hier sind ökologische Aspekte wie die Lebensbedingungen für Flora und Fauna und der Wasserhaushalt der Stadt, sowie ökonomische Aspekte wie Gesundheitsvorsorge und Energieeffizienz betroffen. Gleichzeitig haben städtische Freiräume großes Potential für die Funktion eines allgemein erweiterten öffentlichen Lebensraums und stellen somit dringend notwendige soziale Schnittstellen dar.

3. Unter den sozialen Aspekten ist hierbei insbesondere die **Bedeutung von freien, flexibel nutzbaren und unkommerziellen Stadträumen** hervorzuheben.
4. **(Mikro-)klimatische Aspekte** spielen zudem eine wichtige Rolle, denn sie bedingen in besonderem Maße die Gestalt, die Nutzbarkeit und die Aufenthaltsqualität der städtischen Freiräume.

3. Stadtklima, Mikroklima und thermisches Wohlbefinden

3.1 Einführung

Einen der wesentlichen Aspekte der vorliegenden Arbeit stellt die Suche nach einer effektiven Strategie im Umgang mit der fortschreitenden Erwärmung bereits bestehender städtischer Strukturen dar. Diese Strategie muss zum Ziel haben, die Aufenthaltsqualität in den Städten besonders in Bezug auf das thermische Wohlbefinden zu verbessern. Das vorliegende Kapitel untersucht die wissenschaftlichen Grundlagen der Thematik. Hierbei wird zunächst das Stadtklima im Allgemeinen (Mesoklima) diskutiert, der Fokus liegt jedoch auf dem Mikroklima und dem thermischen Wohlbefinden in einzelnen Stadträumen. Aus den im Anhang zitierten Quellen wurden in Tabelle 3.1 wesentliche Forschungsentwicklungen wie z.B. Entwicklungen in Bezug auf angewandte Methoden und wissenschaftliche Veröffentlichungen gegenübergestellt. Die Tabelle konzentriert sich dabei auf die Entwicklungen bis zum Jahr 2000. Die aktuelle Forschung ab diesem Zeitpunkt wird gesondert in Kapitel 4 behandelt. In der Tabelle werden die engen Wechselwirkungen zwischen Stadt-, Mikro- und Bioklima besonders deutlich. Das vorliegende Kapitel setzt sich mit den Auswirkungen des Stadtklimas auf die Bewohner/innen auseinander und untersucht, durch welche Faktoren das Stadtklima bestimmt wird und welche Rolle der städtische Freiraum allgemein für das Stadtklima spielt. Das Kapitel ist in der Folge auf den Aspekt des thermischen Wohlbefindens fokussiert und untersucht die Möglichkeiten der Landschaftsarchitektur, gestalterisch auf das lokale Klima im Sinne einer höheren Aufenthaltsqualität Einfluss zu nehmen. Damit werden vor allem gesundheitliche und soziale Aspekte angesprochen, die wesentliche Kriterien des Wohlbefindens und der Lebensqualität darstellen (s. Kapitel 2).

Aufgrund der engen Wechselwirkungen ist es schwer, das großmaßstäbliche Stadtklima und das kleinmaßstäbliche lokale Mikroklima getrennt voneinander zu betrachten. Die Gesamtstruktur der Stadt bestimmt die klimatischen Grundbedingungen für die einzelnen Freiräume, und das Mikroklima bzw. die Ausgestaltung der einzelnen Freiräume wiederum haben Einfluss auf das Stadtklima im Allgemeinen. In der Folge sollen die beiden Maßstabebenen jedoch trotzdem (soweit möglich) getrennt betrachtet werden, um somit die logische Herangehensweise der vorliegenden Arbeit und die engen Zusammenhänge und Wechselwirkungen zu verdeutlichen. Einleitend werden die unter dem Thema Klimawandel angesprochenen Auswirkungen auf die Stadt untersucht und die stadtklimatischen Aspekte im Allgemeinen diskutiert. Im Anschluss soll die Maßstabebene der einzelnen Freiräume - die eine wichtige Grundlage für das thermische Wohlbefinden darstellt - thematisiert werden.

	Stadtklima	Mikroklima	Thermisches Wohlbefinden
Jh. Zeitleiste			
<	temporärer Ortswechsel (Sommerpaläste)	Anbau, Siedlungsort	Kleidung, Behausung
18. 1774	Klima Messwerte (Cotte)		
19. 1843	Erkennen Wärmeinsel (Howard) Ausdruck 'Stadtklima' (Stifter)		Bedeutung Atmosphäre für Pflanzen und Gesundheit (Humboldt)
1893		vergleichende Messungen Bodenarten (Homén)	
20. 1911		»Boden und Klima auf engstem Raum« (Kraus)	
1927	Temperaturmessfahrt (Schmidt)	Mikroklimatologie in Grundlagen und prakt. Anwendungen (Schmidt/Schmauß) »Das Klima der bodennahen Luftschicht« (Geiger)	
1937	»Das Stadtklima« (Kratzer)		Wärmebilanzgleichung (Büttner)
1938			Begriff 'Biometeorologie' (Bioklimatologie)
1956			temperature-humidity-index' (THI) = 'discomfort index' (Thom)
1959			
1966	Thermalluftbild (Lorenz)		
1970	Zirkulationsmodell (Bach)		»Thermal Comfort« (Fanger) PMV und PPD, Behaglichkeit für Innenraum (Fanger) wind chill index' (WCI) (Steadman)
1971			
1973			
1974	2 Grenzschichten (Oke)		
1977	Planungsempfehlungen		
1978	»Boundary Layer Climate« (Oke)		
1979			Scheinbare Temperatur' (Steadman)
1981	Luftqualität, Klimafunktionskarte (Stock), Energiebilanz (Oke) »The Urban Climate« (Landsberg)		
1984	»Bioklima in der Stadt« (Mayer)		
1988		MEMI (PET), Behaglichkeit für Außenraum (Höppe, Mayer)	
1990		»Atmospheric Ecology for Planners and Designers« (Lowry)	
1995	»Das Klima der Städte« (Fezer)	»Microclimatic Landscape Architecture« (Brown und Gillespie)	Klima-Michel-Modell und 'Gefühlte Temperatur' (Jendritzky)
1996			RayMan (Matzarakis)
1998	5. EU Forschungsrahmenprogramm »Energy, Environment and Sustainable Development« (1998-2002)		
21.			ENVI-met (Bruse)
2004	Ergebnisse RUROS / BUGS (Key Action 4 »City of Tomorrow and Cultural Heritage«, 5. EU-FRP)		

Tab. 3.1 : Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung der Forschungsgebiete von Stadtklima, Mikroklima und thermischem Wohlbefinden im chronologischen Abriss bis Anfang des 21. Jh.

3.2 Das Klima der Stadt (Mesoklima)

3.2.1. Unterschiede Stadt - Umland

Die Stadt unterscheidet sich klimatisch grundsätzlich von der Umgebung. Kennzeichnend sind Unterschiede in der Temperatur, den Windverhältnissen und der Niederschlagsverteilung. Hinzu kommt ein sehr viel höherer Grad an Luftverschmutzung (z.B. Fezer 1995; Wilby 2007)(s. Tab. 3.2).

Am prägnantesten ist die Ausbildung der so genannten städtischen Wärmeinsel, die sowohl Auswirkungen auf die jeweils anderen Faktoren hat, als auch wiederum von den

anderen genannten Faktoren beeinflusst wird (Fezer 1995: 33ff.). Ausgedrückt wird die städtische Wärmeinsel als Temperaturdifferenz zwischen dem Stadtzentrum und dem Umland T_{u-r} (*temperature urban-rural*) (s. Abb. 3.1). Sie unterliegt im Jahres- und Tagesablauf periodischen Schwankungen. Die Stadt erwärmt sich langsamer als das Freiland, kühlt nachts aber auch deutlich langsamer ab. Die Wärmeinsel ist daher während der Nachtstunden zur Zeit der stärksten Abkühlung des Umlandes (zwischen Mitternacht und Sonnenaufgang) am intensivsten ausgeprägt (s. Abb. 3.2). Im Jahresgang wirkt sich eine stabile Hochdrucklage verstärkend auf die Wärmeinsel aus, womit im mitteleuropäischen Raum der Spätwinter und Hochsommer zu den intensivsten Perioden gehören (ebd.).

Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber dem nicht bebauten Umland
Wärmespeicherung im Untergrund und in 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
Luftfeuchtigkeit	±
Niederschlag – Regen – Schnee – Tauabsatz	mehr (leeseitig) weniger weniger
Luftverunreinigungen – CO, NO _x , PM ₁₀ – O ₃	mehr weniger (Spitzen höher)
Bioklima Vegetationsperiode	bis zu zehn Tage länger
Dauer der Frostperiode	bis –30 %

Tab. 3.2 : Klimatische Unterschiede zwischen Stadt und Umland (nach Kuttler 2009)

Die Stadt-Land Temperaturunterschiede können in Einzelfällen bis zu 15 °C betragen (Kuttler 2009). Laut Spronken-Smith und Oke können sogar innerhalb der Stadtstrukturen Unterschiede von bis zu 7°C entstehen (in Eliasson 2000). Jede Stadt hat dabei ihre individuelle Wärmeinsel, abhängig von ihrer Klimazone, Orographie (also Topographie, Geomorphologie), Hydrologie, Bebauungsstruktur, Bevölkerung und Wirtschaftsstruktur (Brandt 2005: 94). Die wichtigsten meteorologischen Faktoren sind Strahlung und Wind, wobei ein hoher Bewölkungsgrad (Fezer spricht von einer deutlichen Veränderung ab 5/8 Bedeckung) und eine Zunahme an Windgeschwindigkeit abschwächende Effekte erzielen können (Fezer 1995: 55). Stewart und Oke (1998) untergliedern das Stadtklima in unterschiedliche *thermal* oder *urban climate zones*, jeweils abhängig von der Rauigkeitslänge der Oberfläche, dem Anteil der versiegelten Flächen, dem *sky view factor*, der Wärmeauf-

nahmefähigkeit und des Albedo der Oberflächen und der menschlichen Wärmeproduktion. Auf die einzelnen Begriffe wird im Laufe des Kapitels noch näher eingegangen.

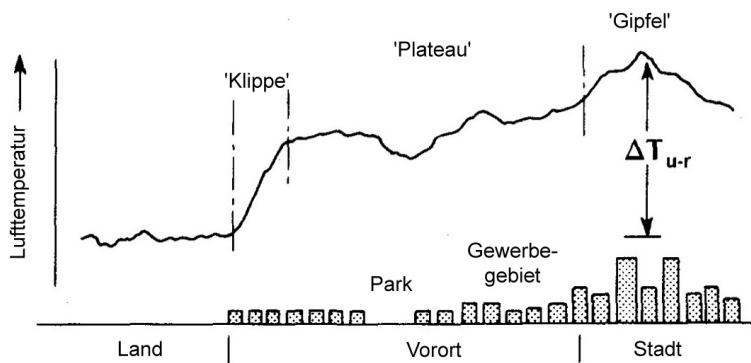


Abb. 3.1 : Schnitt durch die städtische Wärmeinsel (nach Oke 1987)

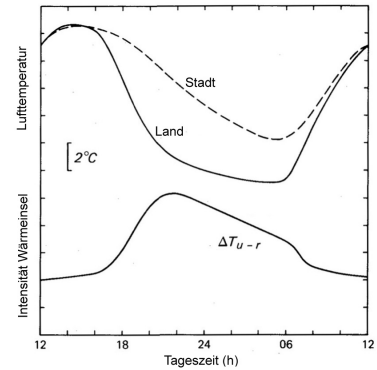


Abb. 3.2 : Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland (nach Oke 1987)

3.2.2. Ursachen der Erwärmung

Die Gründe für diese Temperaturunterschiede sind vielseitig, lassen sich aber in erster Linie auf die Stadtstruktur - sowohl auf ihre Gestalt als auch auf ihre Oberflächenbeschaffenheiten - zurückführen. Eine entscheidende Ursache für die starke Überwärmung der Stadtstrukturen ist die massive Umwandlung natürlicher Oberflächen in künstliche Oberflächen mit ungünstigeren thermischen Eigenschaften und zudem die Vervielfachung der gebauten städtischen Gesamtoberfläche in die Vertikale.

3.2.2.1. Struktur

Die bauliche Stadtstruktur hat Einfluss auf den Grad an Ein- und Ausstrahlung, auf die Windverhältnisse und auf den gesamten Wasserhaushalt.

Durch die Stadtgestalt wird die (Boden-)Oberfläche in Form von gebauten, meist vertikalen Flächen vervielfacht und somit eine zusätzliche Erwärmung dieser Oberflächen und der Luft geschaffen. So wirken sich z.B. sonnenausgerichtete Fassaden verstärkend auf die Wärmeinsel aus. Derart aufgeheizte Fassaden können zusätzlich Mikrozirkulationen der Luft verursachen (Fezer 1995: 99).

Neben der eintreffenden Strahlung ist auch das Ausmaß der abgehenden Strahlungsenergie relevant. Die bestehende Stadtstruktur kann einer nächtlichen Abkühlung förderlich oder hinderlich sein. Diesbezüglich ist die Öffnung der Oberflächen für die einkommende und ausgehende Strahlung ein wichtiger Aspekt. Dazu existieren unterschiedliche Indizes: der *sky view factor* als Maß für die Öffnung eines städtischen Freiraums und der Fassaden zum offenen Himmel und die Größe H/W als Verhältnis von der Höhe der Bebauung zur Weite des angrenzenden Freiraums (s. Abb. 3.4). Zu diesen Aspekten gibt es eine Reihe von Studien, z.B. jene von Ali-Toudert (2006), die unterschiedliche Ausgestaltungen von Straßenzügen untersucht. Brandt spricht für die Stadt allgemein von einer

starken Horizontüberhöhung durch die Gebäude und hebt hinsichtlich der nächtlichen Ausstrahlung hervor, dass bei breiten Straßen mit niedriger Bebauung (5:1) über 90% der Energie ausgestrahlt und nur 10% zurückgehalten wird, während bei einem Verhältnis von 0,5:1 nur noch 30% ausgestrahlt werden und eine Rückhaltung der Wärmeenergie um 70% zu verzeichnen ist (Brandt 2005: 90).

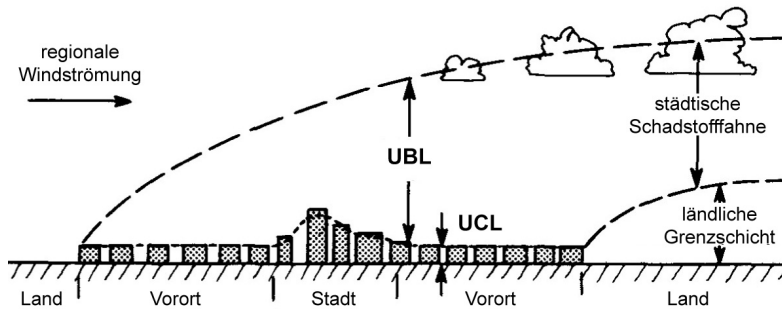


Abb. 3.3 : Urban Boundary Layer (UBL) und Urban Canopy Layer (UCL) einer Stadt (nach Oke 1987)

Die Stadt stellt in ihrer Gesamtheit eine geschlossene Struktur dar, die sich innerhalb dieser Gesamtstruktur in eine Vielzahl von kleineren räumlichen Strukturen untergliedert. Brandt spricht von der 'aerodynamischen' Rauigkeit der Stadtstruktur (Brandt 2005: 96). Oke stellt einen Vergleich zwischen der Stadtstruktur und der Struktur bzw. dem Klimaverhalten eines Waldes her. Er unterteilt den Aufbau der Stadtatmosphäre in zwei unterschiedliche Schichten: den *Urban Canopy Layer* als gebäudenaher Luftschicht (UCL) und den *Urban Boundary Layer* (UBL = tagsüber 1000m, nachts 200m) als Stadtgrenzschicht (s. Abb. 3.3). Durch die Stadtstruktur in ihrer Gesamtheit wird das beständige Windprofil des Umlandes auf die Dachebene angehoben. Innerhalb der kleinräumigeren Stadtstrukturen finden sich dadurch einerseits geringere Windgeschwindigkeiten, andererseits führen Hindernisse wiederum zu Verwirbelungen, die sich gerade zwischen hohen Gebäuden zu unangenehm hohen Windgeschwindigkeiten entwickeln können (Fezer; 81ff.). Die Stadtstruktur bedingt also eine grundsätzliche Veränderung der natürlichen Windstrukturen (s. Abb. 3.5). Eine Besonderheit stellen Flurwinde dar, die durch Temperatur- und Luftdruckunterschiede zwischen Stadt und Umland entstehen und so in Form von Ausgleichsströmungen einen bodennahen Luftstrom vom Umland in die Stadt hinein ziehen. Dieses Phänomen tritt stärker im Sommer auf, wirkt sich insgesamt gesehen aber eher schwach aus (Brandt 2005: 97).

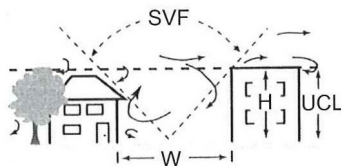


Abb. 3.4 : Sky view factor und Verhältnis H/W (nach Oke 1987)

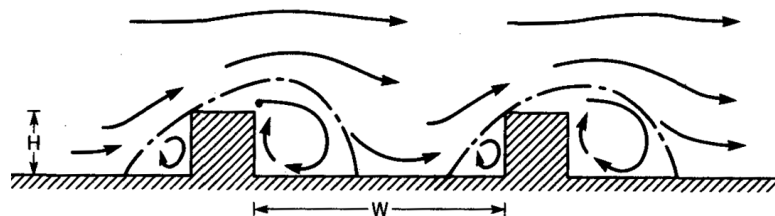


Abb. 3.5 : Beeinflussung des städtischen Windfelds durch die Bebauung (nach Oke 1987)

Allgemein kann festgehalten werden, dass die Bodenwindgeschwindigkeit in der Stadt abnimmt. Innerhalb der Stadtstrukturen findet somit von den Oberflächen weniger Wärmeabtransport durch Wind statt. Die Turbulenz nimmt lokal gesehen dagegen zu.

Mit der Verwendung von künstlichen Materialien in der Stadt geht meist ein hoher Grad an Versiegelung einher. Oberflächenwasser wird zu einem großen Teil in das Kanalisationsnetz abgeleitet und steht somit nicht für Verdunstungsvorgänge zur Verfügung. Versickerungsfähige Oberflächen sind zudem oft derart gestaltet, dass sie durch großflächige Verwendung besonders stark versickerungsfähiger Materialien wie Kies das Wasser zu schnell an das Grundwasser durchleiten und somit nicht in der oberflächennahen Bodenschicht halten können. Die Verdunstung stellt einen wichtigen Faktor für die Kühlung von Oberflächen dar, ein geringer Verdunstungsgrad fördert somit ihr Aufheizen.

Meist ist hinsichtlich der Versiegelung nur von den direkten Stadtoberflächen wie Straßen, Parkplätzen und Wegen die Rede. Brandt hebt neben diesen Überflurversiegelungen auch die Bedeutung von Unterflurversiegelungen wie z.B. U-Bahn-Trassen, Kanal- und Leitungssystemen hervor (Brandt 2005: 88). Laut Krusche (1982) betrug der Abfluss von Niederschlagswasser in das Kanalnetz innerhalb von Wohnvierteln 30-50% und in Geschäftsvierteln sogar 70-95% (in Fezer 1995: 78). Auch aktuelle Studien geben nach wie vor bedenkliche Werte an (z.B. Gill et al. 2007; Pauleit und Duhme 2000). Das wirkt sich auf den gesamten Wasserhaushalt der Stadt aus. Die Kurve des Tagesganges der relativen Luftfeuchtigkeit verläuft spiegelbildlich zur Temperaturkurve (Fezer 1995: 67). Tagsüber fällt der innerstädtische Wert in der Regel geringer als im Umland aus, nachts hingegen kann er sogar etwas höher liegen, da nur in einem geringen Maß Tauausbildung auftritt und unter Umständen auch nachts eine leichte Verdunstung stattfinden kann (Brandt 2005: 95).

Das Stadtklima hat auch Auswirkungen auf die Niederschlagsbildung. Brandt geht von dem wahrscheinlichsten Einfluss der Überwärmung auf die örtliche Niederschlagsverteilung aus, wobei das Niederschlagsmaximum jeweils im Lee einer Stadt zu erwarten ist (ebd.: 96). Diese Tendenz wird natürlich von den jeweiligen topographischen Bedingungen beeinflusst. Fezer beschreibt die Häufung von Niederschlägen in den Nachmittags- und frühen Morgenstunden und eine deutliche Zunahme im Laufe der Werktage zum Freitag hin. Er vermutet hier einen Zusammenhang mit arbeitsbedingten Emissionen von PKW-Verkehr und Industrie und der daraus resultierenden Erhöhung des Kondensationskernanteils in der Luft (Fezer 1995: 75).

3.2.2.2. *Materialien*

Sowohl die Erwärmung bzw. die Abkühlung der Luftmassen als auch der Wasserhaushalt der Atmosphäre gehen vom Boden aus. Die Bodenoberfläche wird durch Strahlung erwärmt und gibt diese Wärme dann sowohl an die Luft als auch an den Boden weiter. Beim Grad der Erwärmung der Oberflächen spielen verschiedene Faktoren eine Rolle: die Farbe der Materialien bezüglich des Reflexions- bzw. Absorptionsgrades der Strahlungsenergie (Albedo), spezifische Wärme, Wärmespeicher- und Wärmeleitfähigkeit, Oberflächenstruktur und - im Falle von Bodenoberflächen - die Versickerungs- und Feuchtespeicherfähigkeit der Materialien. Die natürlichen Materialien werden innerhalb der Stadt

größtenteils durch künstliche Materialien ersetzt, die Unterschiede in den oben genannten thermischen Eigenschaften aufweisen und sich häufig verstärkend auf die Wärmeinsel auswirken. Mit Ausbildung der Stadtstruktur ist unweigerlich eine Reduzierung natürlicher Vegetationsflächen verbunden, die grundsätzlich einen verminderten Einfluss auf die Wärmeinsel haben (s. 3.4.2.2).

3.2.2.3. Weitere Faktoren

Anthropogene Emissionen und verschiedene Arten von Abwärme nehmen ebenfalls Einfluss auf das Stadtklima.

Anthropogene Emissionen stehen in einem engen Zusammenhang mit der Bevölkerungsdichte und der Industrie und sind besonders ab dem 19. Jh. ein signifikanter Faktor des Stadtklimas. Emissionen in der Stadt haben einen großen Einfluss auf die Strahlungsbilanz durch die Ausbildung einer Dunstglocke, die zwar einerseits eine Reduzierung der Globalstrahlung bewirken kann, jedoch andererseits ähnlich dem globalen Treibhauseffekt die nächtliche Abstrahlung verhindert und somit die Wärme im Stadtgebiet einschließt (Brandt 2005: 90; Kuttler 2009). Wie oben erwähnt, bewirken Emissionen auch die Bildung von Kondensationskernen in der Luft und können sich dadurch auf eine Veränderung der Niederschlagsstrukturen und auf die Bildung von Nebel auswirken.

Für die Stadt muss die unter 2.2.1 erläuterte allgemeine Energiebilanz um zwei anthropogene Faktoren erweitert werden. Auf der einen Seite die anthropogene Wärmeproduktion, wie sie z.B. durch Verkehr, Kraftwerke, Industrie, Heizung und Klimaanlage anfällt. Dieser Faktor ist nicht zu unterschätzen und gilt allgemein als zusätzlicher deutlicher Einfluss auf die Erwärmung der Stadt und auf das Stadtklima (Brandt 2005: 91). Brandt nimmt zudem auf die metabolische Wärmeproduktion Bezug, wie sie temporär z.B. im Zuge von Groß- und Massenveranstaltungen örtlich gebündelt wird (ebd.: 99). Deren Auswirkung ist im Außenraum insgesamt gesehen aber eher als gering einzuschätzen.

3.2.3. Auswirkungen und Trends

Der Klimawandel wirkt sich besonders stark auf die Städte aus (IPCC 2007; LCCP 2002). Mehrere Studien stellen einen Bezug zwischen dem zukünftigen Klima europäischer Städte und den aktuellen Klimakarten her. Hallegatte et al. (2007) zeigen diesbezüglich eine Karte mit dem für 2030 prognostizierten Klima einiger bedeutender europäischer Städte und verdeutlichen die Tendenz mitteleuropäischer Städte zu mediterranen Klimabedingungen (s. Abb. 3.6). Brandt bezieht sich in seiner Studie konkret auf die Stadt Bonn und geht von einer klimatischen Verlagerung Bonns nach Süden um 200 bis 300 km pro 0,5°C Erwärmung aus (Brandt 2007).

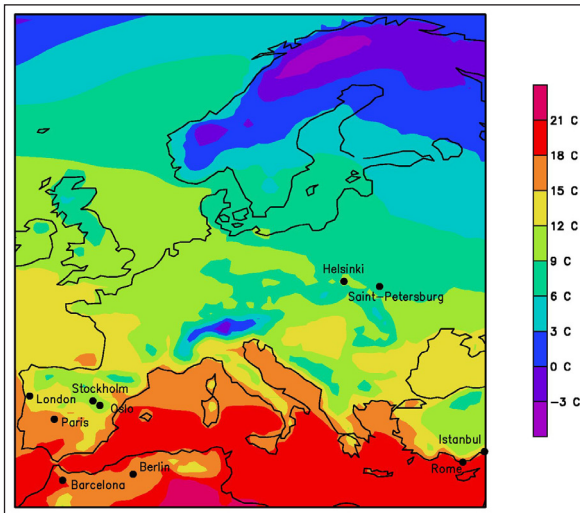


Abb. 3.6 : Klimaszenarien europäischer Städte für das Jahr 2030 auf Basis der aktuellen Klimakarte (Halle-gatte 2007)

Im Folgenden sollen einige der prägnantesten Auswirkungen des Stadtklimas hinsichtlich der zu erwartenden Entwicklung angeführt werden.

3.2.3.1. Temperatur

Die Erwärmung wirkt sich in der Stadt unterschiedlich aus. Einerseits werden die Frostperioden verkürzt, was natürlich einen positiven Einfluss auf geringere Heizkosten und auf den Kältestress hat, der unter diesen Bedingungen seltener auftritt. Auf der anderen Seite ist eine Zunahme an heißen Tagen im Sommer und dementsprechend die Gefahr von nächtlichem Hitzestress zu verzeichnen. Von Hitzestress spricht man, wenn die nächtliche Temperatur über 25°C beträgt und somit zu schnellerem Herzschlag und Schlafstörungen führt (Fezer 1995: 106). Städte sind davon besonders betroffen. Es gibt einen klaren Zusammenhang zwischen nächtlichem Hitzestress, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und der Sterblichkeitsrate (z.B. Rudel et al. 2007). Die bisher extremste Hitzewelle in Europa hat im Jahr 2003 stattgefunden, „die nach Schätzungen 20000 bis 30000 Menschenleben gefordert hat und damit laut Angaben der Münchner Rückversicherung die größte Naturkatastrophe in Mitteleuropa seit Menschengedenken gewesen ist.“ (Rahmstorf und Schellnhuber 2007: 70). Es ist zu erwarten, dass sowohl die Anzahl von Hitzetagen als auch die Dauer der Hitzewellen weiter zunehmen (Meehl 2004). Damit verbunden sind u.a. auch höhere Kosten für die Kühlung von Innenräumen, die zudem wiederum eine Erwärmung der Außenräume bewirkt.

Auswirkungen hat die Erwärmung auch auf die Verbreitung thermophiler Arten (Flora und Fauna) in der Stadt (Sukopp und Wurzel 2003). Wie bereits im Kapitel Klimawandel im globalen Zusammenhang erwähnt, sind mit dem klimatischen Wandel sowohl Veränderungen des Lebensraums und der Artenzusammensetzung als auch Verschiebungen jahreszeitlicher Ereignisse verbunden. Zudem kann auch eine Verbreitung von Krankheitserregern und -überträgern aus wärmeren Regionen beobachtet werden.

3.2.3.2. Wasserhaushalt

Mit der Erwärmung geht auch eine Senkung der relativen Luftfeuchtigkeit einher. Das Klima der Städte neigt gerade in den Sommermonaten zu Trockenheit, was vor allem mit Trockenheitsstress für die Vegetation verbunden ist und somit auch allgemein negativen Einfluss auf Kühlungsvorgänge durch Verdunstung von den Oberflächen und durch die Transpiration der Pflanzen hat. Hier spielen alle oben genannten Faktoren zusammen eine entscheidende Rolle: die veränderten klimatischen Bedingungen, die thermischen Eigenschaften der städtischen Materialien und die Ableitung von Oberflächenwasser in die Kanalisation.

Aufgrund heißerer Sommer besteht allgemein ein erhöhter Wasserbedarf der Haushalte. Wilby sieht im Rahmen der Wasserwirtschaft ein großes Konfliktpotential zwischen dem Wasserbedarf und dem Umweltschutz (Wilby 2007: 39). Besonders im mediterranen Raum ist Wassernot heute schon ein großes Thema, und bei der weiteren Entwicklung wird diese Problematik früher oder später auch im mitteleuropäischen Raum ankommen. Global gesehen geht Wilby auf längere Sicht auch von der Gefahr eines Einflusses auf die Wasserqualität im Allgemeinen aus, wovon besonders die Städte betroffen sein werden, weil hier der Wasserverbrauch am höchsten ist (ebd.).

Viele Studien betonen eine Zunahme an Wetterextremen, insbesondere kürzere und intensivere Niederschläge (IPCC 2007). Die oberflächlich anfallenden Wassermassen werden durch die zunehmende Versiegelung nur zu einem geringen Teil vom Boden aufgenommen. Die Kapazität städtischer Entwässerungssysteme ist damit immer häufiger überlastet. Die Auswirkungen waren z.B. im Mai 2010 in Wien zu sehen, wo sich innerhalb kürzester Zeit innerstädtische Straßen in reißende Flüsse verwandelten. Wilby führt diesbezüglich in seiner Studie für London die mit Überflutungen einhergehenden Schäden und anfallende Folgekosten an (Wilby 2007: 36).

3.2.3.3. Weitere Auswirkungen

Als weitere Auswirkungen der klimatischen Veränderungen in der Stadt sind der Anstieg an Luftschadstoffen und der Einfluss auf die Biodiversität (Artenvielfalt) zu nennen.

Neben der Temperatur wirken sich die emittierten Luftschadstoffe besonders stark auf den menschlichen Organismus aus. Fezer gibt einen tabellarischen Überblick über die Auswirkungen der einzelnen Schadstoffe wie Oxide, Pollen, Schwermetalle und elektromagnetische Wellen (Fezer 1995: 109ff.). Vor allem bei windschwachen Wetterlagen kann in dichten Siedlungsgebieten, insbesondere in Kessellagen, eine stark erhöhte Luftschadstoff-Konzentration in Form von Smog (zusammengesetzter Begriff aus *smoke* und *fog*) auftreten. Laut Definition der WHO zählt unter Einbeziehung gesundheitspsychologischer Aspekte die Verminderung der Luftqualität zu den problematischsten Umweltfaktoren in der Stadt. Als weiterer wesentlicher Aspekt wird der Lärm genannt (in Keul 1995: 161).

Während global gesehen grundsätzlich eine Verringerung der Biodiversität zu beobachten ist, findet sich in den Städten eine relativ große Artenvielfalt in der Vegetation, was u.a. auf die hohe Heterogenität an Lebensräumen in der Stadt zurückzuführen ist (z.B. Studie

für Berlin: Zerbe et al. 2003). Die Flora in der Stadt unterscheidet sich wesentlich von der in der Umgebung, die mitteleuropäischen Städte untereinander weisen jedoch wenig Unterschiede in ihrer Artenzusammensetzung auf (Sukopp und Wurzel 2003: 71). Dies ist zum großen Teil darauf zurückzuführen, dass das besonders warme Stadtklima die Einführung von thermophilen Arten z.B. durch den Handel ermöglicht. Van der Veken et al. sprechen dabei von *'assisted migration'* (van der Veken et al. 2008: 212) und heben das Potential der Städte als Brücken zur Adaption an den globalen Klimawandel hervor. In ihrer Studie vergleichen sie die im Handel erhältlichen Pflanzenarten mit deren natürlichen Lebensräumen und stellen städtische Freiräume, insbesondere Privatgärten, als wichtige Hilfe zum Erhalt und für die Wanderungsbewegung von europäischen Arten nach Norden vor dem Hintergrund des beschleunigten Klimawandels dar. Sie weisen dabei aber auch auf Gefahren und Risiken durch exotische Pflanzen und deren Einfluss auf die Artenzusammensetzung hin. Sukopp & Wurzel widersprechen diesem Ansatz insofern, als sie die Wahrscheinlichkeit einer späteren Ausbreitung und Einbürgerung dieser nicht heimischen Arten als sehr gering einschätzen. Laut ihrer Studie, die die Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation mitteleuropäischer Städte unter phänologischen Aspekten untersucht, sind nur etwa 10% der eingeführten Arten fähig, sich auszubreiten und nur ca. 2%, sich tatsächlich einzubürgern. Dieser Prozess ist zudem ein sehr langwieriger und kann sich über Jahrzehnte bis Jahrhunderte hinziehen (Sukopp und Wurzel 2003: 72).

Parmesan und Yohe (2003) und Adams (2007) haben für den natürlichen Lebensraum auf die Gefahr hingewiesen, dass die Arten mit der Geschwindigkeit des Klimawandels nicht mithalten können. Dies trifft sicher bei den extremeren Auswirkungen der klimatischen Bedingungen innerhalb der Städte in noch stärkerem Maße zu.

Für die Stadtplanung bedeutet der klimatische Wandel vor allem die Notwendigkeit eines Umdenkens - sowohl in der Auswahl als auch in der Art der Verwendung von Pflanzen.

3.2.4. Einfluss des städtischen Freiraums auf das Stadtklima

An dieser Stelle sollen nur die großmaßstäblichen Zusammenhänge behandelt werden, also jene Aspekte, die die gesamte Stadt betreffen. Kleinräumliche Aspekte auf der Ebene der einzelnen Freiräume werden dann anschließend vertieft (s. 3.3).

3.2.4.1. Belüftung und Belichtung

Die Freiräume in der Stadt durchschneiden die Gebäudestruktur und bilden in ihrer Gesamtheit zusammenhängende freie, unbebaute Flächen. Sie stellen somit grundsätzlich wichtige Belichtungs- und Luftschneisen dar. Lineare Freiraumstrukturen wie Flüsse, Straßenzüge und Bahntrassen funktionieren besonders nachts als wichtige großräumige Frischluftschneisen (Brandt 2005: 99). Bezogen auf den Straßenraum entscheidet dabei die Ausrichtung der Gebäude zur Windrichtung darüber, ob der Wind durchfließt (parallel), in die Gegenrichtung kippt (quer) oder zu Spiralwirbeln gelenkt wird (diagonal) (Fezer, 1995: 100).

Zusätzlich haben insbesondere Grün- und Wasserflächen durch ihre strukturellen Gegebenheiten und in Abhängigkeit ihres Flächenausmaßes direkten Einfluss auf die Luftbewegung in der Stadt. Große Wasserflächen können in sich ein eigenes Windsystem entwickeln. Die Struktur der Vegetation bewirkt eine höhere Oberflächenrauigkeit, was zu Turbulenzen des Windflusses führt und die Konvektion oberflächennaher Wärme steigert. Ebenfalls durch die Struktur der Vegetation bedingt, werden starke Winde abgebremst, Schwachwinde jedoch hindurch gelassen. Neben der allgemeinen Durchlüftung und Kühlung der Stadtstruktur fungieren Grünräume mit ihren Pflanzen somit zusätzlich als wichtige Filter von Luftschadstoffen und von Lärm. Bäume und große Sträucher spielen dabei eine besondere Rolle (s. 3.4.2.2).

Das Licht ist neben seiner essentiellen Bedeutung für die Vegetation auch für das Wohl der Menschen in mehrfacher Hinsicht entscheidend. Durch Licht und Strahlung werden thermische, chemische und psychische Prozesse in Gang gesetzt (Flemming 1990 in Keul 1995: 160). Die besondere Bedeutung von Luft und Licht für die Gesundheit der Stadtbevölkerung wurde in der Architektur im Zuge des Funktionalismus erkannt und bildet seitdem eine wichtige Grundlage städtebaulicher Konzepte (z.B. Rotes Wien und Gartenstadtbewegung) (Fezer 1995: 133).

3.2.4.2. Mitigation der Wärmeinsel

Im Zusammenhang mit den strukturellen Aspekten hinsichtlich der Durchlüftung der Stadt haben die städtischen Freiräume auch durch ihre Oberflächenbeschaffenheit einen Einfluss auf die städtische Wärmeinsel (s. Abb. 3.7). Dabei spielen, wie oben ausgeführt, vor allem Vegetationsflächen und Gewässer eine entscheidende Rolle. Auf die einzelnen Faktoren wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen. Grundsätzlich ist zu sagen, dass Vegetation in mehrfacher Hinsicht kühlend wirkt: z.B. durch Transpiration, Photosynthese (Umwandlung von Wärmeenergie in chemische Energie), Verschattung, Erhöhung von Turbulenz, Albedo und Winddurchlässigkeit. Dabei gibt es natürlich große Unterschiede bezüglich der Art, Größe und Struktur der jeweiligen Vegetation. Wasser besitzt aufgrund der hohen Wärmekapazität (tagsüber und nachts) eine Temperatur ausgleichende Funktion und bietet eine Verdunstungsfläche (s. 3.4.2.3).

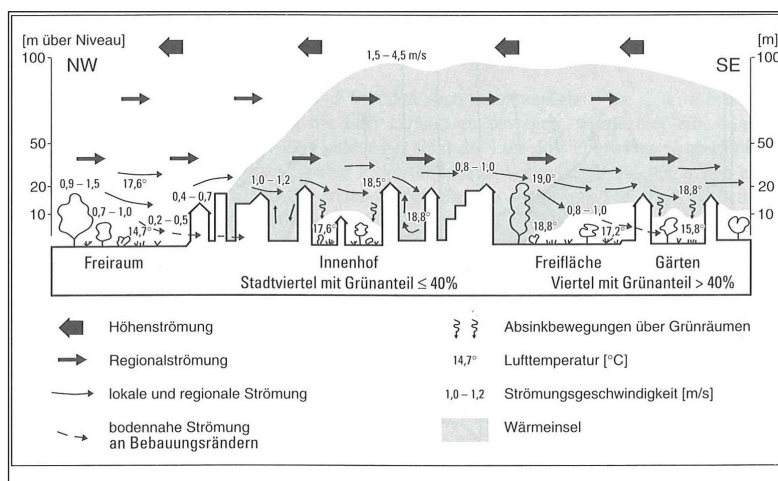


Abb. 3.7 : Auswirkung von Grünflächen auf die städtische Wärmeinsel (nach Zimmermann 1984 in Fezer 1995)

Frühere Studien weisen bereits eine Korrelation zwischen dem Anteil an städtischer Vegetation und dem Grad der Erwärmung auf (z.B. Seitz 1974 in Fezer 1995) (s. Abb. 3.8). Laut einer jüngeren Studie von Dimoudi und Nikolopoulou zur Wirkung von Pflanzen auf das Mikroklima in Beziehung zu unterschiedlichen städtebaulichen Varianten, findet die größte Verminderung der Lufttemperatur durch eine Vergrößerung des Grünflächenanteils statt. Nach ihren Berechnungen werden pro 100m² zusätzlicher Vegetation innerhalb eines Parks ca. 1K (Kelvin) Temperaturabnahme erbracht. Für das untersuchte Fallbeispiel Athen bedeutet das - auf die gesamte Stadt bezogen - eine Kühlung von 0,8K bei einer Zunahme von 10% mehr Grün (Dimoudi und Nikolopoulou 2003). Parkflächen können ein ähnliches Eigenklima wie ein Wald entwickeln. Die Ausdehnung dieser Flächen spielt dabei eine große Rolle, da die kühlende Wirkung eines innerstädtischen Parks bis zu einer Größe von 30 ha linear ansteigt - abhängig von der Temperaturdifferenz zum Umland (Probald 1976 in Fezer 1995: 42). Eine Auswirkung der kühlenden Wirkung von Parkflächen auf ihre Umgebung ist zwar umstritten. Fezer geht jedoch bei Windgeschwindigkeiten von über 1 m/s von einer deutlichen Einwirkung in die benachbarten Viertel in Windrichtung aus (Fezer 1995: 141). Zusätzlich entstehen durch das Druckgefälle der Temperaturunterschiede zwischen Park und Stadt Ausgleichswinde. Baumgruppen können in Form von breiten Alleen grundsätzlich diesen Transport kühlerer Luft von Parks in die angrenzenden Stadtteile fördern, da auch sie in ihrer Gesamtheit ein ähnliches Temperaturprofil wie ein Wald ausbilden (Geiger 1961; Fezer 1995: 42).

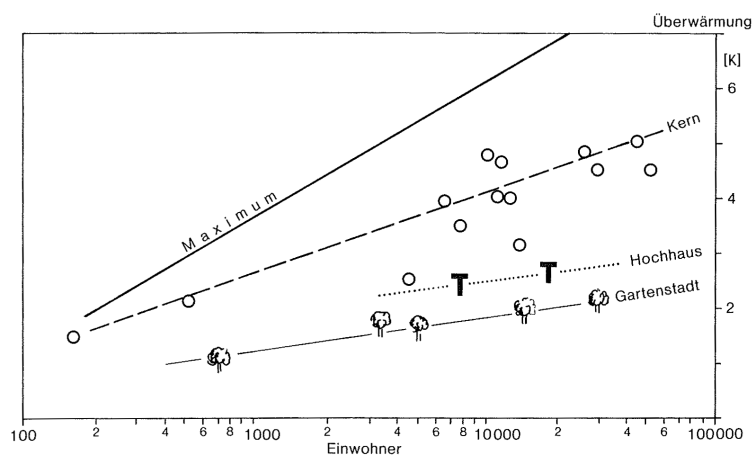


Abb. 3.8 : Zusammenhang zwischen Vegetationsanteil und Erwärmung unterschiedlicher Siedlungstypen (nach Seitz 1974 in Fezer 1995)

3.2.4.3. 'Ganzheitliche' Betrachtungsweise

Sowohl in Bezug auf stadtklimatische als auch auf ökologische Aspekte ist die Gesamtheit aller städtischen Grün- und Freiräume von Bedeutung. Große zusammenhängende städtische Freiflächen sind nicht nur hinsichtlich einer Vernetzung von Lebensraum, sondern auch aus stadtklimatischen Gründen notwendig. Die oft vorgenommene Trennung zwischen öffentlichen und privaten Freiräumen ist kontraproduktiv. Von vielen Autorinnen und Autoren wird besonders auf die Bedeutung der Privatgärten hingewiesen. Vor dem Hintergrund der Vervielfältigung der Gesamtoberfläche durch die Stadtstruktur werden auch Fassaden und Dächer zu wichtigen potentiellen Freiflächen. Stadtklimatisch kann hier ein wichtiger Beitrag zur Kühlung durch Verschattung und Evotranspiration, zur Luftqualität und zur Gebäudeeffizienz erreicht werden. Gründächer bieten zusätzlich ein

großes Versickerungspotential und können somit eine wichtige Rolle für ein nachhaltiges Entwässerungssystem (*sustainable drainage system*: SUDS) spielen (Wilby 2007: 41; Roehr und Laurenz 2008).

Diese Auflistung klimatischer Faktoren kann durch eine Vielzahl von sozialen, psychologischen und ökologischen Aspekten erweitert werden. Bollund und Hunhammar (1999) sprechen dabei von der allgemeinen Bedeutung der urbanen Ökosysteme für den Menschen und benutzen den von Constanza (1997) eingeführten Begriff '*ecosystem services*', definiert als „*the benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions*“ (in Bollund und Hunhammar 1999: 295). Dazu zählen u.a.: Luftfiltration, Kühlung, Lärmreduktion, Versickerung, Abwasserklärung und Erholungs- und Kulturwert. Mehrere Aspekte wirken dabei simultan. Dieser Ansatz zielt auf eine Kosten-Nutzen-Analyse für eine ressourceneffizientere Stadtstruktur und das entsprechende Design ab.

3.3 Das Klima der einzelnen Stadträume (Mikroklima)

Einleitend sollen kurz die grundsätzlichen Einflussfaktoren des Mikroklimas dargestellt werden. Das betrifft einerseits die Wärmeleitung und den Wärmeaustausch im Allgemeinen und andererseits die klimatischen Faktoren, die das Mikroklima bestimmen, also Strahlung, Temperatur, Wind und Feuchtigkeit. Der Fokus liegt jedoch auf den Eigenschaften der städtischen Oberflächen und deren spezifischen Einflüssen auf das Mikroklima. Dabei werden die städtischen Materialien in die folgenden drei Kategorien eingeteilt: baustoffliche Materialien, Vegetation und Wasser.

Die Berechnung des Mikroklimas basiert auf der Gleichung des so genannten Energie-Budgets. Vor allem die Faktoren Strahlung, Wind und Niederschlag können auf unterschiedliche Weise durch einen gestalterischen Eingriff beeinflusst werden (Brown und Gillespie 1995). Grundsätzlich kann der Mensch laut Geiger sowohl als Zerstörer der natürlichen Mikroklima-Verhältnisse als auch als Schaffer neuer Mikroklimata angesehen werden (Geiger 1961: 365).

Das lokale Klima (auch Mikroklima oder Kleinklima) ist allgemein durch eine kleinräumige Klimaerscheinung der bodennahen Luftschicht bis etwa 2 m Höhe definiert (Geiger 1961: 1). Es entsteht durch die Wechselwirkungen zwischen den allgemeinen klimatischen Faktoren (Strahlung, Wind, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag) und der lokalen Landschaft (Brown und Gillespie 1995: 45ff.). Das Mikroklima wiederum ist wichtiger Bestandteil des allgemeinen Klimas: „*microclimates are the building blocks of climate*“ (Adams 2007: 79).

Die Mikroklimatologie befasst sich mit dem Klima des bodennahen Raumes und den darin ablaufenden physikalischen Prozessen (Geiger 1961: 137). Erwärmung und Abkühlung gehen von der Erdoberfläche aus und werden durch die Solarstrahlung gesteuert (s.o.). Solarstrahlung (Energie der Sonne), die an die Erdoberfläche gelangt, wandelt sich dort in Wärme- und Bewegungsenergie um. Von dort findet eine Wärmeübergabe an den Boden und an die Luft durch Strahlung, Leitung (Konduktion) und Austausch (Konvektion) statt (ebd.: 5ff.; Berényi 1967: 36ff.). Der Boden selbst hat dabei aufgrund seiner spezifischen

thermischen Eigenschaften Einfluss sowohl auf die vertikale als auch horizontale Verteilung (ebd.: 12).

Die speziellen Eigenschaften des Mikroklimas nehmen in der Höhe ab. Übliche Definitionen legen die Begrenzung der bodennahen Luftschicht auf 2 m Höhe fest (s.o.). Berényi betont jedoch, dass es sich auch um andere Grenzschichten handeln kann, dass das Mikroklima *„im Berührungsgebiet einer beliebigen Oberfläche und der Luft entsteht, also eine Übergangserscheinung ist, die überall auftritt, wo die Luft mit einem Medium in Verbindung tritt, dessen Aggregatzustand oder Dichte von ihr abweicht.“* (Berényi 1967: 14). Der Wärmehaushalt der Oberfläche ist nicht konstant und unterliegt zeitlichen und räumlichen Veränderungen.

3.3.1. Atmosphärische und klimatische Faktoren

Ausschlaggebend für das Mikroklima ist der Anteil an Wärme und Wasser nahe der Erdoberfläche (Adams 2007: 79). Die Ausprägung des Mikroklimas hängt in erster Linie von drei Faktoren ab: Strahlungsbilanz, Wärmebilanz und Windverhältnisse (Brandt 2005: 40). Strahlungs- und Wärmebilanz steuern die Erwärmung von Oberflächen und die Wärmeübergabe. Der Wind ist ein wesentlicher Faktor, da er kleinräumige Unterschiede ausgleicht.

Weitere Faktoren sind Feuchtigkeit und Oberflächenbeschaffenheit, die wiederum direkt Einfluss auf die vorher genannten Faktoren haben.

3.3.1.1. Strahlungsbilanz und Wärmeübergabe

Die Strahlungsbilanz ist die Differenz der einkommenden kurzwelligigen Strahlung Q_k (Globalstrahlung) und der langwelligen, von jedem Körper ausgehenden Strahlung Q_l (Stefan-Boltzmann-Gesetz) und wird in Watt/m^2 angegeben (Geiger 1961: 15; Berényi 1967: 37). Die Globalstrahlung ist jene Strahlung, die tatsächlich an die Erdoberfläche gelangt. Sie weicht von der so genannten Solarkonstanten (Gesamtsolarstrahlung) ab und weist auch deutlich höhere Schwankungen auf. Die Solarstrahlung gelangt zum einen als Direktstrahlung und zum anderen als Diffusstrahlung, d.h. über Reflexion durch Wolken, Wasser- und Staubteilchen in der Atmosphäre, an die Erdoberfläche. Trifft die Strahlung auf eine Oberfläche, so wird sie entweder reflektiert (zurückgeworfen), absorbiert (aufgenommen) oder transmittiert (hindurchgelassen) (Geiger 1961: 7). Transmission findet vorrangig in Fluiden und in der Luft statt. Körper dagegen können Strahlung in der Regel nicht transmittieren. Eine der Ausnahmen ist die Vegetation. Sie spielt daher auch eine besondere Rolle für das Mikroklima, wie später noch ausgeführt wird. Die Höhe der auftreffenden Strahlungsenergie ist dabei auch abhängig von ihrem Einstrahlungswinkel, da sich die identische Energiemenge bei einem flacheren Winkel auf eine größere Fläche auswirkt und somit auf den m^2 bezogen schwächer ist (Lambertsche Gesetz) (Brandt 2005: 20). Der Grad der von der Oberfläche reflektierten Energie hängt in erster Linie von ihrer Oberflächenbeschaffenheit (z.B. vom Albedo), vom Grad der absorbierten Energie und darüber hinaus von ihren thermischen Eigenschaften (z.B. Wärmeleitfähigkeit und Verdunstungsenergie) ab.

Der Strahlungshaushalt einer Oberfläche teilt sich in eine Tagesperiode (Sonneneinstrahlung) und eine Nachtperiode (Ausstrahlung der Oberfläche). Für den Wärmehaushalt der Oberfläche ist der Zeitpunkt entscheidend, wann sich die Strahlungsbilanz dem Wert 0 annähert, die einstrahlende und die ausstrahlende Energie also im Gleichgewicht sind. Zwischen Temperaturminimum und Temperaturmaximum nimmt der Energievorrat der Oberfläche tagsüber zu. Dabei finden Temperaturminimum und Temperaturmaximum nicht zeitgleich mit dem Sonnenaufgang und -untergang statt, sondern um einen Sonnenstand von ca. 10° bis 15° zeitverschoben. Neben der Sonnenstandshöhe ist der Beginn der Erwärmung auch abhängig von der Höhe der nächtlichen Inversion (Maximum vor Sonnenaufgang), da erst Energie zur Abschaffung der Inversion verwendet werden muss (ebd.: 143). Es ergibt sich in der Regel ein Temperaturmaximum zwischen 14 und 15 Uhr (s. Abb. 3.9).

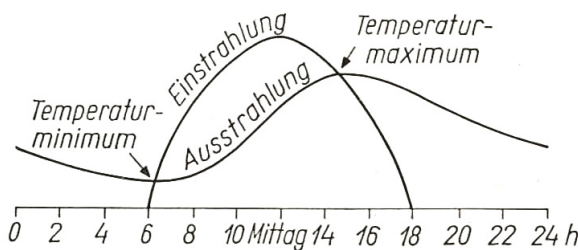


Abb. 3.9 : Tagesgang der Temperaturkurve (Berényi 1967)

Bei der Wärmeübergabe wird unterschieden in Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Wärmeaustausch. Es folgen hier Zusammenfassungen der wichtigsten physikalischen Prozesse. Vertiefende Erläuterungen und die Ausführung der zu Grunde liegenden Gleichungen sind gut in Berényis »Mikroklimatologie« (1967) nachzulesen.

Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet in alle Richtungen seiner Umgebung eine Strahlung aus und gibt dadurch Energie ab (Stefan-Boltzmann-Gesetz). Diese Wärmestrahlung vollzieht sich durch die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen und läuft ohne ein Vermittlungsmedium ab. Bei Festkörpern und Flüssigkeiten handelt es sich um eine kontinuierliche Strahlung, die von der absoluten Temperatur des Körpers abhängt. Dabei steigt die Intensität der Wärmestrahlung mit zunehmender Körpertemperatur (Plancksches Strahlungsgesetz). Jeder schwarze Körper strahlt auf der gleichen Welle ab, auf der er absorbiert (Kirchhoffsche Gesetz), und gibt genauso viel Energie ab wie er empfängt (Berényi 1967: 77ff.; Brandt 2005: 23).

Die Wärmeleitung (Konduktion) ist ein molekularer Prozess und benötigt ein Vermittlungsmedium. Innerhalb eines Feststoffes oder eines Fluides findet ein Wärmefluss infolge eines Temperaturunterschiedes statt. Dabei wird lediglich thermische Energie transportiert, also keine Teilchen. Der Energiefluss vollzieht sich grundsätzlich vom höheren Energieniveau zum geringeren Energieniveau, also in Richtung geringerer Temperatur (2. Hauptsatz der Thermodynamik). Bei diesem Prozess findet kein Wärmeverlust statt (Energieerhaltungssatz). Der Wert wird als Wärmeleitfähigkeit ausgedrückt und ist abhängig von der Dichte und der spezifischen Wärme. Wasser besitzt eine hohe, Luft dagegen eine geringe Wärmeleitfähigkeit. Luft- und Wassergehalt des Bodens haben somit einen großen Einfluss auf dessen Wärmeleitfähigkeit (Berényi 1967: 63ff.; Geiger 1961: 25ff.).

Der Wärmeaustausch (Konvektion) ist verknüpft mit dem Transport von Teilchen, die thermische Energie mit sich führen. Dabei wird Wärmeenergie von einem festen Körper in ein strömendes Gas oder Fluid übertragen und von diesem zu einem anderen festen Körper transportiert und abgegeben. Ein wichtiger Faktor dieser Art der Wärmeverteilung ist die Turbulenz (Berényi 1967: 90ff.).

Die Temperatur eines Körpers wird in Kelvin (K) oder Celsius (°C) ausgedrückt. Sie kennzeichnet das Potential des Körpers, innere Energie in Form von Wärme abzugeben. Die Temperatur ist eine stoffliche Eigenschaft, die durch Teilen gleich bleibt. Wärme als Energie ist dagegen eine extensive Größe, die aufgeteilt werden kann.

3.3.1.2. Wind

Als Wind wird eine gerichtete Luftbewegung in der Atmosphäre bezeichnet. Die Hauptursache für Wind ist ein Unterschied in den Luftdruckverhältnissen zwischen verschiedenen Luftmassen. Dabei fließen Luftteilchen aus dem Gebiet mit einem höheren Luftdruck solange in das Gebiet mit dem niedrigeren Luftdruck, bis der Luftdruck ausgeglichen und somit eine Gleichverteilung der Teilchen im Raum erreicht ist (2. Hauptsatz der Thermodynamik) (Brandt 2005: 26). Die Windrichtung wird somit in erster Linie durch die Lage von Tief- und Hochdruckgebieten bestimmt, wird dabei jedoch global gesehen von der Corioliskraft (Beschleunigungskraft) der Erde abgelenkt und regional durch andere Faktoren wie der Geländeform und Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst. Die Stärke der Windbewegung nimmt mit der Größe des Luftdruckunterschiedes zu (Geiger 1961: 99ff.). Der Wind wird durch die Oberfläche gebremst und wandelt sich von einer für höhere Luftschichten typischen laminaren Luftströmung zu einer bodennahen turbulenten Luftströmung (Berényi 1967: 204ff.). Die Windgeschwindigkeit wird als Windstärke in m/s angegeben.

Der Wind sorgt für einen vertikalen und horizontalen Austausch der Lufteigenschaften. Die Energie der bewegten Luft wird dabei zerstreut und nimmt die Eigenschaften wie Temperatur, Feuchtigkeit, Verunreinigungen und Elektrizität ihres Ausgangsortes mit. Das Ausmaß an Austausch wird von Luftgeschwindigkeit bestimmt. Da die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt, erhöht sich damit der Austausch und kleinräumige Unterschiede werden schnell aufgehoben (Berényi 1967: 237ff.). Die Entstehung von Mikroklima ist demnach nur möglich, wenn die Windgeschwindigkeit und der Austausch am Boden gegen 0 tendieren. Ausschlaggebend dafür ist die Rauigkeit der Oberfläche und somit die Reibungskraft am Boden (ebd.). Die Bodenrauigkeit wird als Rauigkeitsparameter angegeben und bezeichnet die Höhe, bei der die Windgeschwindigkeit gegen 0 tendiert. Das Nullniveau des Windprofils wird durch Strukturen weiter nach oben verschoben und beträgt dabei 3-10% der relativen Höhe des Objektes (Fezer 1995: 86). Brandt gibt dazu z.B. unterschiedliche Werte für eine Wasseroberfläche (0,01 cm), Gras und Schnee (0,5-1 cm), Getreidefeld (5 cm), Wald (20 cm) und die verdichtete Innenstadt (100-200 cm) an (Brandt 2005: 27). Eine Windgeschwindigkeit von 2 m/s gilt als wichtige Grenze, ab der der Einfluss der Rauigkeit auf das Mikroklima deutlich abnimmt. Der Wind spielt auch eine große Rolle bei der Verdunstung und somit für den Wasserhaushalt (Berényi 1967: 239; Geiger 1961: 88).

3.3.1.3. Feuchtigkeit

Ebenso wie der Wärmehaushalt wird auch der Wasserhaushalt der Atmosphäre von der Erdoberfläche aus gesteuert. Ausschlaggebend dafür ist der beim Verdunstungsprozess in die Luft gelangende Wasserdampf. Die Luftfeuchtigkeit beschreibt den Anteil des Wasserdampfes am Gasgemisch der Atmosphäre (Geiger 1961: 88ff.).

Es werden grundsätzlich drei Werte unterschieden: die maximale Luftfeuchte, die absolute Luftfeuchte und die relative Luftfeuchte. Unter der maximalen Luftfeuchte (auch Sättigungsmenge) wird der maximal mögliche Wasserdampfgehalt der Luft bei einer bestimmten Temperatur verstanden. Die absolute Luftfeuchte dagegen gibt den tatsächlichen Wasserdampfgehalt der Luft an. Beide Werte werden in g/m^3 ausgedrückt. Die relative Luftfeuchte bezeichnet das Verhältnis des tatsächlichen Wasserdampfgehaltes zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt und wird in Prozenten angegeben. In der weiteren Arbeit wird vor allem auf die relative Luftfeuchtigkeit als wichtigsten mikroklimatischen Wert Bezug genommen.

Durch die Verdunstung wird der Wasserdampfdruck der bodennahen Luftschicht erhöht, woraufhin der Wasserdampf in Abhängigkeit vom bestehenden Sättigungsdefizit in höhere Luftschichten abgeführt wird. Dies geschieht in direkter Abhängigkeit von der Temperatur (Gesetz von Dalton), wobei eine Temperaturzunahme den Sättigungsgrad steigert und eine Temperaturabnahme den Sättigungsgrad bis zum Erreichen des Taupunktes absenkt. Der Taupunkt stellt dabei die Temperatur dar, bei der die relative Feuchtigkeit 100% erreicht (Berényi 1967: 254ff.).

Der Wasserdampftransport vollzieht sich durch Diffusion und Austausch (Konvektion). Die Verdunstung ist ein ununterbrochener Prozess, solange ein Wasservorrat vorhanden und der Wasserdampf über der Oberfläche ungesättigt ist. Die Verfügbarkeit von Wasser ist wiederum abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit hinsichtlich Wasserspeicherung und Vorratsergänzung durch Kondensation (Berényi 1967: 250ff.). Bei ausreichend Feuchtigkeit im Boden wird laut Berényi bei einer Lufttemperatur von $11^{\circ}\text{-}16^{\circ}\text{C}$ ein Tageswert von ca. 1,0-1,5 mm verdunstet, bei starkem Wind kann sich dieser Wert auf 2-3 mm erhöhen. Bei einer Temperatur von $16^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{C}$ geht er von 1-6 mm, bei über 20°C sogar von 6-12 mm Verdunstung aus (ebd.: 279). Im Laufe des Tages nimmt der Wasservorrat der Oberfläche bis zu einer möglichen Erschöpfung ab (ebd.: 254ff.).

Das bedingt, dass die Luftfeuchtigkeit örtlich und zeitlich große Schwankungen aufweist. Es wird unterschieden zwischen dem so genannten Nass- und dem Trockentyp. Der Tagesgang der relativen Luftfeuchte verläuft grundsätzlich spiegelbildlich zur Temperaturkurve (nachts: Nasstyp, tagsüber: Trockentyp) (Geiger 1961: 94). Im mitteleuropäischen Raum überwiegt trotzdem tagsüber der Nasstyp, da der Wassernachschub zur Verdunstung in der Regel mit der Temperaturzunahme Schritt halten kann (Berényi 1967: 241ff.). Geiger betont jedoch, dass bei extrem hohen Temperaturen und Trockenheit sich dies wiederum umkehren kann (Geiger 1961: 292).

Die Verdunstung ist ein Prozess, bei dem Moleküle der Wasseroberfläche durch eine Veränderung des Wasseraggregatzustandes in den darüber befindlichen Raum gelangen. Die damit einhergehende Volumenvergrößerung findet unter einem hohen Energieauf-

wand statt. Diese Energie wird von der Solarstrahlung geliefert oder dem eigenen Wärmeverrat des Wasserdampfes entnommen. Der Verdunstungsprozess ist so mit einem Verlust an Wärmeenergie verbunden (1g Wasser = ca. 2,5 kJ) (Geiger 1961: 11). Bei der Kondensation findet der umgekehrte Prozess statt, Energie wird in Form von Wärme freigesetzt. Es handelt sich also bei dem Prozess der Verdunstung und der Kondensation sowohl um einen stattfindenden Wasser- als auch einen Energieumsatz (Berényi 1967: 255).

Der Wind hat Einfluss auf die Verdunstung, da er die Feuchtigkeit im Raum verteilt und somit eine kleinräumige Sättigung ausgleicht. In der Regel gilt: je mehr Wind, desto mehr Fortführung von Wasser und Energie (Wärme) (ebd.).

Zusätzlich zur Verdunstung von den Oberflächen (Evaporation) wird Feuchtigkeit auch durch die Transpiration der Pflanzen an die Luft weitergegeben. Man spricht daher allgemein von der Evapotranspiration. Die Pflanzendecke weist einen deutlich höheren Verdunstungsgrad auf als der nackte Boden. Berényi geht hier von einem 1,5- bis 2-fachen Verdunstungswert aus (Berényi 1967: 284). Dabei ist die Beschaffenheit der Pflanzendecke (z.B. Höhe und Dichte) ausschlaggebend, da die Verdunstungsfläche aus der Gesamtheit an Blattoberfläche gebildet wird. Mit zunehmender Höhe und Laubdichte der Pflanzendecke nimmt die Verdunstung also zu. Die Verdunstung des Bodens unterhalb der Pflanzen wird insgesamt herabgesetzt (ebd.: 285).

3.3.2. Oberflächenbedingte Faktoren

Das bodennahe Klima wird direkt von der Bodentemperatur gesteuert: „... für das bodennahe Mikroklima übernimmt der Boden die Rolle eines regulierenden Wärmespeichers“ (Geiger 1961: 36). Die Oberfläche beeinflusst auf der einen Seite durch ihre Farbe und Struktur das Reflexionsvermögen der einfallenden Solarstrahlung (Albedo) und somit den Grad der Oberflächenerwärmung und auf der anderen Seite durch ihre Rauigkeit die Entwicklung von Luftbewegungen und somit den Grad an Wärmetransport und Turbulenz. Vor allem aber hat die Beschaffenheit des Oberflächenmaterials Einfluss auf das thermische Verhalten und somit auf das oberflächennahe Mikroklima.

Der Wärmehaushalt einer Oberfläche ist der Wärmeumsatz - also die Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe - und somit ein Prozess (Berényi 1967: 285ff.). Die Wärmebilanz ist die Grundgleichung zur Bestimmung des Wärmehaushaltes und setzt sich wie folgt zusammen:

$$Q_s - (Q_l + Q_b + Q_v + Q_n + Q_{ad}) = 0 \quad (\text{nach Berényi 1967: 287ff.})$$

Auf der einen Seite steht die effektiv auf die Oberfläche einwirkende Strahlungsenergie (Strahlungsfaktor Q_s). Auf der anderen Seite der Gleichung stehen alle Energieabgabeprozesse: die Abgabe von Wärme an die Luft (Luftleitungsfaktor Q_l), die Ableitung von Wärme in tiefere Schichten des Körpers (Bodenleitungsfaktor Q_b) und der Energieverbrauch für den Verdunstungsvorgang (Aggregatzustandsveränderungsfaktor Q_v). Die Einflüsse durch übertragene Wärmeenergie aus einkommendem Niederschlag und aus den örtlichen Luftmassen werden als Werte Q_n (Niederschlagsfaktor) und Q_{ad} (Advektions-

faktor) integriert. Handelt es sich um eine Wasseroberfläche, so wird der Wert Q_b durch die in tiefere Wasserschichten gelangende Energie (Q_w) ersetzt.

Bestimmte Faktoren können recht einfach mit Instrumenten gemessen werden (z.B. Q_s), andere sind sehr kompliziert zu bestimmen und benötigen unterschiedliche Messungen mit verschiedenen Instrumenten und Berechnungen (vor allem Q_l und Q_v). Wärmehaushaltsmessungen werden in der Regel bei klarem, windstillem Wetter durchgeführt, wodurch die beiden Faktoren Q_n und Q_{ad} eher zu vernachlässigen sind. Diese sind vor allem bei längerfristigen Dauermessungen zu berücksichtigen.

Hinsichtlich des Strahlungsfaktors Q_s spielen vor allem die Farbe und die Struktur der Oberfläche eine entscheidende Rolle. Sie bestimmen den Grad an Reflexion und Absorption von Strahlung. Reflektiert wird in erster Linie der sichtbare Spektralbereich. Der Reflexionswert (Albedo) ergibt sich aus dem Quotienten aus reflektierter zu einfallender Lichtmenge und liegt zwischen 0 und 1: Reflexionszahl (Albedo) + Absorptionskoeffizient = 100% (Geiger 1961: 124). Allgemein gilt, dass je heller die Oberfläche desto höher der Albedo. Die Reflexzahl feuchter Oberflächen ist geringer als jene trockener Oberflächen (Geiger ebd.: 125). Die Ausrichtung der Oberfläche hat einen großen Einfluss auf den Einstrahlungswinkel und den entsprechenden Energiewert der einkommenden Strahlung und somit auf die Wärmebilanz der Oberfläche (Brandt 2005: 20).

Hinsichtlich des Bodenleitungsfaktors Q_b spielen mehrere Faktoren des Oberflächenmaterials eine Rolle: Wärmekapazität, Wärme- und Temperaturleitfähigkeit (Berényi 1967: 290ff.). Die Wärmekapazität ist der Quotient aus der einem Körper zugeführten Wärmemenge und der dadurch bewirkten Temperaturerhöhung. Sie ist ein Produkt aus der spezifischen Wärme und der Dichte des Körpers und wird in J/(kgK) ausgedrückt. Die spezifische Wärme eines Körpers gibt an, wie viel Energie benötigt wird, um 1 kg Masse um 1K zu erhöhen. Die Dichte ist das Verhältnis der Masse zum Volumen und ist unabhängig von der Form oder der Größe des Körpers für das jeweilige Material charakteristisch. Sie wird in g/m³ oder kg/l angegeben (Geiger 1961: 36; Kuttler 2009: 72). Die Wärmeleitfähigkeit drückt die Fähigkeit eines Materials aus, Wärmeenergie innerhalb eines Körpers mittels Wärmeleitung (Konduktion) zu transportieren. Sie ist ein konstanter und von der Temperatur unabhängiger Wert und wird in W/(mK) angegeben. Die Temperaturleitfähigkeit gibt dagegen die Geschwindigkeit an, mit der die Wärmeenergie als Folge eines Temperaturgefälles im Körper weitergeleitet und verteilt wird. Sie wird in m²/s angegeben (Kuttler 2009: 76; Berényi 1967: 72). Für beide Werte ist der Wasser- und Luftgehalt des Bodens entscheidend, wobei ein hoher Wasseranteil die Wärmeleitfähigkeit des Bodens steigert und ein hoher Luftanteil diese herabsetzt. Dafür besitzt die Luft wiederum eine bessere Temperaturleitfähigkeit (ebd.: 77).

Neben der Wärmeleitung wird die Wärme auch durch Konvektion abgegeben. Der Luftleitungsfaktor Q_l steht in einem engen Zusammenhang mit dem Aggregatzustandsveränderungsfaktor Q_v . Entscheidende Faktoren sind Temperatur, Windgeschwindigkeit und (für die Verdunstung) der Wasserdampfdruckgradient (Berényi 1967: 293). Auf die Prozesse wurde weiter oben (unter Windverhältnisse und Feuchtigkeit) bereits eingegangen. An dieser Stelle soll einerseits noch einmal betont werden, dass die Oberflächenstruktur aufgrund ihres Rauigkeitswertes einen entscheidenden Einfluss auf den Wind hat, andererseits hat die Porosität des Bodens Einfluss sowohl auf die Aufnahme und Speicherung

von einkommendem Wasser als auch auf dessen Abgabe an tiefere Schichten und an die Oberfläche und somit über die Verdunstung an die bodennahe Luftschicht.

Für einen unbewachsenen natürlichen Boden kann demnach grundsätzlich festgehalten werden: Ein trockener Erdboden besitzt einen geringen Albedo-Wert und weist eine hohe Porosität auf. Er heizt daher leicht auf und gibt die Wärme aufgrund des hohen Luftanteils kaum in tiefere Schichten ab. Die Wärme und der noch verbleibende Anteil an Feuchtigkeit werden durch Wind rasch abgeführt. Die Wärmebilanz wird durch den Faktor Wassergehalt stark verändert. Die Wärmeleitfähigkeit wird erhöht und die Wärme in tiefere Schichten geleitet. Gleichzeitig setzt die Feuchtigkeit den Albedo-Wert der Oberfläche herab und den Verdunstungswert herauf.

Entscheidende Kriterien sind also der Albedo der Oberfläche, die Porosität und der Wassergehalt. Diese Eigenschaften können direkt beeinflusst werden, was für die weiteren gestalterischen Überlegungen ausschlaggebend ist.

3.4 Bewusster Einfluss auf das Mikroklima

Die einzelnen Faktoren des Mikroklimas lassen sich künstlich beeinflussen. Das betrifft sowohl die klimatischen Einflussfaktoren als auch die Oberflächeneigenschaften. Dieses Wissen kommt insbesondere in der Landwirtschaft zur Anwendung, wo die Ackerfläche hinsichtlich der Einstrahlung ausgerichtet und die Bodenbeschaffenheit u.a. bezüglich des Luft- und Wassergehalts bearbeitet wird. In Mitteleuropa haben bislang derartige Maßnahmen vorrangig auf eine Veränderung in Richtung eines mildereren und wärmeren Mikroklimas abgezielt. Auch unter gesundheitlichen und landschaftsarchitektonischen Aspekten wird Nutzen aus der Beeinflussung des Mikroklimas gezogen (z.B. Plomin 1975).

3.4.1. Struktur: Einfluss auf klimatische Faktoren

Betrachtet man die Gesamtheit der klimatischen Faktoren, so lassen sich Wind, Strahlung und Niederschlag lokal am einfachsten durch gestalterische Maßnahmen beeinflussen. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit werden stark durch Luftaustausch beeinflusst und können daher nur unter sehr windruhigen Bedingungen lokal beeinflusst werden (Brown und Gillespie 1995: 139).

Strahlung und Wind haben einen besonders großen Einfluss auf den Wärmehaushalt der Oberflächen: Strahlung als Hauptlieferant der Wärmeenergie und somit als Hauptfaktor für die Oberflächentemperatur und Wind als wichtiger Faktor für die Abgabe von Wärme durch Konvektion.

3.4.1.1. Strahlung

Übermäßige Strahlung kann durch Hindernisse grundsätzlich abgeblockt, reflektiert oder absorbiert werden. Eine Einstrahlung kann also durch die Aufstellung bestimmter Objekte

vermindert werden. Für eine derartige Verschattung stehen verschiedene Materialien zur Verfügung. Den größten Einfluss auf die Solareinstrahlung haben massive (gebaute) Objekte unter Berücksichtigung ihrer Beschaffenheit, Position und Ausrichtung (Brown und Gillespie 1995: 93ff.). Dabei muss jedoch auch die damit einhergehende Erwärmung der jeweiligen Objektoberflächen betrachtet werden.

Pflanzen wirken grundsätzlich einer Erwärmung ihrer Blattoberflächen durch Stellung und Bewegung ihrer Blattorgane und durch Transpiration entgegen. Sie besitzen zudem die Besonderheit, dass sie einen Teil der Strahlung transmittieren können und sich die Strahlenszusammensetzung dadurch unterhalb der Blätter verändert. Große holzige Pflanzen wie Bäume haben den größten Einfluss auf die Einstrahlung und bieten einen höheren Verschattungsraum an, der den gesamten Bewegungsraum des Menschen abdecken kann. Bei niedrigen Pflanzen betrifft die Verschattung dagegen 'nur' die direkten Oberflächen wie Boden oder Fassade.

Bei anderen 'dünnen' Materialien wie Blech oder Tuch bestimmen Dichte und Oberflächenstrukturen (z.B. Öffnungen), wie viel Strahlung durchgelassen wird. Auch hier ist das thermische Verhalten des entsprechenden Materials zu berücksichtigen, da es u.U. trotz Verschattung zu einer Erwärmung beitragen kann. Glas ist ein transmittierendes Material, das die Eigenschaft besitzt, nur die eintreffende, nicht aber die ausgehende langwellige Strahlung hindurchzulassen, wodurch sich die Wärme unterhalb des Glases staut (Glashauseffekt). Natürlich sind die Ausrichtung der Objekte (Inklination und Exposition) und die Intensität der Einstrahlung entscheidende Kriterien hinsichtlich der Verschattung. Aber auch die Ausrichtung der Oberflächen der Objekte selbst und das damit verbundene Ausmaß an Oberflächenerwärmung ist für das Mikroklima ein wesentlicher Faktor. In der Landwirtschaft kommt dies z.B. bei Geländeformen wie Mulden, Tal und Hang zur Anwendung, wobei auch der Aspekt der Ausstrahlung der Oberflächen Berücksichtigung findet (Brandt 2005: 110).

3.4.1.2. Wind

Zu viel Wind kann grundsätzlich durch massive Objekte abgeblockt, abgelenkt oder durch weniger dichte Objekte abgebremst werden: je dichter das Material des Hindernisses, desto stärker die Auswirkungen der Bremsung in einem kleineren Bereich. Hierbei entstehen Turbulenzen und Kanalisierungseffekte, die an anderer Stelle wiederum zu einer Zunahme der Windgeschwindigkeit führen. Entscheidend ist das Verhältnis von windgeschützter Fläche zur Verminderung der Windgeschwindigkeit. Auch hier spielen Größe, Beschaffenheit, Position und Ausrichtung ebenso eine Rolle wie die Durchlässigkeit und die Entfernung zur betroffenen Fläche (Brown und Gillespie 1995: 123ff.). Vegetation hat dabei die Besonderheit, dass sie Starkwinde abbremst, Schwachwinde jedoch hindurch lässt. Der Windschutz reduziert nicht nur die Windgeschwindigkeit, sondern dadurch auch den Grad an Verdunstung und hat somit positiven Einfluss auf hohe Bodenfeuchte und geringe Temperatur in dem direkt hinter dem Hindernis angrenzenden Bereich. Für die bewusste Schaffung von Turbulenz zur Steigerung der Konvektion ist die Gesamtoberflächenstruktur entscheidend, also nicht nur (wie oben erläutert) das Material selbst, sondern z.B. auch die Höhe, Ausdehnung und Abfolge von Objekten bzw. 'Hindernissen'.

3.4.1.3. Niederschlag, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Zum Niederschlag sei nur erwähnt, dass dieser durch Objekte abgeblockt und abgelenkt werden kann. Es kann also gezielt Einfluss darauf genommen werden, wo das anfallende Wasser auf die Erdoberfläche trifft, und in welchem Ausmaß dieses anfallende Oberflächenwasser durch eine bewusste Auswahl der Bodenmaterialien dann für eine Versickerung und/oder eventuelle Wasserspeicherung zur Verfügung steht (Brown und Gillespie 1995: 142ff). Durch die Ausrichtung und Modellierung der Bodenoberflächen kann der Abfluss zusätzlich gelenkt und beeinflusst werden.

Sowohl die Lufttemperatur als auch die Luftfeuchtigkeit sind in hohem Maße abhängig von der Durchmischung der Luft, also vom Austausch, der in der Atmosphäre stattfindet. Sie sind daher schwer lokal zu beeinflussen. Dabei gilt: je weniger Luftbewegung, desto weniger Austausch. Wie erläutert tendieren sowohl die Luftbewegung als auch der Austausch an der Bodenoberfläche gegen 0, was in der bodennahen Luftschicht zu lokalen Unterschieden in Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit führen kann. In höheren Luftschichten ist es nur in stark isolierten Freiräumen möglich, Einfluss auf diese Werte zu nehmen. Brown und Gillespie (1995) führen dazu das Beispiel von ummauerten Gärten (*walled gardens*) an (ebd.: 139). Es kommt dabei auf die Dimension der so isolierten Freiräume an.

3.4.2. Materialien: Einfluss auf oberflächenbedingte Faktoren

Jedes Material hat seine spezifischen thermischen Eigenschaften. Kennt man diese Eigenschaften, so kann durch eine bewusste Auswahl und Verwendung von Materialien ebenfalls direkt Einfluss auf das Mikroklima genommen werden.

Im Hinblick auf die Erwärmung städtischer Strukturen ist allgemein festzuhalten, dass die Intensität der nächtlichen Wärmeinsel mit Abnahme des Albedo-Wertes einer Oberfläche und mit Zunahme der Leitfähigkeit und Wärmekapazität des entsprechenden Oberflächenmaterials steigt. Der direkteste und unkomplizierteste Eingriff zur Wärmereduzierung von bestehenden Oberflächen ist somit eine Anpassung ihres Albedo-Wertes durch die Wahl von Material und Farbe und durch eine Veränderung der Oberflächenstruktur. Es besteht bei allen Oberflächen eine starke Abhängigkeit vom Wasserangebot als Bedingung für die Evapotranspiration.

3.4.2.1. Baustoffliche Materialien

Mit 'baustofflichen' Materialien sind sowohl natürliche als auch künstliche feste und nicht lebende Materialien gemeint. Sie unterscheiden sich in erster Linie aufgrund ihrer thermischen Eigenschaften, die die Energieaufnahme, Energiespeicherung und Energieabgabe bestimmen. Das beruht auf den oben angeführten Faktoren: Albedo, Dichte, Wärmekapazität, Wärme- und Temperaturleitfähigkeit, etc.

Die Wärmekapazität von künstlichen und natürlichen Materialien ist relativ ähnlich. Eine Ausnahme stellt das Wasser dar, das hier jedoch nicht zu den baustofflichen Materialien

gezählt, sondern weiter unten als eigene Kategorie behandelt wird. Die größten Unterschiede liegen in der Wärme- und Temperaturleitfähigkeit der Materialien. Bei künstlichen Materialien wie Asphalt, Schwebeton oder Stahl liegen diese Werte in der Regel deutlich höher als bei natürlichen Materialien wie Holz oder Lehmboden (s. Tab. 3.3).

Material	Anmerkungen	Dichte ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot 10^3$)	Spezifische Wärme- kapazität ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 10^3$)	Wärme- kapazitäts- dichte ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 10^6$)	Wärmeleit- fähigkeits- koeffizient ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)	Temperatur- leitfähigkeits- koeffizient ($\text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{-6}$)	Wärme- eindring- koeffizient ($\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5} \cdot \text{K})$)
Asphalt		2,11	0,92	1,94	0,75	0,38	1205
Beton	Gasbeton	0,32	0,88	0,28	0,08	0,29	150
	Schwebeton	2,40	0,88	2,11	1,51	0,72	1785
Naturstein		2,68	0,84	2,25	2,19	4,93	2220
Backstein	durchschnittl.	1,83	0,75	1,37	0,83	0,61	1065
Lehmziegel	durchschnittl.	1,92	0,92	1,77	0,84	0,47	1220
Holz	weich	0,32	1,42	0,45	0,09	0,20	200
	hart	0,81	1,88	1,52	0,19	0,13	535
Stahl		7,85	0,50	3,93	53,30	13,60	14475
Glas		2,48	0,67	1,66	0,74	0,44	1110
Lehmboden (40% Poren- volumen)	trocken	1,60	0,89	1,42	0,25	0,18	600
	gesättigt	2,00	1,55	3,10	1,58	0,51	2210
Wasser 4 °C	unbewegt	1,00	4,18	4,18	0,57	0,14	1545
Luft 10 °C	unbewegt	0,0012	1,01	0,0012	0,025	20,50	5
	turbulent	0,0012	1,01	0,0012	= 125	$10 \cdot 10^6$	390

Tab. 3.3 : Thermische Eigenschaften unterschiedlicher Materialien (nach Kuttler 2009)

Eine große Bedeutung spielt die Porosität und somit die Wasserdurchlässigkeit, Wasserspeicher- und Wasserabgabefähigkeit der Materialien. Die so genannte Wassertransportfähigkeit steuert den Verdunstungswärmestrom und ist daher wichtig für den Wärmehaushalt der Oberflächen. Bei künstlichen Materialien ist dieser geringer als bei natürlichen Materialien, bei Stein- und Asphaltdecken fehlt er komplett, wodurch die beiden letztgenannten allgemein die höchsten Temperaturschwankungen aufweisen (Brandt 2005: 80). Eine Feldstudie von Nabeshima et al. (2003) verdeutlicht, dass ein wasserspeichernder Boden eine um 5K geringere Oberflächentemperatur hat als Vergleichsbeläge (in Brandt 2005: 83).

3.4.2.2. Vegetation

Die Vegetation stellt eine Besonderheit dar, da es sich hier um ein vielschichtiges und lebendes Material handelt.

Die einkommende Strahlung wird von den einzelnen Pflanzenteilen in unterschiedlichen Höhen reflektiert und absorbiert. Dies ist abhängig von dem so genannten Blattflächenindex (*leaf area index*: LAI), der die Gesamtheit der Blattoberfläche im Verhältnis zur Bodenoberfläche definiert. Eine Besonderheit besteht in der Fähigkeit der Blätter, Strahlung zu einem bestimmten Teil auch zu transmittieren (s. Abb. 3.10). Das führt zu einer Veränderung der spektralen Zusammensetzung innerhalb von Vegetationsstrukturen (s. Abb. 3.11). Im Wald finden wir daher im Gegensatz zu dem normal üblichen so genannten 'Blauschatten' einen 'Grün Schatten' vor (Geiger 1961: 269). Der Strahlungsabfall zum Boden hin kann mit dem Lambert-Beerschen Gesetz berechnet werden (Brandt 2005: 63).

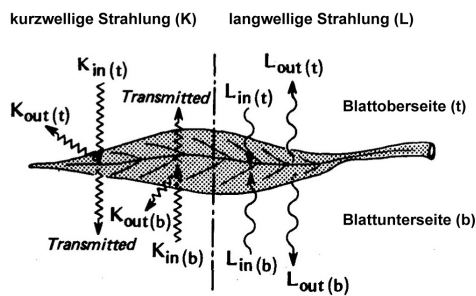


Abb. 3.10 : Strahlungsverhalten eines Blattes (nach Oke 1987)

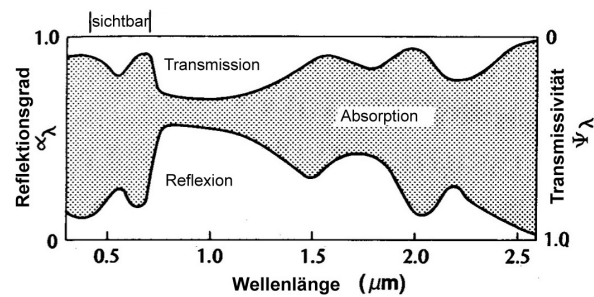


Abb. 3.11 : Anteil an reflektierter, absorbierter und transmittierter Strahlung eines Blattes (nach Oke 1987)

Der Strahlungsaustausch findet in erster Linie von den außen liegenden Blättern statt. Die normale Windverteilung wird ebenfalls auf die Rauigkeitshöhe der Vegetation angehoben. Dabei beeinflusst die Oberflächenbeschaffenheit der Vegetation durch ihre Rauigkeit den Turbulenzgrad des Windes. Je rauer, desto mehr Turbulenz wird durch Wind erzeugt und desto mehr Wärme und Feuchtigkeit wird in höhere Schichten transportiert. Der Austausch mit der umgebenden Luft findet also ebenfalls in erster Linie von den äußeren Pflanzenteilen aus statt. Die Grenzfläche zur Atmosphäre wird somit auf die äußere Schicht einer Pflanze bzw. auf die Bestandsgrenze der Vegetation (z.B. Kronenoberfläche eines Waldes) angehoben. Innerhalb der Pflanzenstruktur bzw. einer Vegetationsgruppe entwickelt sich ein eigenes spezielles Mikroklima (Geiger 1961: 265ff.).

Im Inneren einer Pflanzendecke sind höhere Temperaturen vorzufinden. Je dichter die Vegetationsstruktur ist, desto effektiver wird die Wärme zwischen ihren Ästen gehalten. Dabei handelt es sich sowohl um die abgegebene Bodenwärme als auch um die einkommende Wärme durch Strahlung. Dabei wird die Wärme in den einzelnen Pflanzenbestandteilen, und somit vielschichtig über den vertikalen Raum verteilt, gespeichert (Adams 2007: 82; Geiger 1961: 289). Zur Wärmebilanz kommt noch die von der Pflanze eigens produzierte Stoffwechselwärme hinzu, die insgesamt gesehen jedoch eher gering ausfällt (Brandt 2005: 63). Innerhalb einer Pflanzendecke findet sich auch eine deutlich höhere Feuchtigkeit. Hier gilt ebenso wie bei der Wärme: je dichter die Vegetationsstruktur, desto feuchter die Luft innerhalb dieser. Die Erklärung dafür liegt einerseits in der Hemmung einer Wegführung von Wasserdampf aus dem Boden und in dem Auffangen von einkommendem Niederschlag bzw. oberflächlicher Kondensation und andererseits in der Abgabe von Wasserdampf der Pflanze selbst durch Transpiration (Geiger 1961: 289). Mit letzterer geht, wie oben erläutert, eine oberflächliche Temperatursenkung einher. Der Wärmeaustausch findet mit der umgebenden Luft und durch den Wärmestrom innerhalb der Pflanzenteile statt (ebd.: 271).

Innerhalb eines Vegetationsbestandes gilt: Je dichter die Pflanzen und je größer die Vegetationsfläche, desto kühler bleibt tagsüber die bodennahe Luftschicht. Nachts finden sich hingegen innerhalb eines Vegetationsbestandes wärmere Temperaturen am Boden, da die nächtliche Ausstrahlung auf die Oberfläche angehoben wird (ebd.: 283). Deutlich wird das bei Lichtungen, die nachts signifikant kühlere Temperaturen aufweisen. Ein Absinken der kälteren Nachtluft in den Vegetationsbestand hinein ist abhängig von der Struktur und Dichte der Vegetation und der damit verbundenen abbremsenden Wirkung (ebd.: 284).

Die Vegetation stellt auch in der Art der Beeinflussung des Windes eine Besonderheit dar. Durch die Beweglichkeit der Pflanze ergibt sich eine andere Bremswirkung als bei statischen Objekten. Innerhalb eines Vegetationsbestandes werden Starkwinde abgebremst, Schwachwinde jedoch hindurch gelassen. Die Winddurchlässigkeit steht in Zusammenhang mit der Vegetationsstruktur, wobei sich das Windverhalten mit zunehmender Vegetationsdichte dem bei einem statischen Objekt annähert (s. Abb. 3.12) und (s. Abb. 3.13). Im Inneren einer geschlossenen Pflanzendecke herrscht annähernd Luftruhe (ebd.: 294). Die normale Windverteilung wird auf die Rauigkeitshöhe der Vegetation angehoben (Geiger 1961: 297).

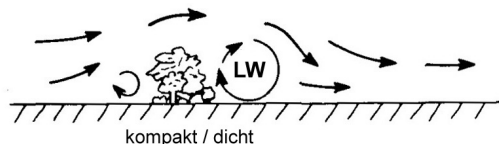


Abb. 3.12 : Entstehung eines Leewirbels (LW) bei dichter Vegetation (nach Oke 1987)

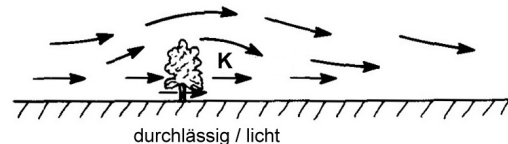


Abb. 3.13 : Entstehung eines Luftkissens (K) bei lichter Vegetation (nach Oke 1987)

Die Pflanze unterliegt zudem als lebender Organismus evolutiven Veränderungen. Die Entwicklung von Bau und Stellung der Blattorgane sowie die Fähigkeit, diese im tages- und jahreszeitlichen Ablauf zu bewegen, dient z.B. der Abwehr von übermäßiger Erhitzung durch Strahlung oder dem Auffangen und Speichern von Wasser (ebd.: 271). Die Vegetation hat somit auch einen bedeutenden Einfluss auf die Wasserbilanz: Der Niederschlag wird von den einzelnen Pflanzenteilen aufgefangen und fließt an der Oberfläche zum Boden ab, was insgesamt zu einer Verzögerung des Abflusses und somit zu einem höheren Versickerungsgrad in den Boden führt (ebd.: 265). Hinzu kommen die schon genannte, an der Blattoberfläche stattfindende Kondensation und Evapotranspiration. Die Transpiration der Pflanze dient ebenfalls dazu, die Oberflächentemperatur der Pflanze auszugleichen und somit einer Überhitzung entgegenzuwirken.

Die Auswirkungen auf das Mikroklima hängen generell von der jeweiligen Struktur der einzelnen Pflanze und von der Struktur eines Vegetationsbestandes ab. Mit abnehmender Größe und Dichte der Vegetation nimmt die Abhängigkeit z.B. von der Oberflächentemperatur und dem Wassergehalt des Bodens zu.

Bei Bäumen und größeren Sträuchern kommen aufgrund der Größe und Struktur der Pflanzen mehrere Faktoren besonders stark zur Geltung: ein hoher Grad an Verschattung der unterhalb der Baumkrone befindlichen Pflanzenteile und des Bodens (u.a. aufgrund eines hohen Albedos und der blattoberflächenabhängigen großen Absorptionsfläche), eine ebenso durch die Blattoberfläche bedingte hohe Transpiration und ein gewisser Grad an Winddurchlässigkeit (Dimoudi 2003). Das Mikroklima unter Baumkronen ist, wie oben erläutert, tagsüber grundsätzlich feuchter und kühler. Ein Wald bildet so ein ganz spezifisches Eigenklima aus. Dieses Waldklima ist abhängig von der Gesamtgestalt des Waldbestandes (Geiger unterscheidet z.B. zwischen einem gleichmäßigen Kronendach oder einem Stufenschluss bzw. zwischen einer Gruppe oder einem Schirm), den vorherrschenden Baumarten (u.a. hinsichtlich Größe und Struktur) und von seiner Nutzung (Geiger 1961: 327 ff.; Brandt 2005: 67). Der Wald ist also gekennzeichnet durch eine höhere Luftfeuchtigkeit und kühlere Temperaturen innerhalb des Bestandes und gerin-

geren Wind- wie auch geringeren Strahlungswerten (Sonnenschatten). Das Waldklima lässt sich somit grundsätzlich in folgende Schichten gliedern: das Klima am Waldboden, das spezifische Stammraumklima und das Klima des Kronenraumes. Der Strahlungs- und Wärmeaustausch findet im obersten Bereich des Kronenraumes, der Grenzschicht des Waldes, statt (Geiger 1961: 297). Die normale Windverteilung wird auf die Rauigkeitshöhe des Waldes angehoben (ebd.: 312).

An dieser Stelle soll wiederholt auf zwei für das Stadtklima bedeutende Aspekte hingewiesen werden: Erstens können auch innerstädtische Parkflächen und breite Alleen ein ähnliches Klima wie ein Wald ausbilden. Zweitens bildet auch die Stadt selbst mit ihrer städtebaulichen Struktur eine spezielle Klimaschichtung aus, die Parallelen zum Waldklima aufweist. Im Kapitelabschnitt „Stadtklima“ ist (unter 3.2.2.1) bereits der Begriff *urban canopy layer* (UCL) als gebäudenaher Luftschicht gefallen, eine Analogie von Oke (1987).

Grundsätzlich mäßigt jede Pflanzendecke die Temperaturschwankungen des bodennahen Klimas durch ihren Wärmeumsatz im vertikalen Raum (Geiger 1961: 280). Der Verdunstungswärmestrom (s.o.) stellt dabei ein entscheidendes Kriterium dar (s. Abb. 3.14). Bei niedrigen Pflanzendecken wie dem Rasen besteht dabei eine extrem große Abhängigkeit vom Wasserangebot aus dem Boden. Graswurzeln sind zudem besonders dicht und stellen daher eine isolierende Schicht dar, die eine Wärmeleitung nach unten verhindert und somit das Aufheizen der Luft fördert (Brandt 2005: 66). Kommt durch eine starke Nutzung solcher Flächen eine weitere Verdichtung der Oberfläche hinzu (Trittdichte), so wird dieser Effekt dementsprechend verstärkt. Bei einer starken Verdichtung und ungenügendem Wasserangebot kann sich das thermische Verhalten einer Rasenfläche tagsüber sogar dem einer versiegelten Fläche annähern. Da nachts jedoch auch hier eine deutlich stärkere Abkühlung stattfindet, sind Rasenflächen trotzdem in mikroklimatischer Hinsicht grundsätzlich als positiv zu bewerten (ebd.: 97).

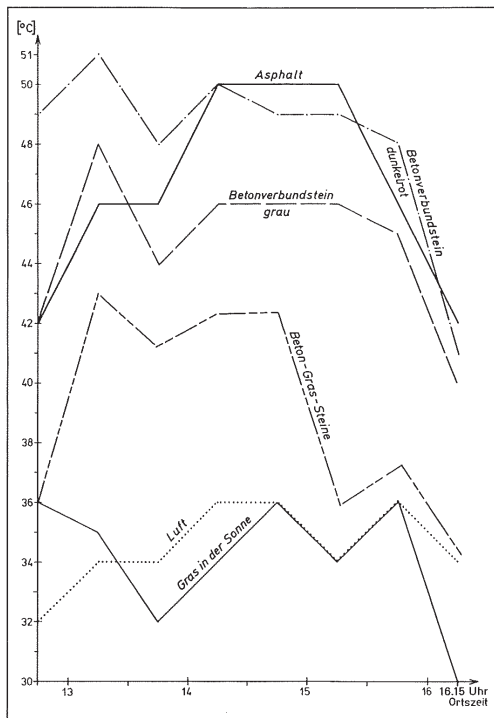


Abb. 3.14 : Erwärmung unterschiedlicher städtischer Oberflächen im Vergleich zu Rasen (Fezer 1995)

Die Vegetation hat auch direkte Auswirkungen auf die Bodenbeschaffenheit. Durch die Verwurzelung werden der Luft- und Wassergehalt des Bodens verändert und der Albedo und die Rauigkeit der Oberfläche beeinflusst. Hinzu kommt die Verschattung durch Pflanzen, die sich auf die Strahlungsbilanz des Bodens auswirkt (Geiger 1961: 179). Darüber hinaus schiebt sich die wärmere Luftschicht der Umgebung über die kühle und feuchte Luftschicht angrenzender Vegetation ('zähe Lufthaut') (ebd.: 182).

3.4.2.3. Wasserflächen

Die Wärmebilanz einer Wasserfläche unterscheidet sich von jener anderer Oberflächen. Die kurzwellige Solarstrahlung dringt in tiefere Wasserschichten ein. Der Albedo einer Wasserfläche ist dabei abhängig von dem Strahlungswinkel, wobei der Reflexionsgrad mit abnehmendem Sonnenstand zunimmt. Langwellige Strahlung wird fast zur Gänze von der Wasseroberfläche absorbiert (Geiger 1961: 150ff.; Brandt 2005: 55). Innerhalb von Fluiden findet sowohl ein konvektiver als auch ein advektiver Transport von Wärme statt. Der Wärmeaustausch findet einerseits zwischen der Wasseroberfläche und der Luft und andererseits zwischen dem Wasser und dem Boden statt (Geiger 1961: 153). Wasser besitzt eine sehr hohe spezifische Wärme und somit eine besonders hohe Wärmekapazität. Es stellt somit einen hervorragenden Speicher und Lieferanten von Energie dar (ebd.). Wasser hat allgemein eine temperaturausgleichende Wirkung, die Schwankungen der Wassertemperatur sind eher gering. Sie stehen jedoch in Abhängigkeit von der Größe und Tiefe der Wasserfläche. Je kleiner und flacher die Wasseroberfläche, desto ähnlicher sind die Temperaturen denen des festen Bodens (ebd.: 155). Bewegtes Wasser weist grundsätzlich weniger Temperaturschwankungen auf als stehendes Wasser (Brandt 2005: 58).

Im Gegensatz zu anderen Oberflächen bleibt der Verdunstungswärmestrom einer Wasserfläche bei Tag und Nacht ungefähr gleich. Direkt an der Wasseroberfläche befindet sich aufgrund der Verdunstung ein dünner kalter Wasserfilm (Geiger 1961: 159).

3.4.3. Mikroklimatische Landschaftsarchitektur

Durch eine künstliche Veränderung der Bodenbeschaffenheit kann die Wärmeleitfähigkeit des Bodens und somit auch das bodennahe Mikroklima direkt beeinflusst werden (ebd.: 36). Durch die bewusste Gestaltung der Umwelt unter mikroklimatischen Aspekten kann die Aufenthaltsqualität in Freiräumen deutlich angehoben werden. Dies ist das Ziel der 'mikroklimatischen Landschaftsarchitektur' (*microclimatic landscape design*), wie sie z.B. Brown und Gillespie vertreten. Jeder Freiraum unterliegt spezifischen klimatischen Einflüssen. Für eine effektive Gestaltung sind genaue Kenntnisse der klimatischen Bedingungen vor Ort wichtig (Brown und Gillespie 1995). Dabei können die klimatischen Einflussfaktoren, wie oben beschrieben, durch strukturelle Maßnahmen gefördert oder vermindert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die jahreszeitlichen Veränderungen sowohl der klimatischen Bedingungen als auch der Nutzungsansprüche an den jeweiligen Freiraum. Es ist daher schwierig, pauschale Aussagen zu einer gelungenen mikroklimatischen Gestal-

tungsplanung zu treffen. Es gibt aber Regeln, die einen leichteren Zugang ermöglichen. Im mitteleuropäischen Raum ist es ratsam, die Kontrolle von Wind in der kalten und die Kontrolle von Strahlung in der heißen Jahreszeit in den Vordergrund zu stellen (ebd.: 72). Gefordert sind also landschaftsarchitektonische Mittel, die im Jahresablauf unterschiedlich auf die klimatischen Faktoren einwirken. Ein Beispiel dafür ist die Verwendung von laubabwerfenden Gehölzen, die die Strahlung im Sommer abblocken, im Winter jedoch hindurch lassen. Auf den Wind bezogen kann es dagegen sinnvoll sein, immergrüne Vegetation so einzusetzen, dass während der heißen Sommerzeit leichte Winde zur Fortführung von oberflächlicher Wärme ermöglicht werden, im Winter jedoch genügend Schutz gegeben ist.

Mit dem Wissen über die thermischen Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Materialien, ist eine bewusste Auswahl ein weiteres Mittel, das zukünftige Mikroklima zu beeinflussen. Dies kann im Sinne eines kühleren Mikroklimas innerhalb der überhitzten Stadtstrukturen auf vielfache Weise erreicht werden, z.B. durch einen möglichst hohen Anteil an Vegetation (Verschattung, Winddurchlässigkeit und Blattgesamtoberfläche) in Kombination mit der Verwendung von versickerungsfähigen, hellen und rauen baustofflichen Oberflächen und der Integration von Wasserelementen. Eine Berücksichtigung von Dach- und Fassadenflächen in der Freiraumgestaltung, das Anheben von kühlenden Verdunstungsflächen in die dritte Dimension (z.B. durch Vegetations- oder Wasserwände, Fontänen und Wassernebel) und die Schaffung ‚isolierter‘ kühlerer und feuchterer Kleinst Räume durch eine bewusste Raumbildung (auch durch vegetative Elemente) sind einige relevante Ansätze und eine Grundlage für die vorliegende Arbeit.

Das Ziel der mikroklimatischen Landschaftsarchitektur ist es, ein stabiles Mikroklima zu erreichen, d.h. die Gleichung der Wärmebilanz in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen. Brown und Gillespie drücken die Gleichung dabei vereinfacht als so genanntes ‚Energie-Budget‘ aus (*energy budget*, ebd.: 58). Den direkten Einfluss von gestalterischen Maßnahmen auf das Energie-Budget - wie z.B. die Integration von Vegetation und Wasserflächen zur Steigerung der Evapotranspiration oder die Erzeugung von Turbulenz zur Steigerung der Konvektion - nennen die Autoren das ‚Aufteilungsprinzip‘ (*partitioning principle*, ebd.: 55). Sie weisen auf eine besondere Komplexität hin, da manche Energiekonsumenten nachts wiederum zu Energielieferanten werden können.

Das angestrebte stabile Mikroklima ist im Sinne des thermischen Wohlbefindens zu verstehen: „*The purpose of design is the thermal comfort of the majority of people the majority of time*“ (ebd.: 72).

3.5 Thermisches Wohlbefinden

Das thermische Wohlbefinden ist immer schon ein grundlegendes Anliegen gewesen. Glaser (2008) sieht darin die ‚Basis der Zivilisation‘. Und auch Keul unterstreicht, dass „*Viele Produkte der Zivilisation (...) auch Regulationsversuche der Witterungseinflüsse in Richtung Wohlbefinden [sind]*“ (Keul 1995: 156). Verändert haben sich lediglich technische Entwicklungen, die das thermische Wohlbefinden unterstützen und somit unabhängig von natürlichen Bedingungen machen. Mayer et al. (2008) sehen in dem thermischen Wohlbefinden ein entscheidendes Kriterium für Lebensqualität besonders innerhalb

der dichten Stadtstrukturen: „*The maintenance of human thermal comfort represents an essential requirement for efficiency, well-being and health of citizens, i.e. human thermal comfort enhances the quality of life within cities.*“ (ebd.: 104).

Die frühen Ansätze der Bioklimatologie, - einer Grenzdisziplin zwischen Medizin und Meteorologie - beziehen sich fast ausschließlich auf den Innenraum. Inzwischen wurden Methoden entwickelt, diese auch für den Außenraum zu adaptieren und auszubauen. Das hat sich als schwierig erwiesen, da für den Außenraum viel mehr Faktoren herangezogen werden müssen und vor allem räumliche und zeitliche Unterschiede eine Rolle spielen. Wind und Strahlung, die im Innenraum nur eine untergeordnete Rolle spielen, aber großen Einfluss auf das thermische Wohlbefinden haben, sind im Außenbereich besonders zu beachten.

Es folgt ein Überblick über die verschiedenen Arten von Einflussfaktoren und deren Wirkungsgefüge und einige Berechnungsmodelle für das thermische Wohlbefinden. Das thermische Wohlbefinden basiert auf der Gleichung der menschlichen Wärmebilanz.

3.5.1. Wärmebilanz des Menschen

In die Wärmebilanz des Menschen werden alle Klimabedingungen, die auf den Menschen einwirken, einbezogen. Die klimatischen Faktoren sind identisch mit den Faktoren des Mikroklimas, der Mensch (wie auch andere Lebewesen) ist ein Teil in diesem Wirkungsgefüge.

Fanger (1970) beschreibt die thermische Behaglichkeit als die Balance des menschlichen Energiehaushaltes, also als Balance der eintreffenden, reflektierten und gespeicherten Energie (*heat balance model*). Die einzelnen physikalischen Faktoren zur Erfüllung dieser Gleichung können gemessen und/oder durch Berechnung überprüft und angenähert werden. Dieser empirische Ansatz beruht zusätzlich auf der Berechnung vereinfachter Wechselbeziehungen zwischen diesen Faktoren. Darunter fallen z.B. der *wind chill factor* als Kombinationswert von Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit und *humidex* (Schwüle) als Kombinationswert von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Diese Wechselbeziehungen können eine große Auswirkung auf das thermische Wohlbefinden haben. Für eine Windgeschwindigkeit von 10 m/s bei einer Temperatur von -20°C gibt Brandt einen *wind chill factor* von -34°C an (Brandt 2005: 113).

Auf den Menschen bezogen werden neben den klimatischen Faktoren aber noch weitere Faktoren wirksam, sowohl aktive (wie der metabolische Wert aufgrund von körperlicher Aktivität oder die Wahl der Bekleidung) als auch passive (wie Alter und Geschlecht der jeweiligen Person). Ali-Toudert bezeichnet die Integration dieser nicht-klimatischen Faktoren als 'rationalen' Ansatz (Ali-Toudert 2005: 41). Die Wärmebilanz des Menschen stellt somit ein komplexes Wirkungsgefüge dar (s. Abb. 3.15).

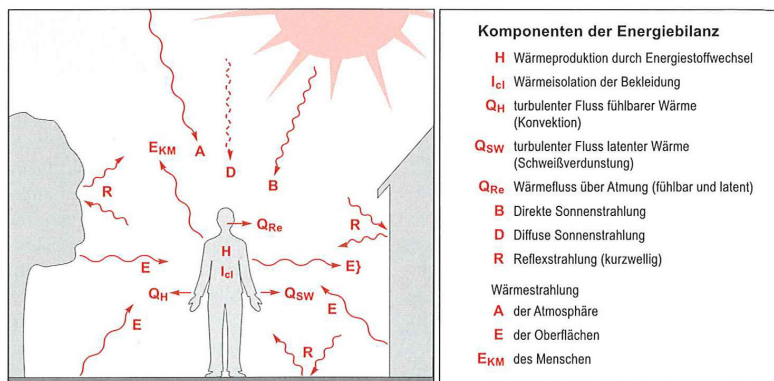


Abb. 3.15 : Wärmebilanz des Menschen (nach Mayer in Laue 2009)

3.5.2. Die thermische Behaglichkeit des Menschen

Das innere Temperatur-Gleichgewicht des Menschen liegt bei ca. 37°C. Die 'Schaltemperatur' der Haut liegt bei 24-34°C und ermöglicht so eine gewisse Anpassung an Temperaturunterschiede (Keul 1995: 158). Erwärmungs- und Abkühlungsreize lösen Thermoregulationsvorgänge im Körper aus. Darunter fallen z.B. das Zittern bei Kälte und das Schwitzen bei Wärme. Der Körper gibt laufend Wärme ab, wobei sich diese metabolische Wärme in Strahlung (60%), fühlbare Wärme (15%) und latente Wärme über Lunge und Haut (25%) unterteilen lässt (Prozent-Angaben unter Innenraumbedingungen laut Brandt 2005). Der thermische Behaglichkeitsbereich des Menschen hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab und ist somit nur schwer zu verallgemeinern. Für den mitteleuropäischen Raum wird von einer 'behaglichen' Lufttemperatur von ca. 18-23 °C ausgegangen (Lin et al. 2010). Dabei kann der Mensch durch Bekleidung und Aktivität selber Einfluss nehmen. Hierunter fällt auch die Standortwahl bzw. der bewusste Schutz vor klimatischen Faktoren wie Strahlung, Wind und Niederschlag.

Frank (1975) unterscheidet insgesamt zwischen physikalischen, physiologischen und intermediären Einflussfaktoren auf das thermische Wohlbefinden. Unter die physikalischen Bedingungen fallen in erster Linie die äußeren klimatischen Faktoren, aber auch bestimmte Aspekte der Wahrnehmung. Unter den physiologischen Bedingungen fasst Frank personenbezogene Faktoren wie Alter, Geschlecht, Herkunft sowie Ernährung und körperliche Konstitution zusammen. Als intermediäre Bedingungen versteht er Einflüsse durch Wechselbeziehungen zwischen der jeweiligen Person und ihrer Umwelt, wie Aktivität und Bekleidung, sowie Aspekte von Adaption und Akklimatisation und psychosoziale Faktoren (in Laue 2009). Die komplexe Berechnung der thermischen Behaglichkeit in diesem Sinn ist vor allem durch die Entwicklung der Computer- und Simulations-Technik erleichtert worden.

Das anfangs beschriebene 'heat-balance model' von Fanger geht von der Annahme aus, dass sich die thermische Wahrnehmung (heiß, warm, kühl und kalt) proportional zur Hauttemperatur und dem latenten Wärmeverlust über die Haut bzw. durch deren Transpiration verhält. Brager und de Dear (1998) benennen dies daher als ein passives Modell. Sie führen als wichtige Ergänzung so genannte *adapting models* an und integrieren dabei alle Ebenen der verhaltenstechnischen, physiologischen und vor allem auch psychi-

schen 'Feedbacks', die Einfluss auf das subjektive Behaglichkeitsempfinden haben. Diese Feedbacks sind in ihrer Gesamtheit nur sehr schwer zu erfassen, können nach Aussage von Brager und de Dear aber in Kombination mit den physikalischen Faktoren sehr viel genauere Ergebnisse liefern.

3.5.2.1. Klimatische Faktoren

Auf das thermische Wohlbefinden haben alle bisher genannten klimatischen Faktoren Einfluss: Strahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchte und Wind. An dieser Stelle soll nicht so sehr auf die einzelnen Faktoren eingegangen werden, da dies bereits unter den Aspekten des Mikroklimas geschehen ist. Relevant sind vor allem die oben genannten Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren wie *wind chill factor* und *humidex*.

Der Aspekt der Strahlung soll hier jedoch etwas genauer betrachtet werden. Diese beeinflusst sowohl die Erwärmung des Menschen selbst als auch die Erwärmung der ihn umgebenden Oberflächen, die diese Wärme wiederum abstrahlen und so zusätzlich auf den Menschen einwirken. Watkins 2007 bezeichnet diese Veränderung des Wärme-Austausches zwischen der Person und der Umgebung als *radiant temperature field* und betont, dass hierbei ein Temperaturunterschied zur Lufttemperatur von über 25°C erreicht werden kann. Thorsson (2007) bezeichnet die durch die Gesamtheit an Strahlung bedingte Oberflächentemperatur - ausgedrückt als mittlere Strahlungstemperatur (*mean radiant temperature*: T_{mrt}) - als einen der wichtigsten meteorologischen Faktoren für das thermische Wohlbefinden. Ausschlaggebend für den Wert ist die Öffnung des Freiraums zum offenen Himmel und somit der Grad an potentieller Ein- und Ausstrahlung (*sky view factor*) und das Verhältnis der Breite des Freiraums zu der Höhe der ihn umgebenden Bebauung hinsichtlich Grad und Winkel der Einstrahlung (H/W) (s. Abb. 3.4, S. 30). Bezogen auf die Situation in einer Straßenschlucht spielen z.B. neben der Gebäudehöhe Faktoren wie Vorgärten, Straßenbäume, Farbe und Design der Fassade eine Rolle. Mayer et al. (2008) benennen diese Faktoren als schwer zu kalkulierende '*small scale factors*'. Ali-Toudert hat sich mit ihren Studien auf eben diese Problematik spezialisiert.

Es gibt grundsätzlich drei verschiedene Methoden zur Messung des T_{mrt} Wertes: die Ausführung von integralen Strahlungsmessungen und daraus die Berechnung nach der Gleichung von Fanger unter Berücksichtigung der *angular factors* (z.B. Höpfe 1999, Ali-Toudert 2005), die direkte Messung unter Verwendung eines Globe-Thermometers oder die Simulation anhand komplexerer Berechnungsmodelle wie z.B. Ray Man, ENVI-met oder TownScope. Verschiedenen Studien zufolge stellt sich eine Berechnung für den Außenraum als zu komplex heraus. Auch die direkte Messung ist für Außenraumbedingungen nicht wirklich geeignet, da die Strahlungseinflüsse nicht homogen sind. Simulationsmodelle liefern grundsätzlich akkuratere Werte, weisen jedoch bei niedrigem Sonnenstand - also in den Morgen- und Nachmittagsstunden bzw. im Herbst - Ungenauigkeiten auf (Thorsson 2007). Außerdem sind mit dieser Methode meist höhere Kosten verbunden.

Der zusätzlich einkommenden Strahlungsenergie und der dadurch entstehenden Strahlungswärme der Oberflächen kann mit recht einfachen Mitteln entgegen gewirkt werden. Neben der Verschattung durch z.B. Vegetation, Vordächer und Sonnensegel wird die Relevanz der jeweiligen Oberflächenmaterialien in Bezug auf ihre thermischen Eigen-

schaften deutlich. Entscheidend ist auch der Wind hinsichtlich der Fortführung von oberflächlicher Wärme durch Konvektion.

Neben dem T_{mrt} wirkt sich auch die Lufttemperatur stark auf das thermische Wohlbefinden aus. Auf die Lufttemperatur kann jedoch nur schwer direkt Einfluss genommen werden. Wind und Strahlung stellen somit die wesentlichsten klimatischen Faktoren für das thermische Wohlbefinden dar.

3.5.2.2. Nicht-klimatische Faktoren

Unter die nicht-klimatischen Faktoren fallen persönliche Aspekte, die die Wahrnehmung der klimatischen Faktoren beeinflussen können. Laut Frank (1975) geht es um den Unterschied zwischen den physiologischen und intermediären Bedingungen. Zu Ersteren führt er an, dass Frauen z.B. empfindlicher auf Kälte reagieren als Männer, wobei das Kälteempfinden allgemein im Alter aufgrund des abnehmenden Stoffwechselumsatzes zunimmt. Da hohe Wärme- bzw. Kältebelastungen auf das Herz-Kreislaufsystem einwirken, spielt auch die körperliche Konstitution eine bedeutende Rolle. Unter den intermediären Bedingungen versteht Frank persönliche Aspekte, die in Wechselbeziehung mit den klimatischen Aspekten stehen. Es kann hier grob in aktive und passive Faktoren unterschieden werden: Aktiv kann der Mensch durch die Wahl seiner Kleidung und durch die Art und Intensität einer Tätigkeit (Stoffwechselaktivität) Einfluss nehmen. Hier spielen die oben genannten physiologischen Bedingungen eine entscheidende Rolle. Adaption kann sowohl aktiv (z.B. durch Training) als auch passiv stattfinden. Faktoren der Akklimatisation stehen wie jene der Adaption ebenfalls im Zusammenhang mit den physiologischen Bedingungen, sind aber kaum aktiv zu beeinflussen (in Laue 2009: 66ff.).

Brager und de Dear (1998) unterscheiden drei Kategorien: die verhaltenstechnische und die physiologische Kategorie (die zum großen Teil durch Franks physiologische und intermediäre Bedingungen abgedeckt sind) und zusätzlich die psychologische Kategorie (*behavioural, physiological und psychological feedbacks*).

Sie setzen dabei das verhaltenstechnische Feedback mit einer 'Adaption' gleich, d.h. mit einer bewussten oder unbewussten Anpassung an die klimatischen Rahmenbedingungen. Bei Unbehagen wird ein Signal zum Handeln ausgelöst. Dazu bieten sich verschiedene Reaktionen an: einerseits persönliches Handeln durch die Wahl der Kleidung, der Aktivität oder in Form eines Ortswechsels; technisches Handeln hinsichtlich einer Veränderung der Umgebung; und kulturelles Verhalten wie die Aufstellung eines Zeitplans (z.B. mit der Einführung einer mittäglichen Siesta) oder die Vorgabe eines bestimmten Kleidungs-codes. In der Kategorie der verhaltenstechnischen Faktoren liegt die größte Chance einer aktiven Rolle zur Verbesserung des Wohlbefindens (ebd.). Diese Kategorie stimmt mehr oder weniger mit den von Frank als intermediäre Bedingungen formulierten Faktoren überein.

Unter dem physiologischen Feedback verstehen Brager und de Dear Faktoren der Akklimatisation. Darunter fallen in langfristiger Betrachtungsweise genetische Adaptionsprozesse, aber auch kurz- und mittelfristige Akklimatisationsprozesse des Körpers im Sinne der Thermoregulation, also das Konstanthalten der Körpertemperatur z.B. durch Zittern

oder Schwitzen (ebd.). In diese Kategorie fallen die von Frank als physiologische Bedingungen formulierten Faktoren sowie bestimmte Aspekte der intermediären Bedingungen.

Als dritte Kategorie werden psychologische Feedbacks genannt. Diese werden definiert als Gewöhnung und als Erwartungshaltung und sind abhängig von den gesammelten Erfahrungen und der Sozialisierung der jeweiligen Person. Diese Faktoren sind sehr schwer zu erfassen und sind bislang wenig untersucht. Brager und de Dear sehen in ihnen aber eine mögliche Erklärung für individuelle Unterschiede in der thermischen Wahrnehmung (ebd.).

Bezogen auf die nicht-klimatischen Faktoren wird auch vom subjektiven Wohlbefinden gesprochen, das häufig nicht mit den theoretischen, berechenbaren Behaglichkeitswerten übereinstimmt. Die ›American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers‹ (ASHRAE) definiert das thermische Wohlbefinden daher nicht als festen Wert, sondern als einen Zustand von Zufriedenheit mit den thermischen Gegebenheiten: „*Thermal comfort is defined as that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment*“ (in Watkins 2007: 87). Dies bedeutet die Integration einer subjektiven und psychologischen Ebene, die eine Verwendung sozial-empirischer Datenerhebungen wie Interviews und Beobachtungen notwendig macht. Die Ergebnisse subjektiv empfundener Behaglichkeitswerte können dann im Vergleich zu den berechneten Behaglichkeitswerten herangezogen werden. Lin et al. haben dies für ihre Studie in Taiwan mit Umfragen durchgeführt. Dabei wurde der TSV (*thermal sensation vote*) erhoben, der das subjektive Wohlbefinden als Wert zwischen -3 und +3 angibt. Die Ergebnisse wurden dann mit den Werten verglichen, die anhand des Simulationsprogrammes Ray-Man berechnet wurden. Dabei konnte ein grundsätzlicher Unterschied des Behaglichkeitsbereiches von Mitteleuropäern zu Taiwanesen von ca. 8°C festgestellt werden. Dies bestärkt die Annahme, dass kulturelle Faktoren und die der Gewöhnung eine wichtige Rolle im subjektiven Wohlbefinden spielen und der Behaglichkeitsbereich je nach Region unterschiedlich ausfallen kann (Lin et al. 2010).

Im Zusammenhang mit den Wechselbeziehungen zwischen der Person und der Umwelt steht auch die Beeinflussung der Wahrnehmung durch sinnliche Aspekte, also z.B. die Ästhetik (inkl. Farben), Geräusche und Gerüche. Diese Ebene ist nur schwer zu erfassen, da sie vor allem psychologische Effekte des Empfindens beinhaltet: „... wie aber bei aller psychologischen Wissenschaft liegt (...) die Problematik darin, daß fast nichts beweisbar ist.“ (Küppers 1989: 21). Optische Reize haben grundsätzlich eine Auswirkung auf die jeweilige Stimmung der wahrnehmenden Person. Bekannt ist vor allem die psychologische und physische Wirkung von Farben. Dabei wird laut Lüscher-Test im Einflussbereich von violettblauer Farbe sowohl die Atmungsfrequenz als auch der Pulsschlag vermindert, was zu einer Empfindung von Kühle führen kann (ebd.: 21). Auch Licht hat psychologische Auswirkungen. Fezer hält z.B. fest, dass sich grünes Licht unter Bäumen positiv auf das Temperaturempfinden auswirkt, die Lufttemperatur als niedriger empfunden wird (Fezer 1995: 109). Lenzholzer und Koh (2010) untersuchen in ihrer Studie den Zusammenhang von Stadtgestalt und Temperaturempfinden und stellen eine signifikante Korrelation zwischen der räumlichen Konfiguration eines Stadtraumes und dem thermischem Empfinden der wahrnehmenden Person fest. Hier sind sicher kulturelle, aber auch psychologische Aspekte der sinnlichen Wahrnehmung von Bedeutung.

Zu den thermischen Auswirkungen anderer sinnlicher Aspekte wie z.B. Geräusche und Gerüche gibt es wenige Erkenntnisse. Bioklimatische Studien untersuchen meist nur die im Zusammenhang damit stehenden negativen Effekte (wie Lärm- und Geruchsbelästigung) auf das allgemeine Wohlbefinden. Positive Auswirkungen werden selten beachtet, da die sinnliche Wahrnehmung und ihre psychologischen Auswirkungen nur schwer nachweisbar sind. Hierin ist jedoch durchaus ein großes Potential zu sehen. Als Beispiel seien an dieser Stelle die verschiedenen sinnlichen Ebenen von Wasser und Vegetation zu nennen, die z.B. in der Gestaltung maurischer Gärten eine bedeutende Rolle gespielt haben.

3.5.3. Berechnungsmodelle und Indizes des thermischen Wohlbefindens

Modelle zur Berechnung des thermischen Wohlbefindens basieren auf der Gleichung zur Berechnung des Mikroklimas unter Einbeziehung der genannten persönlichen Faktoren wie Bekleidung und Aktivität. Frühe Ansätze beziehen sich dabei in erster Linie auf Innenraumbedingungen. Als Werte erhält man so z.B. den PMV (*predicted mean vote*) nach Fanger (1970). Die Behaglichkeit wird dabei auf die ausgeglichene Balance um den Wert 0 gesetzt. Das Spektrum geht von -3 (Kältestress) bis +3 (Hitzestress) (s. Tab. 3.4). Als weiteren Wert führte Fanger den Wert PPD (*predicted percentage of dissatisfied*) als Ausdruck der Wahrscheinlichkeit thermischer Unzufriedenheit an. Jendritzky erweiterte 1990 anhand seines Klima-Michel-Modells und der 'gefühlten Temperatur' den PMV-Index für den Außenraum. Auf der Basis des PMV integrierte Gagge in seine Gleichung die thermoregulierenden Prozesse des menschlichen Körpers und unterscheidet dabei den Körper an sich und die äußere Hautschicht (*two-node model*). Als Ergebnis erhält man so die auf den Innenraum anwendbaren Indizes ET (*new effective temperature*) und SET (*standard effective temperature*). Letzterer wurde durch Pickup und de Dear (1999) als Index OUT-SET für den Außenraum erweitert. Speziell für die thermische Behaglichkeit im Außenraum wurde 1984 das MEMI-Programm von Mayer und Höpfe entwickelt, das den sogenannten PET-Wert (*physiological equivalent temperature*) berechnet (s. Tab. 3.4). Das MEMI Modell basiert auf dem Modell von Gagge. Es unterscheidet neben dem Körper und der Hautschicht zusätzlich die Kleidungsschicht und behandelt die jeweiligen Energieflüsse zwischen diesen (in Ali-Toudert 2005).

PET	PMV	thermisches Empfinden	physiologische Belastungsstufe
		sehr kalt	extreme Kältebelastung
4 °C	- 3.5		
		kalt	starke Kältebelastung
8 °C	- 2.5		
		kühl	mäßige Kältebelastung
13 °C	- 1.5		
		leicht kühl	schwache Kältebelastung
18 °C	- 0.5		
		behaglich	keine thermische Belastung
23 °C	+ 0.5		
		leicht warm	schwache Wärmebelastung
29 °C	+ 1.5		
		warm	mäßige Wärmebelastung
35 °C	+ 2.5		
		heiß	starke Wärmebelastung
41 °C	+ 3.5		
		sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Tab. 3.4 : Einstufung des thermischen Befindens anhand der Indizes PET und PMV (nach Mayer 2004)

Mit Hilfe der Computer- und Simulationstechnik sind inzwischen sehr komplexe Berechnungen durchführbar. Die entsprechenden Programme befinden sich in laufender Weiterentwicklung und sind so in der Lage, sich den Außenraumbedingungen immer genauer anzunähern. Es gilt aber hier ebenso wie bei Simulationen zu Klimawandelszenarien, dass hier mit Annahmen und Vermutungen operiert wird, die nicht alle Einflussfaktoren ausreichend berücksichtigen können. Es handelt sich immer um eine vereinfachte Darstellung von Wahrscheinlichkeiten. Unterschiedliche Berechnungsmodelle und deren Indizes können dabei für ähnliche Untersuchungen abweichende Ergebnisse liefern.

In den gängigen Berechnungen zum thermischen Wohlbefinden wird zur Vereinfachung oft ein Standard-Wert für die unterschiedlichen Faktoren angenommen. Das betrifft vor allem die physiologischen und verhaltensbedingten Faktoren wie Alter, Geschlecht, Bekleidung und Aktivität. Ein Beispiel dafür ist das 'Klima-Michel-Modell' von Jendritzky, das von einer Standardperson (Michel: männlich, 35 Jahre, 1,75 m Körpergröße und 75 kg Körpergewicht) und einem standardisierten Verhalten (Gehen mit konstanter Geschwindigkeit von 4 km/h und witterungsbedingter Anpassung von leichter Sommer- und warmer Winterbekleidung) ausgeht. Je mehr Informationen zu den vorhandenen oder angestrebten Nutzungsstrukturen eines Freiraumes bekannt sind und wenn diese in die Berechnungen integriert werden, desto spezifischer kann auf die speziellen Bedürfnisse reagiert und eingegangen werden. Es handelt sich jedoch grundsätzlich immer nur um Annäherungen an gewisse Durchschnittswerte.

Brager und de Dear (1998) betonen, dass sich das *heat-balance model* und die *adapting models* gegenseitig ergänzen und dass ein großes Potential in einer Kombination beider Modelle liegt. Als Beispiel führen sie die Berücksichtigung der Aspekte Gewöhnung, Akzeptanz und Erwartung in ihrer Studie zur Bauklimatik an, die die Vorteile einer natürlicher Belüftung von Gebäuden gegenüber einer Klimatisierung durch Airconditioning untersucht.

Es muss bei Studien also eine Abwägung stattfinden, wie entscheidend akkurate lokale und individuelle Werte sind. Es kommt z.B. auf die Maßstabsebene, aber vor allem auf den Gestaltungsansatz an. Sollen generelle Aussagen für einen größeren Maßstab oder hinsichtlich einer Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf einen anderen Raum getroffen werden, so liegt eine Vereinfachung der Berechnung nahe. Computersimulationsprogramme stellen eine solche Vereinfachung dar. Es bleibt den jeweiligen Forscher/innen dabei überlassen, welche Faktoren als konstant und welche als veränderbar definiert werden. Die Auswahl des Simulationsprogrammes entscheidet darüber, mit welchem Index gearbeitet wird. Ali-Toudert (2005) stellt dazu einen Vergleich verschiedener für den Außenraum anwendbaren Indizes auf (PMV, PET und OUT-SET) und versucht diese, entsprechend ihren Vor- und Nachteilen, bestimmten Untersuchungsfragen zuzuordnen. Sie hält fest, dass der PMV und der OUT-SET vor allem dann geeignet sind, wenn subjektive Faktoren des Verhaltens im Untersuchungsvorhaben berücksichtigt werden sollen, also eine Kombination mit empirischer Sozialforschung angestrebt wird. PET und OUT-SET bieten sich einerseits aufgrund der Integration thermoregulativer Faktoren für extreme Bedingungen an und liefern andererseits im Vergleich von berechneten und subjektiven Behaglichkeitswerten sehr ähnliche Ergebnisse. Im direkten Vergleich dieser beiden Indizes stellt Ali-Toudert den PET als einen akkurateren und verlässlicheren Wert als den OUT-SET fest. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde zur weiteren Unter-

suchung die Version 4.0 des Programms ENVI-met ausgewählt, die die Möglichkeit zur Berechnung des auf den Außenraum angepassten PET-Wertes bietet.

3.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aufgrund der Stadtstruktur, der verwendeten Materialien und der zusätzlichen Wärme-
produktion unterscheidet sich das Klima der Stadt grundsätzlich von dem der Umgebung.
Die Auswirkungen auf die Oberflächentemperatur und den Windfluss führen zu einer fort-
schreitenden Erwärmung der Stadtstrukturen und zu einer Veränderung des gesamten
Wasserhaushaltes der Stadt. Das Stadtklima setzt sich dabei aus der Gesamtheit der
lokalen Klimate der einzelnen Stadträume zusammen. Die unmittelbare Umweltwahr-
nehmung findet auf der Ebene der einzelnen Freiräume statt, daher sind hier wichtige
Aspekte der Lebensqualität - wie z.B. das (thermische) Wohlbefinden - direkt betroffen.
Klimatische Faktoren wie Strahlung, Wind und Feuchtigkeit bestimmen ebenso das
Mikroklima wie die Oberflächenbeschaffenheit der Stadt (z.B. der Albedo, die Rauigkeit
und die thermischen Eigenschaften). Der Klimawandel und die Faktoren des Stadtklimas
verstärken sich dabei gegenseitig, das Klima der Städte eilt dem globalen Klimawandel
voraus.

Die Freiräume einer Stadt sind durch ihre großräumlichen Strukturen und durch die
Ausbildung ihrer speziellen mikroklimatischen Eigenschaften für das Stadtklima bedeu-
tend. Grünräume und Wasserflächen spielen dabei eine besondere Rolle. Sie erfüllen
eine Vielzahl von stadtklimatischen Funktionen und wirken sich grundsätzlich positiv auf
die städtische Wärmeinsel und den Wasserhaushalt der Stadt aus. Im Gegenzug ist die
Gestalt und Nutzbarkeit städtischer Freiräume in starkem Maß abhängig von der vorherr-
schenden (stadt)klimatischen Situation.

Die **Landschaftsarchitektur** kann Wesentliches zu einem angenehmen Mikroklima
beitragen - also auch zum thermischen Wohlbefinden:

1. Sie kann einerseits mit **strukturell gestalterischen Maßnahmen** direkt auf die
klimatischen Faktoren Einfluss nehmen. Dabei sind **jahreszeitliche Unterschiede**
z.B. der Sonneneinstrahlung, der Temperatur und der Windbedingungen zu
bedenken.
2. Sie kann andererseits durch eine **bewusste Materialwahl** auch auf die Oberflä-
chenbeschaffenheit Einfluss nehmen.

**Besonders positiv wirken sich dabei die 'Materialien' Vegetation und Wasser
auf das Mikroklima aus.** Der Anteil an Grün- und Wasserflächen ist somit ein
unverzichtbarer Faktor und zwar nicht nur, weil eine Verschärfung stadtklimati-
scher Entwicklungen damit vermieden wird (und in der Folge eine Verschärfung
des Klimas im Allgemeinen), sondern auch mit Blick auf die notwendige Anpas-
sung an die sich verändernden klimatischen Bedingungen innerhalb der Stadt-
strukturen.

3. Weiters gilt: je geringer der Luftaustausch in einem Freiraum, desto intensiver kann sich in ihm ein eigenes Mikroklima entwickeln. **In isolierten, umschlossenen Freiräumen kann demnach am effektivsten auf das Mikroklima Einfluss genommen werden.**

Für die Stadtplanung lässt sich in Bezugnahme auf diese Kriterien ein großes Potential von strukturell eingesetzten und gebäudeunabhängigen Vegetations- und Wasserelementen erschliessen. Sie ermöglichen die Implementierung der mikroklimatischen Wirkung dieser 'Materialien' und die vertikale Verteilung ihrer Kühlwirkung und Feuchtigkeit und zudem die Strukturierung des bestehenden Stadtraums, ohne dabei städtebaulich weiter zu verdichten.

Für die mikroklimatische Landschaftsarchitektur sind somit der bewusste Umgang mit Materialien und strukturelle Interventionen entscheidend. Dabei wird immer in Hinblick auf die Schaffung eines angenehmen Mikroklimas im Sinne des thermischen Wohlbefindens geplant. Eine genaue Berechnung des thermischen Wohlbefindens fällt aufgrund der Komplexität der Thematik schwer. Trotz großer Fortschritte in der Entwicklung der Simulationstechnik kann man sich aussagekräftigen Ergebnissen immer nur annähern. Als sinnvoller Index für das thermische Wohlbefinden im Freiraum hat sich dabei der PET-Wert herausgestellt.

4. Aktuelle Forschung zum Thema Stadtklima und Ansätze für die Stadtplanung

4.1 Einführung

Das Stadtklima und seine Zusammenhänge mit dem Mikroklima werden ab dem zweiten Drittel des 20. Jh. thematisiert (Geiger 1927/1961; Kratzer 1937). Ab den 60er Jahren werden umfassende Studien zu dem Thema häufiger (z.B. für das Ruhrgebiet). In diesen Arbeiten werden auch die Wechselbeziehungen zwischen städtischem Grünraum und Stadtklima besonders berücksichtigt. In den 70/80er Jahren folgen wichtige Arbeiten zu den Themen Bioklima und thermisches Wohlbefinden (z.B. Fanger 1970; Mayer 1984) und ab Ende der 80er Jahre die Übertragung der Erkenntnisse auf einen konkreten Planungsbezug (z.B. Lowry 1988; Brown und Gillespie 1995) (s. Tab. 3.1, S. 27). Die aktuelle Forschung greift nach wie vor auf Ergebnisse dieser Studien zurück.

In den letzten 10 Jahren (ca. ab 2000) befassen sich die Studien zunehmend mit dem Mikroklima im Sinne des thermischen Wohlbefindens und mit weiteren bioklimatischen Aspekten. Ein entscheidendes Kriterium für diesen Fokus ist die Weiterentwicklung in der Computertechnik, die eine Berechnung komplexer Zusammenhänge anhand von Simulationsmodellen vereinfacht. Peter Höppe, Helmut Mayer, Gerd Jendritzki, Andreas Matzarakis und Michael Bruse gaben hier wichtige Impulse (s. 3.5.3). Im vorliegenden Kapitel wird ein Überblick über europäische Forschungsprojekte und Forschungsprogramme gegeben, die sich seitdem explizit mit den Zusammenhängen zwischen Stadtklima, städtischem Freiraum und thermischem Wohlbefinden auseinandergesetzt haben. Es sollen dabei unterschiedliche Forschungsansätze, Motivationen und Tendenzen aufgezeigt werden. In der Folge werden die thematischen Schwerpunkte und Herangehensweisen betrachtet und daraus unterschiedliche Ansätze für die Stadtplanung kategorisiert. Dabei soll einerseits untersucht werden, welche allgemeinen Strategien bislang verfolgt und welche Methoden dazu angewandt wurden und andererseits welche Rolle dabei unterschiedliche Fachgruppen - insbesondere die Landschaftsarchitektur - spielen.

4.2 Aktuelle Forschung

4.2.1. Europäische Forschungsprojekte und Programme zu Stadtklima und Freiraum

Viele EU-Forschungsprojekte der letzten Jahre zum Thema städtischer Freiraum behandeln vorrangig das allgemeine Potential von städtischen Grünräumen mit Fokus auf ihre unterschiedlichen Funktionen. Klimatische Aspekte werden dabei angesprochen, jedoch selten explizit behandelt.

Im Rahmen des 5th Framework Programme, Key Action 4 'City of Tomorrow' (2001-2004) sind erstmals verschiedene Forschungsprojekte zum Thema parallel durchgeführt worden. Die Projekte haben dabei unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt: DEVELOPMENT OF URBAN GREENSPACES TO IMPROVE THE QUALITY OF LIFE IN CITIES AND URBAN AREAS (URGE 2004) mit Hauptaugenmerk auf dem Thema Nachhaltigkeit; die Studie GREENSPACE (2005) befasst sich mit der Qualität von städtischen Parks und Erholungsflächen im Sinne von Nutzerzufriedenheit, BENEFITS OF URBAN GREEN SPACE (BUGS 2004) mit dem Schwerpunkt Verkehr und den daraus resultierenden Belastungen. Allen Projekten ist die Entwicklung von Richtlinien bzw. Kriterien für den Planungsprozess gemein. Ein viertes Projekt – REDISCOVERING THE URBAN REALM AND OPEN SPACES (RUROS 2004) – behandelt explizit bioklimatische Aspekte und wird weiter unten genauer angeführt.

Weiters sind folgende europäische Projekte zu erwähnen: GREENKEYS AT YOUR CITY (Greenkeys 2008, Im Rahmen von Interreg) und URBAN SPACES. ENHANCING THE ATTRACTIVENESS AND QUALITY OF THE URBAN ENVIRONMENT (UrbSpace 2011, im Rahmen von 'Central Europe'), beide unter qualitativen Aspekten, wobei sich ersteres auf die Grünräume, UrbSpace dagegen auf die Gesamtheit aller städtischen Freiräume bezieht. Das Projekt GREENSTRUCTURE AND URBAN PLANNING (COST C11 2005) fokussiert auf die Wechselwirkungen zwischen 'grünem' und bebautem Stadtraum und spricht diesbezüglich Handlungsempfehlungen für die verschiedenen am Stadtplanungsprozess beteiligten Personengruppen aus. Klimatische Aspekte wurden dabei in erster Linie unter ökologischen Gesichtspunkten berücksichtigt.

Neben diesen allgemeinen Forschungsprojekten gibt es auch eine Reihe an Projekten, die sich spezifisch mit dem Thema des städtischen Freiraums und seiner Rolle für das Stadtklima auseinandersetzen. Das bereits erwähnte Projekt RUROS (2004) mit dem Fokus auf bioklimatische und soziale Aspekte kann als eine Art Überblick verstanden werden. Im Zentrum stehen hier Simulation und vor allem ihre Darstellung. So können Beobachtungen zu Themen wie Wind, Strahlung, Stadtmorphologie und Wohlbefinden in Bezug auf Temperatur, Licht und Lärm im Planungsprozess frühzeitig berücksichtigt werden.

Das Forschungsprojekt ADAPTATION STRATEGIES FOR CLIMATE CHANGE IN THE URBAN ENVIRONMENT (ASCCUE 2006) im Rahmen von 'Building Knowledge for a Changing Climate' (BKCC) untersucht die Auswirkungen des Klimawandels auf unterschiedliche Aspekte des städtischen Freiraums. Es stellt die erste umfassende Studie für den städtischen Raum zu diesem Thema dar. Ziel war die Entwicklung und Überprüfung von stadtplanerischen und gestalterischen Adaptionsstrategien, wobei der Schwerpunkt auf der Bewusstseinsbildung für eine klimasensitive Stadtplanung lag.

Das Projekt PLANERISCHE STRATEGIEN UND STÄDTEBAULICHE KONZEPTE ZUR REDUZIERUNG DER AUSWIRKUNGEN VON KLIMATISCHEN EXTREMEN AUF WOHLBEFINDEN UND GESUNDHEIT VON MENSCHEN IN STÄDTEN (KLIMES 2010 im Rahmen von 'Klimazweik' des BMBF, Mayer 2008) konzentriert sich auf die Kriterien für thermisches Wohlbefinden in städtischen Freiräumen am Beispiel der Stadt Freiburg. Das Projekt beinhaltet einerseits experimentelle Untersuchungen zur Nutzung von Freiräumen und zum thermischen Empfinden und führt andererseits numerische Simulationsberechnungen zur thermischen Belastung unter derzeitigen und proj-

zierten Klimabedingungen durch. Ziel ist eine Abstimmung der angewandten Methoden untereinander im Sinne effektiverer Strategien in der Stadtplanung.

Das Projekt ASPERN DIE SEESTADT WIENS - NACHHALTIGE STADTENTWICKLUNG (aspersn Plus 2011 im Rahmen von ›Haus der Zukunft Plus‹) ist direkt an den Stadtentwicklungsprozess der ›Seestadt Aspern‹ in Wien angegliedert. Im Subprojekt FREIRAUM UND MIKROKLIMA sollen anhand von Simulationen unter den derzeitigen und projizierten Klimabedingungen konkrete Maßnahmen für die Freiraumgestaltung hinsichtlich Aufenthaltsqualität und Energieeffizienz der angrenzenden Bebauung erarbeitet werden. Die Ergebnisse sollen in Form von mikroklimatischen Kriterien direkt in den Bauträgerwettbewerb einfließen.

Das Projekt URBAN FABRIC TYPES AND MICROCLIMATE RESPONSES - ASSESSMENT AND DESIGN IMPROVEMENT (UFT-ADI, 2011-2013) im Rahmen des ›Austrian Climate Research Programme‹ (ACRP) untersucht explizit die Zusammenhänge zwischen der Gestaltung städtischer Freiräume und dem daraus resultierenden Mikroklima. Das Projekt versucht anhand einer Typologisierung bestimmter Freiraumvarianten, am Beispiel der Stadt Wien, eine Art Prioritätenkatalog für einfache und effektive Maßnahmen zur Verbesserung des lokalen Klimas zu erarbeiten, der auch auf andere Städte übertragbar sein soll.

In mehreren der genannten Projekte kommt das Programm ENVI-met zur Anwendung, welches auch in der vorliegenden Arbeit für die Durchführung der Simulationen ausgewählt wurde (s. Kapitel 6).

4.2.2. Forschungsarbeiten zum Thema thermisches Wohlbefinden im städtischen Freiraum

In den letzten Jahren haben sich verstärkt junge Forscherinnen und Forscher mit dem thermischen Wohlbefinden im Stadtraum auseinandergesetzt. Die folgende Auswahl an aktuellen Dissertationen bestätigt die Relevanz des Themas. In einigen Arbeiten fand das Programm ENVI-met in verschiedenen Entwicklungsphasen (Versionen) Anwendung. Die Autorinnen und Autoren sind zudem in aktuelle Forschungsprojekte eingebunden, zum Teil auch in den oben angeführten (s. 4.2.1).

Die Arbeit »Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate« von Fazia Ali-Toudert (2005) wurde am Meteorologischen Institut der Universität Freiburg geschrieben. Sie untersucht auf einer quantitativen Basis anhand von Messreihen und Simulationen die Auswirkung unterschiedlicher Straßenquerschnitte auf das thermische Wohlbefinden. Der Fokus liegt dabei auf dem subtropischen Raum (am Beispiel der Stadt Beni-Isguen in Algerien). Die Simulationen wurden mit ENVI-met 3.0 durchgeführt.

An der School of Environment and Development von Manchester entstand die Arbeit von Susannah Elizabeth Gill mit dem Titel »Climate change and urban greenspace« (2006). Sie befasst sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die städtischen Grünräume und deren Potential für eine Adaption an die veränderten Klimabedingungen. Dazu wurde am Fallbeispiel Manchester u.a. eine Typologisierung der Freiräume in Bezug auf Oberflächenerwärmung und Oberflächenwasserabfluss durchgeführt und in Relation zu den

Eigenschaften der jeweiligen Grünräume gesetzt. Gill war mit ihrer Arbeit direkt in das ASCCUE-Projekt eingebunden.

Hendrik Matthias Laue bearbeitete das Thema »Gefühlte Landschaftsarchitektur – Möglichkeiten der thermischen Einflussnahme in städtischen Freiräumen« (2009) am Fachbereich Landschaftsarchitektur der Universität Kassel. Die Arbeit geht an das Thema mit Hilfe von Simulationen zu Raumeinheit und Materialien im Stadtraum heran und behandelt dabei die Beispiele Kassel und Göteborg. Außerdem werden experimentelle Gestaltungsentwürfe zur Stadtmöblierung durchgeführt. Letzteres fand im Rahmen eines Entwurfseminars mit Studierenden statt. Für die Simulationen wurde ENVI-met 3.1 und teilweise 4.0 verwendet. Laue ist in das KLIMES Projekt eingebunden.

Die Dissertation von Sandra Lenzhölzer »Designing atmospheres. Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares« wurde von den Fachbereichen für Landschaftsarchitektur und Meteorologie an der Wageningen University betreut und 2010 fertig gestellt. Lenzhölzer untersucht dabei eine mögliche Korrelation zwischen der Gestalt des gebauten Freiraums und dem subjektiven thermischen Wohlbefinden. Zur Bearbeitung der Forschungsfrage wählte Lenzhölzer unterschiedliche Methoden, die sie in die drei Kategorien *'research on design'* (Literaturrecherche und Begehungen), *'research for design'* (empirische Untersuchungen durch Befragungen und Messreihen) und *'research by design'* (Gestaltungsentwurf und Überprüfung anhand von Simulationen) zusammenfasst. Die Überprüfung fand mit ENVI-met 3.0 statt.

Die Autorin der vorliegenden Arbeit ist in die Projekte ASPERN PLUS und URBAN FABRIC TYPES AND MICROCLIMATE RESPONSES - ASSESSMENT AND DESIGN IMPROVEMENT eingebunden.

4.2.3. Politisch motivierte Studien

Hier soll eine Auswahl an institutionellen Berichten angeführt werden, die wichtige Impulse für die Thematisierung klimatischer Aspekte für die Stadt gegeben haben.

Der Abschlussbericht des »International Panel of Climate Change« (IPCC 2007) und der »Stern-Report« (2007) wurden bereits mehrfach im Zusammenhang mit dem Thema Klimawandel und Nachhaltigkeit erwähnt. Die Berichte behandeln die globalen Zusammenhänge des Klimadiskurses (Makroklima), verweisen aber auch auf die bedeutende Rolle der Städte (Mesoklima).

Die folgenden Beispiele beziehen sich konkret auf die Stadt London. Aufgrund der geographischen Lage Londons stellt hier das ozeanisch geprägte Klima eine Besonderheit dar, trotzdem können die Erkenntnisse zu einem großen Teil auch auf andere europäische Städte übertragen werden. So lassen sich neben der Untersuchung der verschiedenen Aspekte für London eine Vielzahl an interessanten Referenzbeispielen und Planungsansätzen im Sinne von *'best-practice'* aus anderen Ländern und Städten Europas finden.

Die »London Climate Change Partnership« (LCCP) hat 2002 einen umfassenden Bericht zu den sozialen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels auf

eine Stadt herausgegeben. Der Fokus liegt dabei auf der Erwärmung Londons und den damit verbundenen Risiken. Der Report stellt die erste Begutachtung dieser Aspekte explizit für ein Stadtzentrum dar. In der Folge wurde daraus gemeinsam mit der ›Greater London Authority‹ (GLA) ein Leitfaden für die Stadtplanung unter dem Titel »Adapting to climate change: a checklist for development« entwickelt (LCCP 2005).

Die ›Town and Country Planning Association‹ (TCPA) hat im Laufe der letzten Jahre drei praxisbezogene Veröffentlichungen der Reihe »by Design. A guide for sustainable communities« herausgegeben, die sich mit dem Thema der nachhaltigen Stadtentwicklung befassen: »Biodiversity by design« (2004), »Sustainable energy by design« (2006) und »Climate change adaptation by design« (2007).

4.3 Ansätze für die Stadtplanung

Grundsätzlich ist die Bedeutung des städtischen Freiraums (insbesondere der Grün- und Wasserflächen) für das Stadtklima anerkannt. Diese Thematik wird aber nach wie vor viel zu wenig in den tatsächlichen Planungsprozess integriert.

Die Thematisierung des Klimawandels und der Nachhaltigkeit hat das Interesse am und die Beschäftigung mit dem Thema Stadtklima - besonders seit der Konferenz in Lissabon – grundsätzlich gefördert. Mit Erscheinen der Berichte des IPCC (2007) und des »Stern-Report« (2007) bzw. durch die nachfolgende mediale Aufbereitung wurde dies nochmals verstärkt und der direkte Zusammenhang zwischen Klima, Nachhaltigkeit und Lebensqualität betont.

Grundsätzlich lassen sich aus den Studien des letzten Jahrzehnts drei unterschiedliche Ansätze beobachten: a) die Steigerung des Grünanteils in der Stadt; b) eine klimasensitive bzw. klimaangepasste Stadtplanung; c) die Förderung des Klimabewusstseins. Zwischen diesen Kategorien lassen sich viele Überschneidungen bzw. parallele Ansätze finden. So ist eine klimasensitive Stadtplanung immer auch unter Aspekten der Bewusstseinsbildung und unter Einbeziehung der Bedeutung von Grünflächen für das Stadtklima zu betrachten.

4.3.1. Steigerung des Grünanteils

Zu diesem Thema gibt es eine Vielzahl an Studien, die belegen, dass ein erhöhter Grünanteil grundsätzlich eine positive Auswirkung auf das Stadtklima und auf eine angestrebte nachhaltige Entwicklung hat. Seitz hielt bereits 1974 eine klare Beziehung zwischen dem Anteil an Grün und dem Grad an Erwärmung von verschiedenen Siedlungstypen fest (s. Abb. 3.8, S. 37).

Mit Entwicklung der Simulationsmodelle wurden auch Studien zu stadtklimatischen Aspekten unter den Bedingungen bestimmter Szenarien und vor dem Hintergrund der fortschreitenden klimatischen Veränderungen möglich. Das ASCCUE-Projekt (2007) stellt z.B. die Beziehung zwischen Oberflächentemperatur und Oberflächenwasserabfluss am Fallbeispiel Manchester dar und zwar unter Verwendung verschiedener Klimaszenarien

(aktuelles und zukünftiges Klima) und der städtischen Grünflächen. Untersucht wurde der Einfluss von Zu- bzw. Abnahme von Grünflächen, wobei auch begrünte Dachflächen explizit berücksichtigt wurden. Bei einer Abnahme des städtischen Grünraums um 10% wurde eine Erwärmung um bis zu 2,8°C bis 2080 prognostiziert. Als Schlussfolgerung fordert das Projekt den Erhalt und die Schaffung neuer Grünflächen und ein Umdenken in der Pflanzenverwendung in Richtung trockenheitsresistenter Arten. Ziel ist die Schaffung eines funktionalen Netzwerkes an Grünflächen: das so genannte 'patch-corridor-matrix model' (Forman und Godron, 1986).

Es geht also sowohl um den Erhalt von bestehenden Grünflächen als auch um die Schaffung neuer Grünflächen und ihre Vernetzung. Dazu gibt es verschiedene Ansätze, die Anreize zu einer Erhöhung des Vegetationsanteils bieten sollen.

Ong schlägt grundsätzlich die Einführung einer Grünflächenzahl (*green plot ratio*: GPR) vor, die der gängigen Gebäudeflächenzahl (*building plot ratio*: BPR) gegenüber gestellt werden soll (Ong 2003). Aufgrund ihrer vielseitigen Funktionen versteht er die Vegetation als Schlüsselfaktor für eine nachhaltige Stadtentwicklung und sieht im GPR ein geeignetes Instrument zur Bestimmung der Mindestanforderung an eine ökologische Verantwortung – und zwar von der frühen Phase des Masterplans an bis hin zur Gestaltungsplanung. Der GPR basiert auf dem Blattflächenindex (*leaf area index*: LAI) und ergibt sich aus der Gesamtheit der vorhandenen Vegetation, wobei unterschiedliche Vegetationsarten verschiedene LAI-Werte aufweisen: von der Bepflanzung mit Rasen, Stauden, Büschen bis zu Bäumen ansteigend.

Auch Fezer befindetet, dass ein festgeschriebener Anteil an Grün- und Freiräumen bei neuen Bauvorhaben sinnvoll ist. Im übrigen hält er auch die Notwendigkeit der allgemeinen Sanierung bestehender Stadtviertel im Wortsinn von *sanare* (heilen) fest (Fezer 1995: 133).

Ein weiterer interessanter Ansatz ist die Integration von Vegetation innerhalb der Architektur (*skygardens*, Ong 2003). Obwohl Ong grundsätzlich die Bedeutung von Artenvielfalt betont, kann die allgemein gehaltene Bestimmung der GPR eine ökologische oder gestalterische Qualität nur unzureichend berücksichtigen.

Andere Ansätze verfolgen die Implementierung konkreter 'Grünfaktoren', die neben der quantitativen auch qualitative Aspekte integrieren. Einige haben die Aufwertung des Bestandes zum Ziel (s. Beispiel Berlin), andere dagegen befassen sich mit den Rahmenbedingungen für neue Stadtentwicklungen (s. Beispiel Malmö). Einen guten Überblick bietet der Bericht des TCPA (2004), wobei hier vor allem Aspekte der Biodiversität angesprochen werden. An dieser Stelle soll exemplarisch auf die zwei genannten Städtebeispiele eingegangen werden.

In Berlin werden finanzielle Anreize für die Aufwertung von Hinterhöfen im Altbestand geboten. Vorrangiges Ziel ist die Entsiegelung der Hinterhofflächen und eine möglichst hohe Integration von Vegetation. Der sogenannte Biotop-Flächen-Faktor (BFF) dient als Kriterium der Einstufung für die Förderung. Dabei werden bei den Oberflächen der Versiegelungsgrad und bei der Vegetation die verschiedenen Arten des Unterbaus und die Wuchsformen für den BFF angerechnet. Besonders interessant ist dabei, dass auch

begrünte Fassaden und die Regenwasserversickerung von den Dachflächen berücksichtigt und direkt in den Faktor integriert werden (<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff>).

Die Stadt Malmö erstellte im Rahmen der Internationalen Bauausstellung 2001 (Bo01) eine Liste von 35 ökologischen Kriterien. Die Kriterien umfassten Aspekte wie die Erhöhung des Grünanteils, des Lebensraums für Flora und Fauna, der Artenvielfalt, die Anlage von Biotopen, etc. Von diesen so genannten 'green points' mussten mindestens 10 in den neuen Bauvorhaben erfüllt werden. Die Auswahl der Kriterien lag bei den jeweiligen Bauträgern (TCPA 2004: 31). Unter diesen Vorgaben ist ein bemerkenswert vielfältiger Stadtteil entwickelt worden, der international große Beachtung gefunden hat und nach wie vor Ziel vieler Fachexkursionen ist.

Auch hier spielen Dach- und Fassadenflächen eine wichtige Rolle. Ihr Potential gewinnt allgemein in aktuellen Studien verstärkte Beachtung. So untersucht z.B. das Projekt LIVING SKINS im Rahmen der Initiative ›EcoDensity‹ der Stadt Vancouver anhand von Vergleichsanalysen und mit Hilfe des *Energy 10 simulation programme* die Tauglichkeit von Grünfaktoren. Es werden u.a. unterschiedliche Fassadenbegrünungen auf eine Reduzierung des Oberflächenabflusses hin getestet. Das so bestätigte Potential der Dach- und Fassadenflächen für nachhaltige Entwässerungssysteme (*sustainable urban drainage systems*: SUDS) verdeutlicht das ökonomische Potential von Grünfaktoren ebenso wie Aspekte der Isolation im Sinne der Gebäudeeffizienz (Roehr und Laurenz 2008).

4.3.2. Klimasensitive Stadtplanung

Die Stadtentwicklung muss angesichts der klimatischen Veränderungen in vielerlei Hinsicht umdenken. Wilby fordert z. B. eine adäquate Architektur und eine klimasensitive Stadtgestaltung. Zu letzterer gehören z.B. das Vermeiden von Risikogebieten, die Aufnahme von Klimaausgleichsmaßnahmen und eine Ausweitung von Grünflächen für Kühlung und Überflutungsschutz (Wilby 2007).

Weitere wichtige Aspekte sind die Gebäudekonstellation und -form, die verwendeten Materialien und die konkrete Ausgestaltung der Freiräume. So betonen Watkins et al. (2007) in ihrer Studie über London die Notwendigkeit einer Erhöhung des städtischen Albedos, die Notwendigkeit einer zusätzlichen Verschattung und die Notwendigkeit des Erhalts bestehender und der Schaffung neuer Grünräume und Belüftungsschneisen. Sie betonen weiterhin die Notwendigkeit einer ausreichenden Wasserbereitstellung bei gleichzeitiger Verwendung trockenheitsresistenter Vegetation sowie die Sicherung eines hohen Anteils an versickerungsfähigen Oberflächen.

Überlegungen zur Stadtgestalt aus anderen Ländern und Kulturen können bei der Anpassung an die sich verändernden Klimabedingungen wichtige Hinweise bringen. Fezer führt hier z.B. die traditionell hohe und enge Bebauung im mediterranen Raum sowie die zusätzliche Beschattung und die Berücksichtigung von wichtigen Belüftungsschneisen an (Fezer 1995: 165). In heißen und trockenen Klimaregionen spielen diese Aspekte grundsätzlich eine entscheidende Rolle. Ali-Toudert untersucht in diesem Zusammenhang

verschiedene Straßenquerschnitte in einer algerischen Stadt bezogen auf die Erwärmung des Stadtraumes und auf das thermische Wohlbefinden (Ali-Toudert 2005).

Entscheidend bei der Entwicklung neuer innovativer Strategien ist der enge Zusammenhang zwischen Tradition, Forschung und Stadtplanung. Ein herausragendes Beispiel für einen solchen integrativen Ansatz ist das Stadtentwicklungsprojekt ›Masdar City‹ in Abu Dhabi, in dem das Vorhaben einer 'CO₂-neutralen Wissenschaftsstadt' verfolgt wird. Hier soll unter Berücksichtigung einer traditionellen Bauweise eine nachhaltige Stadtgestaltung erreicht und modernste Technik implementiert werden (<http://www.masdar.ae/en/home/index.aspx>).

Das Projekt WATERPLAN² der Stadt Rotterdam zeigt, wie die innovative Gestaltung der öffentlichen Freiräume auf die sich verändernden Klimabedingungen reagieren kann. Es werden dabei sogenannte 'water plazas' in den städtischen Freiraum integriert, die bei einer Überflutung das anfallende Oberflächenwasser aufzufangen vermögen. Die temporären Veränderungen sind bereits im Entwurf berücksichtigt, es entstehen flexible, variable Freiraumgestaltungen, die sich den äußeren Bedingungen 'passiv' anpassen können. (s. Abb. 4.1)

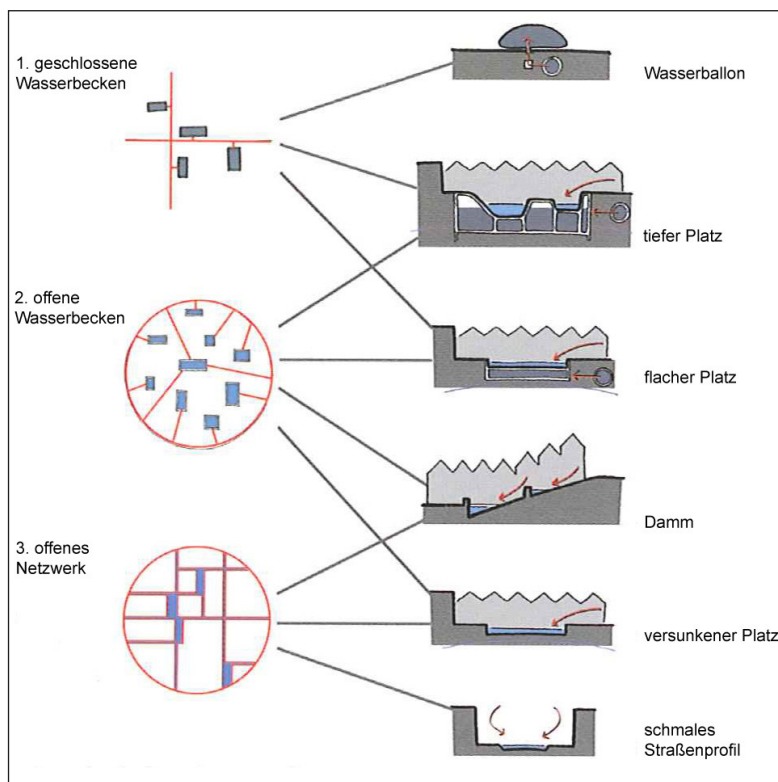


Abb. 4.1 : Konzept der water plazas (nach Jacobs 2007)

Eine andere Herangehensweise an flexible Stadtgestaltung ist die Implementierung von veränderbaren Möblierungen, deren einfachste Form Elemente sind, die sich direkt durch die Nutzer/innen verschieben oder drehen lassen, um damit z.B. Wind oder Sonneneinstrahlung abzublocken bzw. zuzulassen. Interessante Beispiele dazu werden von Lenzhölzer (2010) und Laue (2009) angeführt (s. Abb. 4.2). Laue untersuchte zudem

gemeinsam mit Studierenden die Möglichkeit, anhand eines integrierten Wasserzulaufsystems die Oberflächeneigenschaft einer Möblierung temporär zu verändern.

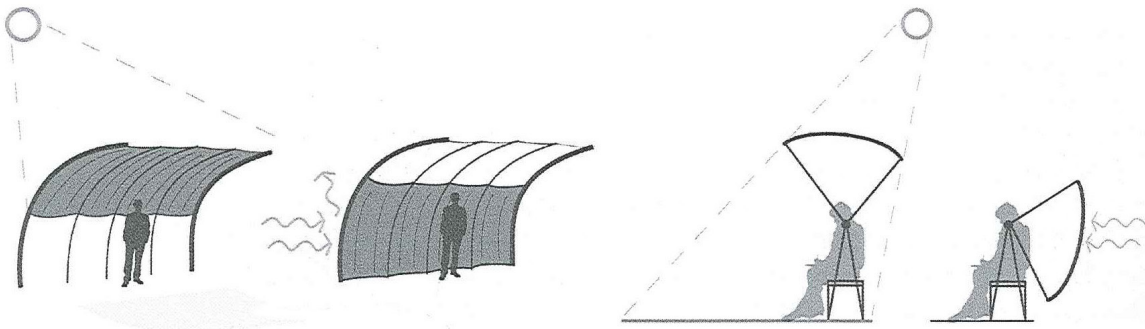


Abb. 4.2 : Gestaltungsvorschläge für eine Klima-flexible Stadtmöblierung (Lenzhölzer 2010)

Komplexer sind dagegen 'intelligente' Gestaltungselemente, die sich den jeweiligen Klimabedingungen automatisiert ('aktiv') anpassen. Als Beispiel dafür bieten sich die vom ›Laboratory for Visionary Architecture‹ (LAVA) konzipierten Sonnenkollektoren für den Hauptplatz der bereits erwähnten Masdar City an, die tagsüber Sonneneinstrahlung auf der frequentierten Stadtoberfläche abblocken, während sie gleichzeitig als Sonnenkollektoren fungieren. Nachts schließen sich die Schirme und lassen eine höhere Ausstrahlung und somit Kühlung der Freiraumoberflächen zu. Darüber hinaus dienen sie nachts als Beleuchtungselemente (Rau 2010).

Städte müssen nicht nur an den Klimawandel angepasst, sondern es muss auch ihr Einfluss auf die lokale und globale Umwelt verringert werden (Hunt 2004). Dabei sind die oben erwähnten städtischen Grünräume, aber auch die Entwicklung und der Einsatz von neuen Techniken zur Verringerung des Energieverbrauchs (z.B. erneuerbare Energie und Niedrig-Energie-Häuser) entscheidend. Hunt geht von einer möglichen Halbierung des Energieverbrauchs und somit einer deutlichen Reduktion des Einflusses auf die globale Erwärmung aus. Der bewusste Einsatz von Vegetation kann diesen Ansatz in vielerlei Hinsicht unterstützen. Einerseits durch begrünte Dach- und Fassadenflächen, die sowohl zum Schutz und zur Isolierung der Gebäude als auch als Überflutungsschutz und zur Wasserspeicherung dienen (Brown und Gillespie 1995 81ff.; Fezer 1995: 147ff.; Roehr und Laurenz 2008). Andererseits durch die Beeinflussung des lokalen Klimas rund um das Gebäude. Brager und de Dear (1998) führen zudem Vorteile wie Kosten- und Energieersparnis und die Steigerung des Wohlbefindens an, die durch eine natürliche Lüftung von Gebäuden erreicht werden – im Vergleich zu einer künstlichen Klimatisierung. Entscheidender Faktor ist dabei die deutlich kühlere Außenluft. Das bedeutet, dass auch Gestalt und Materialien des angrenzenden Freiraumes thematisiert werden. Zudem können Bäume zur Verschattung der Fassaden eingesetzt werden, wobei der Vorteil von Laubbäumen darin liegt, dass sie im Winter die wärmende Sonnenstrahlung hindurch lassen und somit jahreszeitlich auf die jeweiligen Bedürfnisse reagieren. Zusätzlich gibt es auch technische Entwicklungen in Form von automatisierten Ansätzen in der Fassadengestaltung, bei denen 'intelligente' Lamellen für eine automatische Verschattung des Innenraumes sorgen und gleichzeitig als Sonnenkollektoren zur Energieversorgung fungieren.

4.3.3. Bewusstseinsbildung

Eine interdisziplinäre Studie aus dem Jahr 2000 belegt, dass klimatische Aspekte kaum Eingang in den Planungsprozess finden. Als Gründe dafür führt die Studie Kommunikationsprobleme, Interessenskonflikte, wirtschaftliche Interessen, Wissenslücken, geringe Priorität, politische Umstände und zeitliche Faktoren an. Diskussionen mit Expertengruppen und Umfragen erbrachten, dass grundsätzlich der Wille zum Handeln gegeben ist, eine Umsetzung jedoch nicht stattfindet (Eliasson 2000). Seit Abschluss dieser Studie ist eine Vielzahl von weiteren Studien erschienen, die versuchen, das Thema Freiraum und Mikroklima bewusst zu machen. Eine konkrete Integration klimatischer Aspekte in die Stadtplanung findet jedoch nach wie vor nur selten statt. Aktuelle Großprojekte, die explizit Aspekte der Nachhaltigkeit und des Mikroklimas in ihrer Entwicklung berücksichtigen, wie z.B. ›Masdar City‹ oder auch das Stadtentwicklungsprojekt der ›Seestadt Aspern‹ in Wien, werden (hoffentlich) eine wichtige Vorbildfunktion einnehmen und zur Bewusstseinssteigerung sowie zur vermehrten Umsetzung der Erkenntnisse beitragen.

Die Studie von Eliasson verdeutlicht, dass der Wissensaustausch und die Kommunikation zwischen den am Planungsprozess beteiligten Personengruppen sehr wichtig sind. Es ist daher entscheidend, eine gemeinsame Diskussionsgrundlage zu schaffen. Dies kann u.a. durch das Anführen konkreter Beispiele erreicht werden. Pauleit und Duhme (2000) untersuchten am Beispiel von München verschiedene Oberflächentypen auf ihre Versiegelung, Vegetation, Dichte, Hydrologie, etc. und stellten dabei z. B. Korrelationen zwischen versiegelter Fläche und dem Phänomen der innerstädtischen Wärmeinsel sowie zwischen versiegelter Fläche und einer Zunahme an Oberflächenwasserabfluss fest. Durch diese Typologisierung wurde eine Vergleichbarkeit verschiedener Städte im Sinne von 'best practice' ermöglicht. Diese Methode kann dabei helfen, Standards und Ziele für die Stadtplanung festzulegen, die für alle beteiligten Personen nachvollziehbar sind.

An Argumentationskraft gewinnen solche Ansätze, sobald sie im Zusammenhang mit ökonomischen Vorteilen und dem menschlichem Wohlbefinden bzw. der Lebensqualität stehen (Pauleit und Duhme 2000), d.h. wenn eine Notwendigkeit bzw. ein Nutzen - auch für den Einzelnen - klar erkennbar ist (s. 2.3.4, S. 20). Neben den Planungsinstanzen und Entscheidungsverantwortlichen werden hier auch die Nutzerinnen und Nutzer angesprochen und in die Verantwortung einbezogen. Wilby fordert von allen Mitgliedern der Wohnbevölkerung eine Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und ein angepasstes Nutzverhalten (Wilby 2007). Dabei leisten internationale Veranstaltungen und Ausstellungen zur Bewusstseinsförderung ihren Beitrag, da sie potentiell eine breite Masse der Wohnbevölkerung erreichen und für das Thema interessieren können. Unter anderem haben folgende erfolgreiche, großangelegte 'Events' das Thema Nachhaltigkeit und Klimawandel für die Stadt aufgegriffen: ›Mensch, Natur und Technik – eine neue Welt entsteht‹ (EXPO 2000, Hannover); ›Ecological sustainability‹ (IBA 2001, Malmö); ›Better city – better life‹ (EXPO 2010, Shanghai) ›Stadt im Klimawandel‹ (IBA 2013, Hamburg, in Planung). Einfache und effektive Ansätze zur 'persönlichen Anpassung' an klimatische Veränderungen lassen sich anhand von Nutzverhalten in Ländern mit heißem und trockenem Klima finden. Ein Beispiel dazu ist die Tradition der mittäglichen Siesta in Spanien, die aufgrund der zunehmenden Klimatisierung von Innenräumen allerdings immer weiter verloren geht. Eine besonders naheliegende Strategie stellt die Verlagerung

des Aufenthaltes im Freien auf die Abendstunden dar, wie es im gesamten mediterranen Raum üblich ist.

4.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Für die Untersuchung von klimatischen Aspekten werden unterschiedliche Methoden parallel angewandt. Am häufigsten ist hierbei die Durchführung naturwissenschaftlicher empirischer Untersuchungen mit Hilfe von Messreihen und Simulationen. Einige Arbeiten versuchen, eine Verknüpfung mit sozial-empirischen Methoden wie Befragungen und Beobachtungen herzustellen, um somit auch die subjektive (Nutzungs-)Ebene zu berücksichtigen. Andere Arbeiten integrieren die gestalterische / planerische Ebene mit Hilfe von Experimenten, die sie wiederum mit Messreihen und Simulationen überprüfen.

1. Studien haben gezeigt, dass klimatische Aspekte in konkreten Stadtplanungsprozessen nach wie vor zu wenig berücksichtigt werden. Aktuelle Forschungsarbeiten verfolgen diesbezüglich verschiedene Ansätze von (vor allem gestalterischen)

Strategien zur Implementierung klimatischer Aspekte in der Stadtplanung:

- a. Die grundsätzliche **Erhöhung des Anteils städtischer Grünflächen**

Bei Strategien zur Steigerung des Grünanteils stehen häufig quantitative Aspekte im Vordergrund. Qualitative Ansätze wie in den angeführten Beispielen Berlin oder Malmö verfolgen eher ökologische Ziele als Aspekte der Ästhetik oder der Aufenthaltsqualität. 'Grünfaktoren' sind grundsätzlich wichtig für die 'nachhaltige' Stadtentwicklung. Die Ausweitung eines solchen Planungsinstruments auf den öffentlichen Freiraum könnte äußerst produktiv sein. Begrünte Fassaden wären z.B. ein wichtiges Element. Eine Steigerung des Grünanteils ist meist mit der Umwandlung städtischer Oberfläche in Vegetationsfläche verbunden. Innerhalb des dichten Baubestandes sind sowohl die Überwärmung als auch der soziale Nutzungsdruck auf den Freiraum am höchsten. Diese innerstädtischen Freiräume in Parks und Wasserflächen umzuwandeln, kann aber nicht die Patentlösung sein, da die sozialen Strukturen gerade hier auch 'urbane' freie und offene Freiräume verlangen, die in Bezug auf potentielle Nutzungen und Veränderungen flexibel bleiben müssen. Fassadenbegrünungen nehmen wenig Bodenfläche ein, bringen aber den mikroklimatischen Effekt von Vegetation auf einer großen Oberfläche in den vertikalen Raum und haben zudem einen signifikanten Einfluss auf die Energieeffizienz des jeweiligen Gebäudes. Sie wirken sich allerdings nur wenig auf die städtebauliche Struktur und die klimatischen Einflussfaktoren in den angrenzenden Freiräumen aus und sind daher nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

- b. Die **klimasensitive Stadtgestaltung** im Sinne von stadtstrukturellen Interventionen

Unterschiedliche Ansätze der klimasensitiven Stadtgestaltung können als stadträumliche und strukturierende Interventionen den erlebbaren Raum

prägen. Dabei sind insbesondere auch Aspekte des Wohlbefindens angesprochen. Flexible anpassungsfähige Gestaltungsansätze werden für eine 'nachhaltige' Stadtentwicklung eine zunehmende Rolle spielen (müssen).

- c. Die **Förderung des Bewusstseins für klimatische Belange** allgemein und in Stadtplanungsprozessen im besonderen

Das Klima-Bewusstsein stellt eine übergeordnete Ebene dar. Es ist als eine Grundvoraussetzung anzusehen, denn ohne ein solches Bewusstsein sind Maßnahmen wie die oben erwähnten nicht umsetzbar. Bewusstseinsförderung nimmt daher eine besonders wichtige Stellung ein. Jede Forschungsarbeit trägt allein dadurch, dass sie die Phänomene thematisiert und gegebenenfalls diesbezügliche Forschungen öffentlich macht, zur Bewusstseinsbildung bei. Forschungsprojekte entwickeln meist allgemeine und übertragbare Maßnahmenkataloge, Richtlinien, etc. für einen späteren Planungsprozess. Es ist jedoch sinnvoll, sie auch in laufende Planungsprozesse direkt einzubinden. Hier können die angeführten Beispiele ›Masdar City‹ (Abu Dhabi), WATERPLAN² (Rotterdam) und die ›Seestadt Aspern‹ (Wien) wichtige Impulse liefern.

2. Es fällt auf, dass bei der **Vielfalt an angewandten Methoden** die Methode der historischen Analyse bisher vernachlässigt wurde, obwohl gerade hier in Bezug auf klimatische Aspekte ein grosses Potential für nachhaltige Strategien liegt. Frühere Kulturen - insbesondere diejenigen, die sich in heißen und trockenen Regionen entwickelt hatten - waren auf naturgegebene Mittel angewiesen und spezialisierten diese in der Folge in direktem Bezug zu den herrschenden klimatischen Bedingungen als bewusste Gestaltungsprinzipien. Es wurde also auf der Basis von natürlichen Baustoffen wie Stein, Lehm, Holz und mit den 'Materialien' Vegetation, Wasser und Luft (im Sinne von Belüftung und Ventilation) gearbeitet.

Im Sinne der Nachhaltigkeit ist es daher naheliegend, sich auch aus der Perspektive einer historischen Analyse (stadt-)klimatischen Fragestellungen zu nähern.

3. In allen Ansätzen wird die besondere und **zunehmend wichtige Rolle der Landschaftsarchitektur** deutlich.

Je nach Ansatz ergeben sich interessante **Schnittstellen mit anderen am Stadtentwicklungsprozess beteiligten Fachdisziplinen**. Hinsichtlich der Steigerung des Grünanteils einer Stadt sind vor allem die Stadtökologie und Stadtklimatologie hervorzuheben, hinsichtlich einer klimasensitiven Stadtgestaltung der Städtebau und die Architektur und in Bezug auf eine Bewusstseinsbildung die Stadtsoziologie und die Stadtpolitik.

Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit ist anzuraten, zukünftige Stadtplanungsstrategien grundsätzlich im Rahmen von interdisziplinären Herangehensweisen zu entwickeln.

5. Gestaltungsprinzipien maurischer Palastgärten

5.1 Einführung

Auf der Suche nach allgemeinen Strategien im Umgang mit klimatischen Rahmenbedingungen und Veränderungen erscheint es sinnvoll, bestehende bzw. frühere Ansätze aus anderen (Klima-)Regionen und Kulturen zu untersuchen. Eine wichtige Fragestellung dabei ist, inwieweit die jeweiligen Erkenntnisse Ansätze für die aktuellen Herausforderungen in mitteleuropäische Städte bieten können. Aufgrund der zukünftigen klimatischen Situation mitteleuropäischer Städte lag eine Untersuchung von Gestaltungsprinzipien aus dem mediterranen Raum nahe (s. 3.2.3, S. 32).

Betrachtet man jüngere urbane Landschaftsarchitektur in dieser Region, fällt auf, dass aufgrund technischer Fortschritte (z.B. Klimatisierung) und internationaler Gestaltungstrends im Zuge der Globalisierung eine wachsende Unabhängigkeit von den klimatischen und örtlichen Gegebenheiten erreicht wurde, aber 'altes' Wissen über eine Einflussnahme durch 'natürliche' bauliche Eingriffe auf das Klima in der Stadtplanung dabei verloren gegangen zu sein scheint oder zumindest zugunsten anderer politischer und wirtschaftlicher Prioritäten in den Hintergrund gedrängt wurde. Das Beispiel Barcelona zeigt, wie viel Einfluss politischer Umbruch und das Streben nach Veränderung und Modernisierung auf die Stadtgestalt auszuüben im Stande ist. Man kann dabei von der Entwicklung eines eigenen Designstils sprechen, der als 'Mode' meist ohne Rücksicht auf klimatische oder gesellschaftliche Rahmenbedingungen weltweit auch in anderen Städten implementiert wurde.

Für die vorliegende Arbeit ist es also sinnvoller, sich auf frühere gestalterische Prinzipien zu konzentrieren, die im Gegensatz dazu bewusst mit klimatischen Aspekten umgegangen sind. Herausragendes historisches Beispiel dafür ist die maurische Kultur, die sich in *al-Andalus* entwickelte. *al-Andalus* bezeichnet den gesamten zwischen dem 8. bis 15. Jh. islamisch beherrschten Teil der Iberischen Halbinsel (s. 5.3.1). Die heutige (sehr viel kleinere) Provinz Andalusien (*Andalucía*) bewahrt in ihrem Namen noch die Erinnerung an das einstige maurische Großreich. Im Zuge der Eroberung der Iberischen Halbinsel durch die Araber wurden sowohl Erfahrungen aus den Herkunftsländern als auch aus den eroberten Regionen für den Umgang mit den klimatischen und geographischen Bedingungen vor Ort angewandt. Dies betraf insbesondere die Adaption von Landwirtschaft, Architektur und Kultur an die örtlichen Gegebenheiten.

Palastgärten spielten bei dieser Entwicklung eine entscheidende Rolle, sie fungierten als Experimentierfelder und trugen so zu der Etablierung von wissenschaftlichen Zentren u.a. für Landwirtschaft, Botanik und Pharmazie bei. Die Palastgärten waren mikroklimatische Inseln in einem allgemein sehr fordernden Klima; hier wurden verschiedene Gestaltungsprinzipien angewandt, um das Wohlbefinden in den Gartenräumen und in den angrenzenden Gebäuden zu erhöhen. Dazu wurde auf Wissen aus unterschiedlichen Kulturen

zurückgegriffen und Kenntnisse - die so wichtige Kriterien wie 'Nutzen', 'Prestige' und 'Wohlbefinden' miteinander verbinden - perfektioniert.

Ähnliche Prinzipien wurden selbstverständlich auch außerhalb der großräumigen Paläste und Palastgärten angewandt. Dabei war die maurische Stadtstruktur im Allgemeinen sehr kleinteilig, eng und verwinkelt. Gärten waren den Privathäusern zugeordnet, hinter hohen Mauern verborgen und in der Regel verhältnismäßig klein. Öffentliche Freiräume fanden sich nur in Form von kleineren Plätzen, die jeweils mit einem Brunnen ausgestattet waren. Auch Bäume waren innerhalb der Stadtfläche und außerhalb der ummauerten Privatgärten nur vor Moscheen und auf Friedhöfen zu finden. (Dickie 1992: 91; Burckhardt 1980: 65ff.). Für die vorliegende Arbeit ist eine Fokussierung auf die Gärten und Höfe der Paläste auch deswegen sinnvoll, weil die Dimensionen dieser Freiräume denen der heutigen Freiraumstrukturen in (europäischen) Städten näher kommen.

Es erfolgt vorab eine kurze Einführung in die Thematik, um die Zusammenhänge zwischen und den Umgang mit den kulturellen und klimatischen Rahmenbedingungen zu verdeutlichen. Nach einer allgemeinen Zusammenfassung der wichtigsten Gestaltungsprinzipien der maurischen Palastgärten wird der Fokus schließlich auf den Aspekt der umschlossenen Freiraumstrukturen – also der Raumbildung - gelegt. Hinweise zu klimatischen Aspekten werden hierbei hervorgehoben und in einen Zusammenhang mit den untersuchten Gestaltungsprinzipien und gesammelten Erfahrungen aus eigenen Begehungen gesetzt.

5.2 Quellen

Die Untersuchung der maurischen Palastgärten erfolgt sowohl mittels einer Literaturrecherche von frühen zeitgenössischen Texten und Plänen und diverser aktuellerer Sekundärliteratur als auch mittels Begehungen und Erkundungen vor Ort.

Frühe Texte (ab dem 11. Jh.)

Die arabischen Quellen wurden nach der Rückeroberung von *al-Andalus* durch das katholische Spanien (*Reconquista*, als letzte Stadt wurde Granada im Jahr 1492 eingenommen) in der Mehrheit zerstört. Dokumentierende Beschreibungen aus der maurischen Zeit sind kaum vorhanden, daher stellt der Text von Ibn al-Jatīb (1362) mit Beschreibungen der Alhambra zur Zeit von Muhamad V. eine Besonderheit dar. Kostbare Informationen finden sich in den wenigen erhaltenen Handbüchern über die Landwirtschaft (*kitāb al-filāḥa*). Vollständig erhalten sind dabei nur die Werke von zwei Autoren (Ibn al-Awwām, 12. Jh.; Ibn Luyūn, 14.Jh.), ansonsten finden sich lediglich Fragmente und Referenzen zu weiteren Werken. Anhand dieser Handbücher lässt sich u.a. auch die ursprüngliche Zusammensetzung der Vegetation ablesen.

Es werden auch literarische Werke herangezogen. Die arabische Poesie ist weniger als Beschreibung, als im Hinblick auf ihre Symbolkraft und ihre religiösen Bezüge (Koran) zu sehen. Sie ist von Emotionen bis hin zu einer Anthropomorphisierung der Gärten erfüllt.¹ Wasser und Vegetation finden hier eine hohe Wertschätzung, wohl auch begründet in der Erfahrung der kargen Wüstenlandschaft der Ausgangsregionen.

Reisebeschreibungen finden sich ab dem späten 15. Jh., d.h. erst nach der *Reconquista*. Dieser Machtwechsel löste eine regelrechte Reisewelle von Europäerinnen und Europäern aus. Dabei ist zu bedenken, dass der christliche Einfluss auf die Gestalt der Paläste und Gärten sehr schnell Wirkung zeigte. Vor allem die Gärten wurden nach europäischen Vorbildern 'modernisiert', islamisch religiöse Elemente und Sakralbauten entfernt und die Zusammensetzung der Vegetation durch Einflüsse von aus Amerika eingeführten Arten zunehmend verändert (das Jahr der Rückeroberung Granadas 1492 fällt bekanntlich mit dem Jahr der Entdeckung Amerikas zusammen). Hinzu kam der Verfall weiter Teile der Paläste und Gärten nach Vertreibung der Mauren und damit auch der Verlust an Wissen zu Bewässerungstechnik und Landwirtschaft. Ein Schreiben des *alcaide* (Kastellan) vom Generalife in Granada aus dem Jahr 1571 hält dies fest und bewirkte im Jahr 1583 die Erlaubnis, Mauren, die im Land zurückgeblieben waren, für die Gartenpflege einzustellen.²

Die Reisebeschreibungen von Andrea Navagero, dem damaligen Botschafter aus Venedig, stellen eine Besonderheit dar. Er bereiste Andalusien bereits relativ kurz nach der Rückeroberung in den Jahren 1524-1526 und hielt seine Eindrücke detailliert in Briefen (an seinen Bruder) und in dem Buch »Viaje por España« fest. Interessante Erkenntnisse sind auch durch Antonio de Lalaing überliefert, der schon kurz vor Navagero seine Beobachtungen in seinem Buch »Primer viaje de Felipe el Hermoso a España en 1501« niederlegte.

Über die Alhambra und den Generalife in Granada gibt es noch die verlässlichsten Quellen. Die früheste bekannte Überlieferung ist eine Beschreibung aus dem Jahr 1362 durch den Historiker Ibn al-Jatīb aus Anlass eines Festes in der Alhambra. Sie gibt Aufschluss über die Gestalt der Alhambra zur Zeit der Nasriden (in García Gómez 1988). Washington Irving ist es zu verdanken, dass er Anfang des 19. Jh. mit seinen Schriften auf die Bedeutung der Alhambra aufmerksam machte und somit einen Grundstein für den Erhalt der Palastanlage legte.

Sekundärliteratur ab dem 20. Jh.

Es gibt zahlreiche Literatur zu der Kultur der Mauren in *al-Andalus*. Dabei werden in Bezug auf die Gärten vorrangig Themen wie Architektur, Poesie und (religiöse) Symbolik

1 Besonders schön wird dies in einem Gedicht von al-Taliq aus dem 10. Jh. verdeutlicht: „*Al alba, el agua del jardín se mezcló / con su nombre, más penetrante que todo perfume. / El azahar es su sonrisa; el céfiro su aliento; / la rosa perlada de rocío su mejilla. / Por eso amo los jardines: porque siempre / me traen al recuerdo la que adoro.*“ (in Casamar und Kugel 1990: 213).

2 „... le ha venido mucho daño al dicho Ginalarifee e a los arvoles e jardines e acequias de las aguas con que suelen regar porque los hortelanos e peones viejos no entienden los susodichos, ni saben curar ny beneficiar las dichas guertas como los moriscos lo solian hacer...“ (in Tito Rojo 1999: 70)

behandelt. Als wichtige Gartenhistoriker sind hier u.a. Francisco Prieto Moreno (1975; 1983), Jacinto Bosch Vilá (1984), Francisco Maria Tubino (1999), James Dickie (1965; 1992), Leopoldo Torres Balbas (1945; 1981), Jesús Bermúdez Pareja (1965) und José Tito Rojo (1999; 2004) zu erwähnen.

Die Gärten und Palastanlagen der Mauren sind nach wie vor im Fokus vieler Studien. Es treten immer wieder neue und teils überraschende Erkenntnisse zu Tage. So legte z.B. ein Feuer im Generalife im Jahr 1958 Überreste frei, die vor allem für den Patio de la Acequia Aufschluss über die original maurische Ausgestaltung geben. Der Aufsatz von Bermúdez Pareja aus dem Jahr 1965 liefert hier interessante Einblicke. Es ergibt sich eine erstaunliche Ähnlichkeit mit den Beschreibungen eines Gartens im Handbuch von Ibn Luyūn, wodurch weitere Ableitungen möglich werden.

Zu klimatischen Aspekten maurischer Gartenarchitektur findet sich kaum Literatur, eine Ausnahme stellt eine Studie von Jimenez Alcalá (1999) zu den bioklimatischen Aspekten von Gartenhofarchitekturen dar.

In der vorliegenden Arbeit sind die deutschen und englischen Zitate direkt in den Text integriert. Spanische Zitate werden für den einfacheren Textfluss von der Verfasserin frei übersetzt, das Originalzitat findet sich in den jeweiligen Fußnoten. Originalbegriffe werden nach einmaliger Übersetzung grundsätzlich in Spanisch verwendet und kursiv dargestellt. Verse von Poeten werden der Lyrik zuliebe in ihrer spanischen Fassung belassen.

Beobachtungen vor Ort

Bei der Untersuchung mikroklimatischer Aspekte ist die Erhebung eigener Erfahrungen anhand von Begehungen unumgänglich. Die Begehungen haben in erster Linie zum Ziel, die Stimmung und (thermische) Atmosphäre der einzelnen Gartenbereiche zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten einzufangen. Für die vorliegende Arbeit war der Fokus dabei auf die sinnlichen Eindrücke gelegt. Zur Unterstützung wurden einfache Messungen der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Systematische und somit quantitativ vergleichbare Messreihen waren im Rahmen dieser Arbeit nicht durchführbar.

Gärten stellen eine der vergänglichsten architektonischen Kunstformen dar. Wie oben bereits erwähnt, gab es viele Einflüsse, die das Bild der Gärten im Laufe der Jahrhunderte verändert haben. Auch in aktueller Zeit werden nach wie vor Restaurierungen durchgeführt, die leider meist nicht mit der überlieferten Gestalt maurischer Gärten übereinstimmen. Von den heutigen Resten der Palastgärten nimmt die Alhambra eine besondere Stellung ein, da hier relativ früh der Wert des Monumentes und seiner Gärten erkannt wurde. Inzwischen zählt die Alhambra zum Weltkulturerbe und ist ebenso wie andere maurische Palastanlagen durch ein Patronat verwaltet und Gegenstand wissenschaftlicher und archäologischer Studien. Die Begehungen vor Ort konzentrierten sich daher insbesondere auf die Gärten und Höfe der Alhambra und des Generalife in Granada. Die Verfasserin untersuchte die Anlagen während der Jahre 2004 bis 2006 zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten. Die letzte Begehung fand im Sommer 2010 statt.

Aufgrund der jüngeren Studien des Patronato del Real Alcázar de Sevilla zu den abge- senkten Gärten wurde diese Palastanlage als zweiter Begehungsort ausgewählt. Auch wenn große Teile der Palastanlage im Mudejar-Stil gehalten sind (also erst kurz nach der Rückeroberung Sevillas durch das spanische Königshaus im Jahr 1248 im maurischen Stil erbaut wurden), sind nach wie vor auch ursprüngliche Bereiche aus der Almohaden- Zeit (1147-1231) erhalten. Die vorliegende Arbeit bezieht sich ausschließlich auf diese älteren Gartenbereiche. Auch hier fand die letzte Begehung im Sommer 2010 statt.

Die Erfahrungen der Verfasserin während der Begehungen vor Ort fließen in den jewei- ligen mikroklimatischen Betrachtungen zu den ausgewählten Beispielen ein (s. 5.5). Sie sind als Unterstützung und Reflexion der Erkenntnisse aus der Literaturrecherche zu verstehen.

5.3 Einführung in die Thematik

5.3.1. Einführung in die Geschichte von al-Andalus

„Der Begriff 'Mauren' bezeichnet streng genommen die arabisch-berberische Bevölke- rungsgruppe des Atlasgebirges in Nordafrika (mauroi = „Schwarze“ / mauharin = „West- liche“), wird aber auch als Sammelbegriff für Muslime arabischer und berberischer Herkunft verwendet, die im 8. bis ins 15. Jh. über weite Teile der Iberischen Halbinsel (al-Andalus) und Nordafrika herrschten“ (Zwahr 2001).

Für den geschichtlichen Abriss wurden die folgenden Quellen herangezogen: Makki (1992), Burckhardt (1980), Casamar und Kugel (1990) und Barrucand (2002).

Der Name *al-Andalus* geht auf die Zeit der Westgoten zurück, die das Land von 468 bis zur Eroberung durch die Araber ab dem Jahr 711 beherrschten. Sie bezeichneten die ihnen durch Los zukommenden Ländereien als *landahlauts* (Land Lose), entsprechend dem römischen *Gothica sors* (Los der Goten) (Barrucand 2002: 12). Die arabisierte Bezeichnung *al-Andalus* schloss den gesamten islamischen Teil der Iberischen Halbinsel ein.

Die Eroberung von *al-Andalus* stellt die logische Ausweitung des Eroberungszuges der Araber von Nordafrika aus in Richtung Norden dar. 710 setzte die erste Expedition über Ceuta nach Tarifa über, es folgte die Einnahme der strategischen Küstenorte Gibraltar und Algeciras. Innerhalb von drei Jahren gelang die Eroberung weiter Teile der Iberischen Halbinsel. Die Besiedelung und der Aufbau einer neuen Gesellschaft begannen. Der erste Herrscher von *al-Andalus* (Mūsā b. Musayr) unterstand dabei dem Umayyad Kalifat in Damaskus. Sevilla wurde aufgrund des fruchtbaren Umlandes und der güns- tigen Verkehrslage vorerst als Zentrum gewählt. Später wechselte der Herrschersitz nach Córdoba. Die Adels- und Herrscherschicht bestand vorwiegend aus Arabern. Für die Eroberungszüge wurde das arabische Heer jedoch in großer Zahl durch nordafrikanische (islamisierte) Berber aufgestockt, die in der Gesamtheit den größeren Bevölkerungsanteil in *al-Andalus* ausmachten. Als Sprache der Bildung und Kultur setzte sich das Arabische durch.

Es wechselten Phasen der politischen Stabilität und der Unruhe. Grob zusammengefasst lässt sich festhalten, dass bis zum 11. Jh. eine arabische Herrschaft bestand, wobei nach dem Untergang des Kalifats in Damaskus die Abbasiden mit Zentrum in Bagdad die Macht übernahmen, bis ein Nachfahre der Ummayyad 756 in *al-Andalus* die erste unabhängige Dynastie durchsetzte und 929 die Installation des spanischen Kalifats ermöglichte. Anfang des 11. Jh. fand eine bedeutende Wende statt. Aufstände der nordafrikanischen Staaten sowie innerhalb der arabischen Stämme mündeten in einen Bürgerkrieg und in die Fragmentierung von *al-Andalus* in eine Vielzahl von unabhängigen Fürstentümern (*taifas*). Mit der Übernahme von *al-Andalus* durch die Almoraviden (Berberstamm aus der Sahara mit Machtzentrum in Marrakesh) im Jahr 1091 begann die Herrschaft über *al-Andalus* durch nordafrikanische Stämme. 1147 übernahmen die Almohaden, Berber aus dem Hohen Atlas, die Herrschaft. Währenddessen vereinigten sich die spanischen Königshäuser zunehmend und drangen immer weiter nach *al-Andalus* ein, was 1231 zum Ende der Almohaden-Herrschaft und zu einer erneuten Fragmentierung von *al-Andalus* führte. Granada blieb als einziger Staat unter maurischer Herrschaft. Voraussetzung dafür war ein Abkommen zwischen ihrem Herrscher Muhammad I. und dem spanischen König Fernando (*Contrato de Jaén* 1246). Muhammad I. sicherte damit für mehr als 150 Jahre eine stabile Herrschaft der Nasriden in Granada (Burckhardt spricht jedoch von Granada als Vasallenstaat von Kastilien: 223). Nach Vereinigung der zuletzt verbliebenen zwei spanischen Königshäuser durch die Hochzeit von Isabella (Kastilien) und Fernando (Aragón) im Jahr 1469 endete auch die 'relative Unabhängigkeit' Granadas. 1492 wurde die Stadt endgültig durch die Spanier eingenommen und die Mauren größtenteils aus Granada vertrieben.

Die Einnahme von *al-Andalus* ereignete sich, nachdem die Araber bereits den Orient und Nordafrika erobert hatten. Daher finden sich in der maurischen Kultur viele Einflüsse aus Persien, Byzanz, Ägypten, etc. Gegründet wurde die maurische Kultur jedoch auf Überresten früherer auf der Iberischen Halbinsel ansässiger Kulturen (insbesondere der Römer und Westgoten) und auf Traditionen der regionalen Kultur der Iberischen (christlichen) Bevölkerung.³ Mit dem Islam verbreitete sich auch die arabische Sprache, sie setzte sich als Sprache der Kultur und der Zivilisation durch.

Durch den großen Bevölkerungsanteil an Berbern und vor allem aufgrund des Herrscherwechsels nach dem Bürgerkrieg im 11. Jh. fand ein verstärkter Einfluss nordafrikanischer Kulturen statt, was z.B. in der Integration religiös asketischer Elemente nach Übernahme durch die Almoraviden sichtbar wird. Im Gegenzug beeinflusste die Kultur von *al-Andalus* die Entwicklungen auf der nordafrikanischen Seite des Mittelmeeres.⁴ Allgemein fand während der fast acht Jahrhunderte andauernden maurischen Herrschaft in *al-Andalus* eine deutliche Verbesserung der Lebensbedingungen statt, und es entwickelte sich nicht nur die Landwirtschaft zu einer Hochblüte, sondern auch andere Wissenschaften wie z.B. Kunst und Architektur. Bis heute ist dies in der spanischen Sprache und Kultur spürbar.

3 „Die Muslime übernahmen mit dem Land nicht nur Namen, sondern auch Elemente der Kunst ihrer direkten Vorgänger. Die Herausbildung der spanisch-islamischen Kunst war zunächst ein Schmelzprozeß, in dem west-gotische, römisch-iberische, römisch-syrische, byzantinische und arabische Elemente sich zu einem neuen und eigenständigen Stil verbanden, der seinerseits anderen Kunstrichtungen befruchtende Impulse gab.“ (Barrucand 2002: 13)

4 „Dem Austausch und Wechselspiel der Kräfte zwischen Andalusien und Nordafrika, welche die Zeit islamischer Herrschaft zu beiden Seiten des Mittelmeeres charakterisierten, folgten auf der nordafrikanischen Seite Jahrhunderte epigonalen Schaffens. Fast die gesamte marokkanische Kunst der letzten Jahrhunderte treibt im Fahrwasser Granadas (...) Marokko [b]lieb in unbeirrbarer Beständigkeit dem andalusischen Erbe treu.“ (ebd.: 17).

5.3.2. Die Rolle von Landschaft und Landwirtschaft

Die Palastgärten sind in einem engen Zusammenhang mit der Landwirtschaft zu betrachten, welche einen sehr hohen Stellenwert in der maurischen Kultur einnahm und die Grundlage für die außergewöhnlichen Entwicklungen in *al-Andalus* darstellt. Ibn 'Abdūn hielt Anfang des 12. Jh. die Bedeutung der Landwirtschaft und die Verantwortung des Herrschers sowohl für die Ernte als auch für die Arbeiter fest und bezeichnete die Landwirtschaft als „*Basis der Zivilisation, von der das gesamte Leben und seine wichtigsten Vergünstigungen abhängen*“.⁵ In *al-Andalus* wurde grundsätzlich zwischen 'wertvollem Raum' und 'wertlosem Raum' (unbewirtschaftet) unterschieden (Ruggles 2006).

Schon die Römer hatten einen großen Einfluss auf die Landschaft der Iberischen Halbinsel ausgeübt. Sie führten u.a. Landnutzungs- und Wassersysteme ein (Ruggles 2006). Dabei wurde die Bewirtschaftung der Anbauflächen an das Klima und die Jahreszeiten, z.B. im Hinblick auf Hitze und Niederschlag bzw. Trockenheit, angepasst. Die künstliche Bewässerung war auf Gärten innerhalb der Städte begrenzt, d.h. größere Wassersysteme (Aquädukte) wurden nur zur Versorgung der in der Ebene situierten Siedlungen angelegt. Die Landwirtschaft war vor allem von Wein, Oliven und Weizen geprägt, sie stellte eine „*Adaption des mediterranen Ökosystems*“ dar.⁶

Die Araber bauten grundsätzlich auf den römischen Fundamenten auf (Ruggles 2006: 38). Während sich die Römer jedoch dem Land und Klima anpassten, begannen die Araber, das Land (und das lokale Mikroklima) zu verändern und an ihre Bedürfnisse anzupassen. Dabei bedienten sie sich des Wissens anderer Kulturen und entwickelten dieses weiter. Die allgemein große Wertschätzung der Vegetation und des Wassers sind auf die kargen Bedingungen der meist arid geprägten arabischen Heimatregionen zurück zu führen. Es herrschte ein hohes Bewusstsein für den Reichtum und die Bedeutung der Natur für Körper und Seele. Das erklärt die außergewöhnlichen Entwicklungen in der Landwirtschaft und Gartengestaltung (Casamar und Kugel 1990: 197).

Das Land in *al-Andalus* war fruchtbar und verfügte über ausreichende Wasserquellen. Voraussetzung für eine ergiebige Landwirtschaft war die Herleitung des Wassers auf die bewirtschafteten Flächen. Die Araber entwickelten auf der Basis der römischen Bauwerke ein ausgefeiltes Wassersystem. Die Genialität dieses Wassersystems und überhaupt dieses Umgangs mit Landwirtschaft beruhte auf großem Wissen und Erfahrung. Sie wurde erst nach der Vertreibung der Mauren und damit nach dem Verfall der Anlagen erkannt. Einen guten Überblick über die Komplexität des maurischen Wassersystems gibt Trillo San José (2003) in seinem Buch »*Agua y paisaje en Granada: una herencia de al-Andalus*«.⁷ Er behandelt darin konstruktive Aspekte wie die Herleitung, Speicherung und Verteilung des Wassers, Themen wie rechtliche Grundlagen und Konfliktlösungen, Abhängigkeiten von den Herrschern und von den sozialen Strukturen etc. Er betont dabei die Notwendigkeit herrschaftlicher Strukturen sowohl für die Errichtung und Pflege des

5 „*El príncipe debe prescribir que se dé el mayor impulso a la agricultura, la cual debe ser alentada, así como los labradores han de ser tratados con benevolencia y protegidos en sus labores [...] La agricultura es la base de la civilización, y de ella depende la vida entera y sus principales ventajas.*“ (Ibn 'Abdūn 12. Jh./1992: 42)

6 „*La agricultura romana era una adaptación del ecosistema mediterráneo.*“ (Trillo San José 2003: 26).

7 »Wasser und Landschaft in Granada: ein Erbe von *al-Andalus*«

hydraulischen Systems, als auch für die lokale Gesetzgebung zur Entnahme und Verteilung des Wassers und adäquate Konfliktlösungen (ebd.: 83).

War das Wasser ein 'Symbol des Lebens', so war der Herrscher der 'Bringer des Lebens', Wasser stellte somit neben seinen nützlichen Funktionen auch ein Symbol für Macht und Prestige dar, was u.a. die große Bedeutung der Integration von Wasser als Gestaltungselement in die Gärten erklärt.

Es wurden vorwiegend exotische Pflanzen aus der orientalischen Heimat und den eroberten außereuropäischen Regionen eingeführt (z.B. Zitrusfrüchte, Baumwolle und Zuckerrohr). Das Streben nach hohen Erträgen verlangte neue Methoden, die durch Forschung und Experimente entwickelt wurden (Trillo San José 2003: 44). Es erfolgte also von Anfang an im Auftrag der Herrscher eine bewusste Akklimatisation exotischer Pflanzen an das mediterrane Klima (Ruggles führt dazu als frühestes in Quellen überliefertes Beispiel die Einführung des Granatapfels im 10.Jh an, 2006: 17). Auch hier wurde auf das Wissen anderer Kulturen und der iberischen Region zurückgegriffen und dieses zu neuen Methoden weiterentwickelt (Casamar und Kugel 1990: 204). Die Paläste nahmen dabei eine wichtige Rolle ein. Sie bildeten Zentren der Wissenschaft, die einerseits Wissen in Fachbüchern importierten (z.B. Dioscorides »De Materia Medica«, ein Geschenk von Byzanz an Rahman III) und andererseits neue Erkenntnisse schriftlich festhielten und weitergaben. Nur wenige dieser agrarischen Handbücher sind erhalten. Das vollständig erhaltene Buch von Ibn Luyūn fasst das Wissen verschiedener Autoren in Versform zusammen und stellt das letzte bekannte *andalusī* Werk aus dem 14.Jh. dar (Ibn Luyūn 1348/1988). Die Handbücher waren grundsätzlich sehr ähnlich strukturiert: auf allgemeine Informationen zu Wasser, Boden, Bodenbearbeitung und Bodenverbesserung folgten Angaben zur Kultivierung der einzelnen Pflanzenarten, die in unterschiedliche Pflanzengruppen zusammengefasst wurden: Ansaat bzw. Anpflanzung, Pflege und Bewässerung, Schnitt, Pfropfen, Ernte, etc. Oft findet sich hier auch ein eigenes Kapitel zu Zierpflanzen. Als Abschluss folgen hauswirtschaftliche Aspekte und Angaben zu Pflanzenkrankheiten. In manchen Fällen waren auch Kapitel zu Tieren, Angaben zur Lage der Gärten und Häuser sowie kalendarische Zusammenfassungen von landwirtschaftlichen Arbeiten integriert.

Die herrschaftlichen Gärten dienten dabei als eine Art Experimentierfeld sowohl für die Landwirtschaft als auch für die Wissenschaften der Medizin, Botanik und Pharmakologie (Vernet 1992: 943). Neben den palastinternen Gärten wurden zusätzlich eigenständige botanische Gärten außerhalb der Palastmauern angelegt. Die meisten Überlieferungen hierzu gibt es über den Garten der Buhayra (auch Huerta del Rey genannt) in Sevilla. Für die Anlage des Gartens im 13. Jh. wurden eigens Experten herangezogen (Abū-I-Qāsīm und Abū Bakr), deren Wissen über Geometrie, Topografie und Landwirtschaft von vielen Autoren hervorgehoben wird (z.B. Torres Balbás 1945: 190). Ruggles spricht von der frühesten Erwähnung von 'Landschaftsarchitekten' (Ruggles 2006: 144).

Durch den Zerfall in die *taifa*-Staaten fand ein neuerlicher Entwicklungsschub statt. Die aufkommende Konkurrenz führte zu Spezialisierungen in unterschiedlichen Wissenschaftsgebieten. So entstand z.B. eine Landwirtschaftsschule in Sevilla, der auch Ibn Bassal angehörte. In Almería gab es eine Spezialisierung auf hydraulische Systeme, zu deren wichtigsten Wissenschaftlern al-Tignari zählte (Trillo San José 2003: 44). Außerdem

bildeten sich u.a. folgende Zentren für unterschiedliche Wissenschaftszweige: Naturwissenschaft in Toledo, Philosophie in Saragossa, Poesie in Sevilla (Vernet 1992: 940). Wobei die Poesie in enger Relation zu Natur und Gärten stand. Die Bedeutung der Natur hatte ihre Wurzeln in der ursprünglichen Heimat der Mauren und ihrer Religion. Das hatte Auswirkungen auch auf Poesie, Kunst, Musik, Handwerk, etc. (Casamar und Kugel 1990): „*al andalus. the desert penetrated the very depths of the Arab spirit and informed the Arab's view of the world, their everyday ethics, their ideals, and their concept of art, and of place and time.*“ (Jayyusi 1992: 368). Die Integration von heimischen Pflanzen in *al-Andalus* spielte auch auf symbolischer und philosophischer Ebene eine wichtige Rolle: sie war Ausdruck für das Streben nach der Nachbildung von 'Heimat'. Ein Beispiel dafür ist die Einführung der Dattelpalme durch Rahman I (756) als Symbol der 'Heimat in der Fremde', die in Form von Säulen auch in die Architektur übernommen wurde (Casamar und Kugel 1990: 200).

Die Herrschaft der Araber löste in *al-Andalus* eine 'landwirtschaftliche Revolution' aus, die neben den genannten wissenschaftlichen Entwicklungen vor allem in einem engen Zusammenhang mit dem landwirtschaftlichen Fortschritt zu sehen ist: hydraulische Technik, Adaption von Böden und Pflanzen, natürliche Düngung, Wechselwirtschaft, etc. Durch diese Entwicklungen gelang eine Unabhängigkeit von den gegebenen Bedingungen (Trillo San José 2003: 48).

5.3.3. Der maurische Palastgarten im Wandel

Die oben bereits erwähnten Übernahmen aus verschiedenen Kulturen spiegelten sich auch in der Gestaltung der Gärten wider, - Einflüsse aus dem arabischen und asiatischen Raum, von Eroberungszügen durch Orient und Nordafrika, weiters vom Erbe der Römer und Goten und von lokalen Prägungen aus dem mediterranen (iberischen) Raum. Im Laufe der maurischen Zeit erfolgten immer wieder Veränderungen, auch bedingt durch diverse Machtwechsel mit jeweils neuem Fokus, so z.B. der Konzentration auf asketische und religiöse Aspekte nach der Übernahme der Macht durch das berberische Wüstenvolk der Almohaden im 12. Jh. (Prieto Moreno 1975)

Ruggles (2006) betrachtet die maurischen Palastgärten in ihrer Entwicklung vor allem in Beziehung zur Architektur, unter Einbeziehung von land- und wasserwirtschaftlichen Aspekten. Vor dem 11. Jh. galten die Gärten als Spiegelung des landwirtschaftlichen Wohlstandes und der politischen Macht des Herrschers. Die klare geometrische Form des Wasserkreuzes und der dadurch definierten Vegetationsfelder lässt sich, wie von vielen Autoren vertreten, einerseits auf die islamische Grundform und auf eine religiöse Bedeutung bzw. Symbolik zurückführen, andererseits entspricht dies aber auch der Logik zur Bewässerung (was sich auch in römischer Gestaltung zeigt) und symbolisiert zudem die Feldstruktur der Landwirtschaft. Die meist mit maurischen Gärten verbundenen religiösen Aspekte erhielten laut Ruggles erst später Einzug in die Gestaltung.

Den maurischen Palästen ist (im Gegensatz z.B. zu römischen Ansiedelungen) grundsätzlich eine erhöhte Lage gemein. Besonders wichtig waren dabei wassertechnische Aspekte: Das Wasser wurde zu den höchstgelegenen Arealen geführt und versorgte von dort in einem zusammenhängenden Wassersystem alle Bereiche bis hin zu den im Tal

gelegenen Feldern. Die erhöhte Lage symbolisierte zudem die Macht des Herrschers und gab diesem den Überblick über die Felder und den Ausblick in die Landschaft. Ausschlaggebend waren aber auch die klimatischen Aspekte, die zusätzlich in der Ausrichtung der Gebäude Berücksichtigung fanden.

Ruggles teilt die Entwicklung unterschiedlicher Palasttypologien in *al-Andalus* in Bezug auf ihre Gärten in drei wichtige Phasen ein:

Zur Ummayyad-Zeit herrschten Landpaläste vor, also Paläste außerhalb der Stadtmauern, deren Gärten - eine adäquate Bewässerung vorausgesetzt - einen hohen Stellenwert hatten. Die Paläste waren nach innen ausgerichtet, die Gärten entsprachen der Grundform des islamischen (arabischen) Gartens. Als eine Art Prototyp kann der Rusafa Palast in Córdoba (unter Abd al-Rahman I) angesehen werden. Die innerhalb der Palastmauern befindlichen Gärten hatten die Funktion eines botanischen Gartens und waren auf die Einführung neuer Arten und ihre spätere Ausbreitung in *al-Andalus* spezialisiert (García Sanchez 1992: 988).

Zur Zeit der Abbasiden entstand ein neuer Typus: der Palast als städtisches Zentrum. Als typisches Beispiel führt Ruggles die Palastanlage Madinat al-Zahra bei Córdoba (unter Abd Rahman III) an. Der Palast befand sich im oberen Bereich eines in drei Terrassen am Hang angelegten Areals. Die Gärten und Gemüsegärten bildeten den Übergang zu der untersten Terrasse, auf der sich die Moscheen und Häuser befanden. Der Palast war geprägt von der Einbeziehung riesiger (Nutz)Gärten innerhalb der Mauern und der Ausbildung kleinerer abgeschlossener Gartenbereiche, wie z.B. des Patio de la Alberca ('Zister nenhof'), der den kreuzförmigen Grundriss der Umayyad-Gärten aufnimmt und verstärkt sinnliche Aspekte aufgreift (Ruggles 2006: 103). In Madinat al-Zahra findet eine typologische Verbindung von landwirtschaftlicher Symbolik und hochentwickelter Kultur östlicher Palastarchitekturen statt (ebd.: 88). Das Wassersystem basiert auf einer Weiterentwicklung der römischen Struktur und stellt somit eine Mischung aus mediterraner (römischer) und östlicher (persischer) Tradition dar.

Nach dem Bürgerkrieg im 11. Jh. fand die Symbolik und Spiritualität Einzug in die Architektur und Gartengestaltung: Themen wie Tod, Vergänglichkeit und Ewigkeit sowie der Einfluss der religiösen und asketischen Strömungen aus Nordafrika führten zur Implementierung der Symbolik des Paradieses in die Architektur und Gartengestaltung (Ruggles: 111). Einen Höhepunkt stellt dabei die Zeit der Nasriden in Granada dar. Die Alhambra kann daher als herausragendes Beispiel angesehen werden. Ruggles zählt die wichtigsten Erneuerungen bzw. Weiterentwicklungen in der Palastarchitektur der Nasriden auf: a) die Betonung von Blickbeziehungen, vor allem zwischen Innen und Außen ('dramatisches Zusammenspiel') b) die Einführung von Inschriften von Poeten, die die Architektur und Aussicht beschrieben und personifizierten ('die Architektur ist der Verfasser') c) die Schaffung von Illusionen durch Blickbeziehungen und Lichtspiel, den Eindruck einer Dematerialisierung durch Licht und Wasser, die vermeintliche Animation von Tierskulpturen durch Wasser (ebd.: 210) und d) die Art und Weise der Ausgestaltung von Oratorien (kleine Gebetshäuser) in Form von *miradores* (Aussichtspunkte) als 'Vorgeschmack' auf das Paradies: „*The miradors and gardens of the Alhambra exemplify the shift from a symbolism derived from the agricultural landscape to the symbolism of the Qur'anic paradise, and from the worldly to the spiritual.*“ (ebd.: 221). Prieto Moreno betont die allge-

meine architektonische Konzentration nach Innen, d.h. den reflexiven Charakter der Gärten der Alhambra und begründet dies u.a. auch ganz prosaisch mit dem beschränkten Raum innerhalb der Befestigungsanlagen (Prieto Moreno 1975: 4).

Das heutige Bild des maurischen (Palast-)Gartens wird vor allem durch die Alhambra in Granada geprägt, da sie bis heute das lebendigste Bild darstellt: *„Spanien aber hat wenigstens ein kostbares Vermächtnis arabischer Schlossanlage bewahrt: die Alhambra in Granada. So sehr durch Zerstörung, Vernachlässigung und Umbauten das Bild verdorben und übermalt scheint, wirkt doch unbesieglich der Geist dieser untergegangenen Kultur lebendig fort, wenn es auch im Vergleich zu seiner einstigen Schönheit nur noch ein Schatten ist.“* (Gothein, 1926: 160). Da hier bereits die religiöse Symbolik Einzug in die Gestaltung gehalten hatte, wird der maurische Garten *per se* meist auf eine Realisierung des 'Paradies auf Erden' reduziert bzw. erhoben.

Tito Rojo (2004) bemerkt dazu, dass es sich bei der Auffassung des Paradieses als Garten (*yanna*) um eine allgemeingültige Interpretation handelt. Den Rückschluss, dass ein Garten immer ein Abbild des koranischen Paradieses ist, hält er jedoch für eine Überinterpretation. Laut Tito Rojo sind keine Überlieferungen bekannt, die die Anlage eines maurischen Gartens direkt mit der Absicht einer Nachbildung des Paradieses belegen.⁸

Auch wenn in der vorliegenden Arbeit viele Beispiele aus der Alhambra erwähnt werden, soll der paradiesische Gedanke dabei nicht im Fokus stehen. Die Auswahl der Beispiele richtet sich nach der Verfügbarkeit von Quellen und erhaltenen bzw. rekonstruierten Gartenelementen. Die sinnlichen Aspekte in dieser Arbeit sind im Hinblick auf das Wohlbefinden zu verstehen, das unabhängig vom Paradies-Gedanken von Beginn an einen wichtigen Aspekt in der maurischen Architektur und Gartengestaltung darstellt.

5.3.4. Das Klima von *al-Andalus*

Behringer (2009) merkt in seiner Arbeit über die Kulturgeschichte des Klimas an, dass die Eroberung von *al-Andalus* in eine Warmzeit fiel und das Vordringen von Nordafrika auf die Iberische Halbinsel somit eine logische 'Flucht' in nördliche und somit kühlere Gebiete darstellte. Font Tullot (1988) betrachtet die Klimageschichte der Iberischen Halbinsel differenzierter und kommt zu einer gegenteiligen Theorie. Interessant dabei ist, dass beide Autoren die Eroberungszüge grundsätzlich (auch) auf klimatische Aspekte zurückführen. Der folgende Text bezieht sich auf die Informationen von Font Tullot und wird durch eigene Reflexionen ergänzt.

Laut Font Tullot sind die großklimatischen Entwicklungen im südspanischen und nordafrikanischen Raum um ca. 2 bis 3 Jahrhunderte zeitversetzt zu denen Nord- und Mitteleuropas. Während Nordeuropa im 7. Jh. von Grönland aus südwärts langsam in eine Warmphase zu wechseln begann, wurde der mediterrane Raum, insbesondere die Iberische Halbinsel und Nordafrika, noch von Kältewellen beherrscht. Die Kälte ging mit häufiger Dürre einher. Font Tullot geht davon aus, dass Nordafrika stärker von der

⁸ „No hemos encontrado testimonios escritos que enlacen la construcción de jardines en *al-Andalus* con la voluntad de establecer en ellos una relación con el Paraíso coránico.“ (Tito Rojo 2004: 293)

Trockenheit betroffen war als die Iberische Halbinsel und sieht darin den Grund der Invasion nach Südspanien (ebd.: 56). Dagegen liegen auch Berichte von Überschwemmungen und zwischenzeitlichen Hitzewellen vor. Insgesamt gesehen kann von einer sehr instabilen Wetterlage mit sehr kalten Wintern ausgegangen werden (ebd.: 58). Den Übergang zur Warmzeit legt Font Tullot auf den Anfang des 10. Jh. fest. Hier finden sich bereits Quellen für warme bzw. heiße Sommer und kalte Winter mit wenig Niederschlag und häufiger Dürre. Während in den restlichen Teilen Europas von einem Höhepunkt der Warmzeit zwischen dem 11.-13. Jh. ausgegangen wird, ist dieser für die Iberische Halbinsel erst ab dem 12. / 13. Jh. zu verzeichnen. Diese Zeit war geprägt durch hohe Niederschlagsmengen und mildere Winter und stellte eine unruhige Zeit mit vielen Seuchen und Kriegen dar (ebd.: 61). Vermutlich dürfte die Dürre allein noch kein allzu großes Problem dargestellt haben, da man über sehr gut funktionierende Wassersysteme verfügte. In Kombination mit Überschwemmungen ist dies allerdings als problematischer einzustufen. Quellen betonen Hungersnot als wichtigen Faktor für Aufstände und Kriege in dieser Zeit in *al-Andalus*. Das stabilste und günstigste Klima datiert Font Tullot für die Iberische Halbinsel im 14. und 15. Jh. Es herrschte zu dieser Zeit ein warm-heißes Klima mit seltenen Dürren. Dies war auch die Blütezeit des Anbaus von Zuckerrohr und Zitrusfrüchten in *al-Andalus* (ebd.: 66). Ergänzend dazu ist festzuhalten, dass die stabilste Zeit der nasridischen Herrschaft in diesen Zeitraum fällt. Das ist mit aller Wahrscheinlichkeit auch auf den Umstand zurückzuführen, dass das Wohlergehen der Bevölkerung durch die in vielen Berichten als besonders fruchtbar gelobte Vega (Ebene von Granada) gesichert war. Parallel dazu ging West- und Mitteleuropa im 13.-15. Jh. bereits in eine Kaltphase über, die von hohen Niederschlägen und dadurch bedingten Ernteaufschlägen und Hungerkrisen geprägt war (ebd.: 62). Es ist anzunehmen, dass der militärische Druck, der durch die sich nach Süden vorkämpfenden Streitkräfte des spanischen Königshauses auf Granada ausgeübt wurde, nicht nur religiös, sondern auch durch die Fruchtbarkeit von Granadas Umland motiviert war. Die nasridischen Herrscher lehnten die vom spanischen Königshaus geforderten höheren Tributzahlungen ab und besiegelten damit sozusagen ihren Untergang. Für die Iberische Halbinsel geht Font Tullot von einem langsamen Rückgang zur Kaltphase ab dem 15. Jh. aus. Ab Ende des 15. Jh. gibt es zahlreiche Überlieferungen zum Kampf um Granada. Es wird darin von Unwettern und Stürmen berichtet und hervorgehoben, dass Kämpfe vorwiegend in den Sommermonaten geführt wurden, was auf lange kalte Winter schließen lässt (ebd.: 65).

Es gibt kaum textliche Überlieferungen zum Klima in *al-Andalus*. Die früheste Quelle ist von Ahmad al-Rāzī im 10. Jh. Er beschreibt das damalige *al-Andalus* als eine Region mit gesundem Klima, guter Luft, ausgedehnten Wäldern und weiter fruchtbarer Agrarlandschaft (Ruggles 2006: 13). In agrarischen Handbüchern werden u.a. klimatische Aspekte für die Lage von Wohnhäusern genannt, wobei gerade für die Sommermonate zur besseren Durchlüftung ein erhöhter, luftiger Ort und eine der Windrichtung entsprechende Ausrichtung des Gebäudes empfohlen wird.⁹ Dies bestätigt die Annahme von heißen Sommern. Von den wenigen Quellen aus der maurischen Zeit fällt die Mehrheit in die Periode der nasridischen Herrschaft im 14. Jh. in Granada. Überlieferungen belegen hier heiße Sommer und kalte Winter, so z.B. Ibn al-Jatīb in seiner Beschreibung eines

9 „... los mejores sitios para edificios que sean muy útiles y cómodos a los que hayan de habitar son los contruidos en terreno elevado; y los más a propósito aquellos cuyos cuartos tienen las puertas y ventanas a oriente por lo que esto contribuye a la salud de los que hayan de ocuparlos. (...) y con las puertas altas para que los aires las ventilen.“ (Ibn al-Awwam 12.Jh./1999: 767)

Festes Ende Dezember in der Alhambra. Aufgrund der Kälte fand dieses nur im Innenraum statt. Darauf lässt die Aussage schließen, dass Ibn al-Jatīb sich während des 12 Stunden andauernden Programms 'eingeschlossen' mit dem Sultan fühlte (García Gómez 1988: 56).

Vermeht finden sich Quellen ab dem Ende des 15. Jh., also nach der Rückeroberung von *al-Andalus* durch die Spanier, vor allem in Form von Reisebeschreibungen. Durch die Hervorhebung der angenehmen Frische in den schattigen Gärten werden die heißen Sommermonate immer wieder bestätigt. Navagero beschreibt eine Abweichung des üblichen Klimas von Granada: „Wegen der wahrhaftig übermäßigen Hitze im Sommer wird die Gerste im April geerntet (...) und im Mai war es kühler als gewöhnlich, was auf die Westwinde zurückzuführen ist, die einige Tage vorherrschten und die, sobald sie in dieser Region wehen, trotz des Hochsommers nicht nur eine Kühle, sondern eine regelrechte Kälte bewirken können.“¹⁰ Morgado widmet dem Klima in Sevilla im Jahr 1586 ein eigenes Kapitel und betont das Problem der Feuchtigkeit vor allem während der Wintermonate und die Reaktion des Städtebaus darauf. Dieser zeichnet sich in Sevilla durch flachere und offenere Bebauung aus, um während der extrem heißen Sommer den Wind durchzulassen und der winterlichen Feuchtigkeit durch Sonne entgegenzuwirken. Gegen die sommerliche Hitze wurden die Höfe der Wohngebäude mit reichlich Vegetation und vielen Springbrunnen ausgestattet und zudem mit Tüchern überspannt (Morgado 1586/2001: 120).

Dies zeigt, dass die klimatische Situation in *al-Andalus* (natürlich) regional durchaus unterschiedlich war. In Granada herrschten sehr trockene Sommer vor, dafür sorgte die nahe Sierra Nevada für kalte Winter. In Sevilla hingegen war das Klima sehr viel feuchter, dafür im Winter deutlich milder als in Granada. Die lokalen Unterschiede in der Gestaltungssprache sind auch als Reaktion darauf zu erklären.

Grundsätzlich war die Bedeutung von Gärten in ihrer Gesamtheit für die Luft der Städte auch damals schon erkannt („lungs through which a city breathed“) und z.B. im Fall von Granada durch die Festlegung der Gartenfläche auf 1/8 der städtischen Gesamtfläche reglementiert (Dickie 1992: 1022). Die Städte waren somit einerseits von einer Vielzahl an privaten ummauerten Gärten und dem allgegenwärtigen Wasser in der gesamten Stadt geprägt und andererseits von dem jeweiligen Palast, der wiederum die Betonung auf Gärten und Wasser legte. Bosch Vilá hält fest, dass sich grundsätzlich „... weder eine islamische Stadt ohne Paläste noch ein Palast ohne Springbrunnen und Gärten“ finden lässt.¹¹

10 „La cebada se recoge en Abril, por el calor que allí hace, que verdaderamente es excesivo en el verano... y el mes de Mayo hizo más fresco de lo que era menester, lo que debió á los vientos de Poniente que reinaron algunos dias, los cuales, cuando soplan, aunque sea en medio del verano, producen en aquella region, no sólo fresco, sino á veces frio.“ (Navagero 1524/1983: 39)

11 „No hay ciudad islámica sin alcázares ni alcázar sin fuentes y jardines“ (Bosch Vilá 1984: 273)

5.4 Der maurische Palastgarten

5.4.1. Allgemeine Gestaltungsprinzipien

Der maurische Palastgarten weist eine recht einfache Grundstruktur auf. Er ist auf einem formalen zumeist vierteiligen Raster aufgebaut und beruht auf dem Bewässerungsprinzip der Schwerkraft. Ein meist zentrales Sammelbecken für Wasser und wegbegleitende Wasserkanäle definieren dieses Grundraster, das Wasser fungiert somit als Organisationsprinzip (Dickie 1992: 1017). Diese Grundform geht auf arabische Gestaltungsprinzipien zurück. Sie findet sich grundsätzlich auch in der Grundform von römischen Atriumhäusern wieder, Dickie hält dazu jedoch fest, dass die ursprüngliche Gartenidee aus Asien kommt und die ersten römischen und griechischen Gärtner Generäle waren, die im Osten gedient haben: *„it was in the hot climate of Asia that the idea of grouping productive trees with flowers for fragrance or appearance irrigated from wells or canals first occurred.“* (ebd.: 1021).

Charakteristisch ist die Einführung von Wasser und Natur in die architektonische Umgebung und die Betonung der ebenen Fläche, was die Wirkung der formalen Grundform unterstützt und wiederum Assoziationen zu den in den Tälern gelegenen agrarischen Flächen zulässt. Erreicht wird der flächige Eindruck durch das Absenken der Beetflächen und der Wasserbecken, so dass die jeweiligen Oberflächen nahezu ebenerdig abschließen. Prieto Moreno beschreibt z. B. das Wasser im Becken des Patio de los Arrayanes als einen *„... sanft zu Füßen ausgelegten Teppich“*.¹²

Entscheidend ist jedoch die räumliche Fassung, die diese Gartenflächen zu erlebbaren Gartenräumen machen. Am prägnantesten ist dies in den durch Architektur bestimmten Gartenhöfen umgesetzt. Die Raumbildung findet sich auch in den weitläufigeren Gärten wieder: *„In den Gärten stechen eine Vielzahl von kleinen, geschützten Ecken hervor, die einmal mehr die Atmosphäre eines umschlossenen Bereiches haben“*.¹³

Häufig ist die Rede von *kioskos* (umrankte Pavillons) an Schnittstellen von Wegekreuzen, wie sie von einigen Autoren für den Patio de la Acequia und auch in der Beschreibung des idealen Gartens im Handbuch von Ibn Luyūn aus dem Jahr 1348 erwähnt werden (Ibn Luyūn 1348/1988: 273). Daneben gibt es aber auch bewusste Raumbildungen durch den unterschiedlichen Einsatz von Vegetation, sowohl vertikal als auch horizontal. So war z.B. der Zugang von der Alhambra zum Generalife *„ohne Zweifel überdacht von einem Gewölbe aus Vegetation“*.¹⁴

Auf diesen Grundprinzipien baut die Gestaltung der einzelnen Gartenräume auf, d.h. auf einer Präferenz und Betonung der Fläche im Kontrast zu den raumbildenden vertikalen Elementen. Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten von Vegetation und Wasser - flächig

12 *„... tranquilidad del agua, serenamente expuesta como una alfombra a sus pies.“* (Prieto Moreno 1983: 59)

13 *„En los jardines [...] destaca el número de los rincones pequeños, acogedores, que tienen una vez más el ambiente de un sitio cerrado.“* (Casamar und Kugel 1990: 247)

14 *„Mucho mejor ha conservado el carácter medieval el camino cubierto que, como atajo, sube penosa y rápidamente desde la ciudad palatina de la Alhambra al mismo huerto del rey (...) sin duda cubierto por una bóveda vegetal“* (Bermúdez Pareja 1965: 16)

und räumlich - machen diese Gestaltungselemente zu einem wesentlichen Bestandteil der maurischen Gartenarchitektur. Durch eine bewusste Integration erhält jeder Gartenraum seine eigene Bedeutung, seine besondere Atmosphäre und sein spezifisches (Mikro-) Klima. Daher soll in der Folge auf diese zwei Gestaltungselemente näher eingegangen werden. Es wird dabei umgehend deutlich, dass hier sehr enge Wechselbeziehungen existieren, und dass die Gestaltung der maurischen Gärten sowohl in sich als auch in Beziehung zur angrenzenden Architektur und Landschaft als ganzheitliches Konzept betrachtet werden muss.

5.4.2. Vegetation

Die typische Gartenform für *al-Andalus* ist eine Kombination aus Nutz- und Ziergarten im direkten Bezug zum Gebäude, der sogenannte *huerto-jardín*. Prieto Moreno beschreibt sie mit den Worten: „Die unterschiedlichen Pflanzen sind in schattigen Bosketten angeordnet, Gruppen von Obstbäumen über Gemüsebeeten, gefasst durch Mauern (...), Blühpflanzen auf der Fläche des Bodens (...) und in Blumentöpfen innerhalb der Häuser, um die Kontinuität des Gartens durch den Innenhof hindurch herzustellen.“¹⁵ Diese Kombination aus Nutz- und Ziergarten findet sich in allen Gärten wieder, so auch in den Gärten der Paläste. Im Laufe der Zeit hat sich in den Palastgärten jedoch eine zunehmende Trennung von Nutzgarten und 'Lustgarten' entwickelt. Innerhalb der Lustgärten wurden nach wie vor bestimmte Nutzpflanzen unter ornamentalen Aspekten verwendet. Der Fokus hatte sich auch auf eigens für sinnliche Zwecke eingesetzte Pflanzen verschoben. Ibn Luyūn widmet diesen ornamentalen Pflanzen in seinem agrarischen Handbuch ein eigenes Kapitel »140. Grupo tercero: plantas que sirven de recreo« (Pflanzen, die der Erholung dienen) und beschreibt sie als Pflanzen, die „für das Ergötzen des Auges und des Geruchssinns kultiviert werden“ und von denen „die Bemerkenswertesten in die Gärten gegeben werden“.¹⁶

Hier findet sich ein Widerspruch zu anderen Autoren, die den rein ornamentalen Garten als Erfindung der Renaissance ansehen. Es gibt unterschiedliche Aussagen zu den Verbindungen maurischer zu beispielsweise italienischer Gartenkunst der Renaissance. Viele Autoren vermuten einen Einfluss europäischer Gartenkunst auf die späten maurischen Gärten (z.B. Dickie 1992). Andere Autoren gehen vom Gegenteil aus. Interessant ist die Theorie, dass die figurativen Blumenbeete der Renaissance und später des Barocks ihre Ursprünge in den abgesenkten Beetflächen der maurischen Gärten haben (Tito Rojo 1999). Auch die Technik des Heckenschnittes ist bereits für den maurischen Garten in Quellen belegt und könnte ein Vorläufer der europäischen Topiarienkunst (Formschnitt) sein (Torres Balbás in Tito Rojo 1999: 61). Grundsätzlich ist das sehr schwer abzugrenzen, da immer ein enger Austausch bzw. Einfluss zwischen den Kulturen existierte und sich so z.B. die späte Nasridenzeit in Granada mit den Anfängen der europäischen Gartenarchitektur überschneidet.

15 „Las especies vegetales aparecen dispuestas en bosquetes de sombra, grupos de frutales sobre paratas de huerto, enredaderas sobre muros o paredes divisorias, techos de forma de parral, arbustos estratégicos dispuestos por su eficacia de color o de aroma, plantaciones de flores a ras de tierra y, por último, en macetas situadas en el interior de la casa, con el fin de establecer dentro de ella la continuidad con el jardín a través del patio.“ (Prieto Moreno 1983: 34)

16 „Las plantas que se cultivan para deleite de la vista y del olfato, o para utilizarlas como adorno, son muy numerosas, y las más notables se dan en los jardines.“ (Ibn Luyūn 1988: 263)

Die Vegetation wurde in den Palastgärten sowohl unter dekorativen als auch unter architektonischen und strukturellen Aspekten eingesetzt (z.B. Tito Rojo 2004: 306).

5.4.2.1. Gestaltung der Fläche

Die Absenkung der Beetflächen erleichterte die Bewässerung und verbesserte den Wasserhaushalt. Darüber hinaus betonte sie aber auch die formale geometrische Grundform von Garten und Architektur und verhinderte zudem ein Verdecken der Bauten durch Zweige. Zusätzlich ermöglichte die Absenkung 'Blütenteppiche', die auch für eine sitzende Person erlebbar waren, weil ebenerdig die Blüten der Pflanzen am besten zu sehen waren.¹⁷ Ein Vers des Poeten Ibn al-ÿayyāb verdeutlicht die künstlerische Ausformung dieser Blütenteppiche: „...es como un jardín en el que la lluvia / ha bordado dibujos con maravillosos brocados y colores; / muestra sus encantos a los hombres, y creerías / que hay túnicas bordadas en las flores del jardín“ (in Rubiera Mata 1994: 128). Von den Gärten der Alhambra und des Generalife ist z.B. für den Patio de los Leones (Löwenhof) und für den Patio de la Acequia (Hof des Wasserkanals) eine Absenkungstiefe der Beetflächen um bis zu 80 cm nachgewiesen. Von Gärten in dem Real Alcázar de Sevilla sind für den Patio de la Casa de Contratación (Hof der Börse) und für den Patio del Crucero (Kreuzbandhof) Tiefen bis zu 5 Meter bekannt. Hier kann von einer bewussten Raumbildung gesprochen werden, auf dieses Beispiel wird später noch näher eingegangen. Im oberen Abschnitt der Stützmauern waren Röhren zur Bewässerung der inneren Beetflächen integriert. Reste davon wurden z.B. nach dem Brand im Generalife für den Patio de la Acequia entdeckt (Bermúdez Pareja 1965: 28). Die Beetflächen waren üppig bepflanzt und u.a. auch mit Schatten spendenden Pflanzen wie Orangenbäumen ausgestattet.

5.4.2.2. Strukturierung des Raums

Bäume wurden auch ganz bewusst als Übergang von Innenräumen nach Außen in den Garten eingesetzt. Ein besonderes Beispiel stellt hier die Große Moschee in Córdoba dar. Die Säulenhalle wird durch die Pflanzung von Orangenbäumen im Gartenhof fortgesetzt, was ihm den Namen Patio de los Naranjos (Orangenhof) gab. Es entsteht der Eindruck einer Schatten spendenden Vorhalle. Marquesa de Casa Valdés hielt die besondere Atmosphäre mit folgenden Worten fest: „*Man kann sich das Gebet in der Moschee ausmalen, das durch die Säulen der Orangenbäume gefilterte Licht muss ein beeindruckendes Schauspiel von Geborgenheit und Poesie geboten haben*“.¹⁸ Umgekehrt wird auch die Vegetation innerhalb der Architektur aufgenommen, so verweisen z.B. Säulen in Form von Palmen auf die Oasen der Wüstenheimat.

Quellen belegen, dass der Heckenschnitt bereits in maurischen Gärten angewandt wurde. Navagero beschreibt dazu Anfang des 16.Jh. die Myrthenhecken in einem Gartenhof des Generalife und betont, dass diese „... so gleichmäßig geschnitten und dicht gewachsen

¹⁷ „Este desnivelación entre los arriates y los pasillos circundantes tenía varias funciones: primeramente, hacía resaltar el carácter geométrico del conjunto; segundo, el ramaje no podía llegar a suficiente altura para ocultar la arquitectura [...]; tercero, convertía el jardín en especie de alfombra floral...“ (Dickie 1965: 83)

¹⁸ „Se puede imaginar la oración en la mezquita, la luz filtrada a través de las hileras de naranjos ofrecería un espectáculo impresionante de recogimiento y poesía.“ (Marquesa de Casa Valdés in Casamar und Kugel 1990: 232)

waren, dass sie nicht Sträuchern sondern einer grünen und gleichförmigen Wiese glichen.“¹⁹ Die Myrthe eignete sich aufgrund ihres Wuchses und ihrer Klimaverträglichkeit besonders gut und wurde daher als Hauptpflanze eingesetzt. Ihr arabischer Name wurde in die spanische Sprache übernommen (*al-rayhān* = arrayán). Auch Lalaing erwähnt im Jahr 1501 Hecken in den Gärten des Generalife.²⁰

Über die Vegetation in den weitläufigeren Gartenteilen sind vor allem Aussagen zu ihrer raumbildenden und somit beschattenden und kühlenden Funktion überliefert, so erwähnt Navagero z.B. innerhalb der Gärten des Real Alcázar de Sevilla einen „... *Orangenhain, in den kein Sonnenlicht eindringt und der vielleicht den sanftmütigsten Ort von ganz Spanien darstellt.*“²¹ Auf weitere Beispiele dazu wird weiter unten näher eingegangen.

5.4.2.3. Wirkung auf die Sinne und das Mikroklima

Die sinnlichen Aspekte der Vegetation sind vielseitig: die Farbe und der Duft der Blüten und Blätter, der Duft und Geschmack der Früchte, das Geräusch des Blätterauschens im Wind, das ständig wechselnde Spiel aus Licht und Schatten, die Berührung, etc.

Licht spielt insgesamt eine große Rolle, sowohl bei der Konstellation der Gebäude im Zusammenspiel mit ihren *patios* (Innenhöfen) als auch in den Gärten selbst. Prieto Moreno betont die Abstufungen des auf jeden Gartenbereich abgestimmten und adäquaten Lichtes.²²

Die allgemeine mikroklimatische Bedeutung von Vegetation wird vor allem hinsichtlich der Beschattung beschrieben. Lalaing lobt im Jahr 1502 die kühlende Schattenwirkung der damals noch existierenden Orangenbäume im Löwenhof.²³ Aber auch abseits von ihrer Beschattungsfunktion wird die kühlende Wirkung von Vegetation thematisiert. Morgado beschreibt im 16. Jh. das Aufstellen von Pflanztrögen zur Erfrischung der Häuser innerhalb der kleinen Innenhöfe von Sevilla, in denen nicht genügend Platz für die Anlage von Gärten und Springbrunnen zur Verfügung stand.²⁴

19 „...tiene [el Generalife] varios patios con sus fuentes, y entre ellos uno con un estanque rodeado de arrayanes y de naranjos con una galería que tiene debajo unos mirtos tan grandes que llegan á los balcones, y están cortados tan por igual y son tan espesos, que no parecen copas de árboles, sino un verde é igualísimo prado“ (Navagero 1524/1983: 47)

20 „... el Generalife, que es bello entre los bellos, y de los bien trabajados al máximo, lleno de toda clase de frutos extraños, en el que hay hechos muchos setos donde brotan varias fuentes...“ (in García Luján: 63)

21 „... y dentro otros apacibles jardines, y en ellos un bosque de naranjos donde no penetra el sol, y es quizá el sitio más apacible que hay en toda España.“ (Navagero 1524/1983: 35-36)

22 „... el jardín de setos altos de Granada permite que entre las plantas cultivadas en todo su vigor se distinga una escala de luz exactamente adecuada.“ (Prieto Moreno 1983: 30).

23 „... preserva a las gentes del calor del sol y bajo los cuales siempre hace fresco.“ (in Casamar und Kugel 1990: 240)

24 „Y en las casas que falta este posible de poder tener jardines y fuentes, se suple con el agua fresca de pozos [...] y juntando muchas macetas [...] forman un florido prado en primavera que reverdece y refresca las casas.“ (Morgado 1586/2001: 121)

5.4.3. Wasser

Jesús Bermúdez Pareja beschreibt das Wasser als „... *eine der besterhaltenen islamischen Realitäten in der sonst außerordentlich restaurierten Alhambra*“ (in Kugel 1989: 35). Wie bereits erwähnt, baute sich das gesamte Wassersystem auf dem Prinzip der Schwerkraft auf, wobei das Wasser durch verschiedene Methoden jeweils zum höchsten Punkt der Palastareale geführt wurde, an dem sich die wichtigsten Gebäude befanden. Das Wasser versorgte dann in seinem Lauf alle Bereiche der Gebäude und Gärten und erfüllte somit die ihm zugeschriebenen Funktionen wie Trinkwasser-Versorgung, Hygiene und Bewässerung. Die Alhambra und die Gärten des Generalife werden zu großen Teilen bis heute auf der Basis des alten Wassersystems versorgt.

Durch seine Symbolik und aufgrund der kühlenden Wirkung fand das Wasser auch als eigenständiges Gestaltungselement Einzug in die Gärten und sorgt noch heute für die einzigartige Atmosphäre der einzelnen Gartenräume. Dabei spielte das Wasser als ruhige Fläche und als bewegtes Element - vor allem auch in der Vertikalen - seine besondere Rolle.

Einen guten Überblick über die verschiedenen Aspekte des Wassers und dessen gestalterische Integration in die Gärten der Alhambra bietet der Artikel »Das Wasser in der Alhambra« von Kugel (1989).

5.4.3.1. Gestaltung in der Fläche

Die ebenerdig abschließenden formalen Wasserbecken betonen die Fläche und unterstützen die Wirkung der Architektur. Durch die Spiegelung von Architektur, Natur und Himmel entstehen fortlaufend neue Perspektiven, deren Wirkung der Poet Ibn Zambrak in einem seiner Verse festhält: „*Confúndense a la vista, lo líquido y lo sólido, agua y mármol, y no sabemos cuál de los dos es el que se desliza*“ (in Prieto-Moreno 1983: 70). Kugel spricht diesbezüglich von der Einführung einer 4. Dimension (Casamar und Kugel 1990: 236). Größe und Tiefe der Becken und somit das Volumen an Wasser dienten zusätzlich der Verdeutlichung von Macht und Reichtum des jeweiligen Herrschers.

„*In urban architecture, pools are axial, placid and ample, not just to reflect the two porticoed sides but to cool the surrounding apartments during the summer.*“ (Dickie 1992: 1029). Sobald Bewegung ins Spiel kommt, erhöht sich sowohl der kühlende als auch der sinnliche Effekt von Wasser. Gerade die Kombination von ruhenden Wasserbecken und bewegtem Wasser und der Übergangsbereich von dem einen zum anderen (da im Lauf miteinander verbunden) hat einen starken sinnlichen und meist erfrischenden Effekt, wie Prieto Moreno es am Beispiel des Patio de los Arrayanes ausführt.²⁵

²⁵ „*La sumisión de los elementos naturales al servicio de una atmósfera mayestática se manifiesta en las dos fuentes de los extremos del estanque, cuyos surtidores, que brotan a escasa altura, borbotean como un manantial que se desliza en lento arroyuelo sobre el lago del estanque, proporcionando una impresión de frescura y el goce vitalizador de la Naturaleza, ...*“ (Prieto Moreno 1983: 60)

5.4.3.2. Gestaltung im Raum

Die bewegten Wasserelemente reichten von kaum wahrnehmbaren Wasserzuläufen über alle Formen und Größen bis hin zu hohen Springbrunnen. Ein wichtiger Aspekt waren die unterschiedlichen und für jede Brunnenform und -größe spezifischen Geräusche und die geheimnisvollen Effekte, die dabei erzeugt wurden.

Größe und Höhe eines Springbrunnens spiegelten die Macht des Herrschers wider. Wie weit die damalige Technik entwickelt war, verdeutlicht der Text Ibn al-Jatībs über die Alhambra aus dem Jahr 1362, in dem er einen Springbrunnen in einem *patio* erwähnt, dessen Strahl die Höhe eines Menschen übertrifft.²⁶

Während die Vegetation vor allem im Übergangsbereich eine Verbindung von Innen nach Außen darstellte, so war das Wasser selbst ein verbindendes Element, indem es sich in den Gebäuden fortsetzte. Navagero nimmt auf den Patio de los Arrayanes und die Fortführung des Wassers in den Innenräumen der angrenzenden Gebäude Bezug und betont, dass es „*in ihnen äußerst angenehm ist, den sommerlichen Mittagsschlaf zu verbringen*“.²⁷ Die klimatische Bedeutung dieses Gestaltungsprinzips wird in zahlreichen Quellen betont.

5.4.3.3. Wirkung auf die Sinne und das Mikroklima

Bei der Gestaltung mit Wasser tritt die Bedeutung der sinnlichen Aspekte besonders hervor. Wie oben erwähnt, bestimmt die Art und Weise der Integration von Wasser die Atmosphäre des jeweiligen Gartenraumes. Hervorzuheben ist neben der Kühlung vor allem eine rätselhaft geheimnisvolle, undurchdringliche Anmutung.

Kugel beschreibt die Vielseitigkeit des Wassers in den Gärten der Alhambra mit den Worten: „Es erfasst alle Sinne: das Auge, das Gehör, die Berührung bis hin zum Geruch. Das Wasser selbst ist der Protagonist.“²⁸

Je nach Technik werden bewusst unterschiedliche Klänge und Wirkungen erreicht und in einen Kontrast zur Stille gesetzt. Die Escalera del Agua (Wassertreppe) spielt durch die Kurven und die Profiländerung ihrer Handläufe mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Klängen, was den Dichter Ramón Jiménez zu folgenden Zeilen inspirierte: „... *el agua era mi sangre, mi vida, y yo oía la música de mi vida y la sangre era el agua que corría*“ (in Bermúdez Pareja 1965: 22). Im Patio de los Arrayanes sind dagegen spezielle 'schematische' Brunnen-schalen eingesetzt (*fuentes esquemáticas*), die einzig und allein die Bildung konzentrischer Ringe im Wasserbecken bewirken, ohne dabei ein Geräusch zu verursachen (Bermúdez Pareja in Casamar und Kugel 1990: 237). Kugel teilt die unterschiedlichen Klänge in meditative („*langsam, sanft, geheimnisvoll und sentimental*“) und stimulier-

26 „En el [patio] vierten los chorros de sutidores tan altas, que superan la talla de un hombre.“ (in García Gómez 1988: 73).

27 „... y en medio [Patio de los Arrayanes] hay un estanque lleno de agua que corre de una fuente, entra en el palacio y se reparte por él llegando hasta á las cámaras (...) Corre el agua por todo el palacio y por sus salas, si se quiere: en muchas de ellas se está muy bien en las siestas del estío.“ (Navagero 1524/1983: 47)

28 „Capta todos los sentidos: la vista, el oído, el tacto y hasta el olfato. El agua es protagonista por sí misma.“ (sic! Casamar und Kugel 1990: 240)

rende („schnell, fröhlich, belebend und erfrischend“) ein und hebt diese beiden Gruppen als „spirituelle Grundvoraussetzungen für künstlerisches Schaffen“ hervor.²⁹

Die sinnliche Wirkung von Wasser bezieht sich nicht nur auf den Klang. Unergründliche und tiefe Wasserbecken setzen einen Kontrast zu klarem Wasser in flachen Becken und bunt gekachelten Wasserläufen. Vor allem erzeugt das Spiel des Lichts mit der bewegten Wasseroberfläche, also das Spiel der Reflexion, unterschiedliche Bilder bis hin zur Illusion einer vermeintlichen Animation von Skulpturen. Besonders beeindruckend muss der von al-Maqqarī beschriebene gläserne Pavillon zu Zeiten al-Ma'mūns in Toledo gewesen sein: „*Water was conveyed to the top of the pavillon by a system devised by the engineers (...) The glass pavillon was enveloped by a veil of water that poured ceaselessly over the glass, and yet sitting inside of it al-Ma'mūn was untouched.*“ (in Ruggles 2006: 148). Es ist wahrscheinlich nicht zu weit hergeholt, dass durch die zusätzliche Lage des Pavillons inmitten einer Wasserfläche und durch das reflektierende Lichtspiel auf dem bewegtem Wasser nahezu der Eindruck einer Dematerialisierung und etwas fast Mystisches suggeriert wurde.

Die allgemein mikroklimatische Wirkung von Wasser ist bekannt und wird auch bei der Gestaltung maurischer Gärten und Wohnhäuser ausschlaggebend gewesen sein. Navagero (1524/1983) beschreibt das allgegenwärtig kunstvoll eingesetzte Wasser im Real Alcázar de Sevilla und betont die angenehme Wirkung im Sommer.³⁰ Ein wichtiges Kriterium stellten dabei die Nähe und Berührbarkeit der Wasseroberfläche dar. Es war üblich auf dem Boden zu sitzen und somit das Wasser in erreichbarer Nähe zu haben.³¹ Das Eintauchen von Händen und Füßen in das kühle Nass war und ist ein Teil des Erlebens in den Gärten. Ebenso allgegenwärtig war der erfrischende sprühende Effekt der eingesetzten Springbrunnen.³² Hinzu kamen noch bewusst integrierte Wasserspiele, die durch Öffnen und Schließen von Wasserzuläufen steuerbar waren. Dazu zählen auch die Bewässerungssysteme der abgesenkten Beeflächen, an denen Navagero offensichtlich Gefallen fand.³³ In dieser Hinsicht stellt die Escalera del Agua (Wassertreppe) in den Gärten des Generalife eine Besonderheit dar. Auf dieses Beispiel wird weiter unten noch näher eingegangen.

Das Handbuch von Ibn Bassal belegt, dass auch die Temperatur ausgleichende Eigenschaft des Wassers bereits im 11. Jh. bekannt war und in der Landwirtschaft bewusst

29 „Así se obtienen sonidos lentos, suaves, misteriosos y sentimentales para la meditación, y sonidos rápidos, alegres, animados y refrescantes para el estímulo: las dos grandes bases espirituales de la creación artística.“ (ebd.: 251)

30 „...tiene [el Alcázar] por todas artes hermosos mármoles y agua de pié abundantísima, hay baños y salas y várias cámaras, por todas las cuales pasa el agua con curioso artificio y son lugares verdaderamente deliciosos para el verano...“ (Navagero 1524/1983: 35-36)

31 „Se recuerda que los musulmanes se sentaban en el suelo, de modo que el agua estuviese al alcance de la mano.“ (Casamar und Kugel 1990: 246)

32 „... en medio de este patio hay una grande y hermosa fuente que arroja el agua á más de diez brazas de altura, y como el caño es muy grueso, forma un agradable murmullo, y las gotas que saltan y se esparcen por todas partes, refrescan á los que la contemplan.“ (Navagero 1524/1983: 48)

33 „Al patio cubierto de verdura con hermosos árboles, se hace llegar el agua de tal manera que cerrándose algunos canales, sin que el que en él está sepa cómo, ve crecer el agua bajo sus piés de manera que todo se moja.“ (ebd.: 130)

eingesetzt wurde.³⁴ Es liegt nahe, dass dieser Effekt auch in den *patios* mit ihren großen und tiefen Wasserbecken bewusst eingesetzt wurde.

5.4.4. Ganzheitlicher Gestaltungsansatz

Das, was den maurischen Garten in seiner Gesamtheit ausmacht, ist das Zusammenspiel bzw. die engen Wechselwirkungen aller oben genannten Aspekte. Die Gartengestaltung befindet sich in einer Art 'Spannungsfeld' von Natur und Architektur; Funktion und Design; Innen und Außen; Fläche und Raum; Nutzen und Sinnlichkeit; Licht und Schatten; Klang und Stille; etc. Die Liste könnte noch endlos erweitert werden. Die Ganzheitlichkeit ist die Basis für ein hohes Wohlbefinden innerhalb der Gärten (und der Paläste). Das erklärt, warum die Interpretation des maurischen Gartens als 'Paradies auf Erden' für viele Autoren so naheliegend ist. Ein Brief von Washington Irving an Antoinette Bolviller aus dem Jahr 1828 fasst dies eindrucksvoll zusammen und verdeutlicht Irvings Begeisterung für die Alhambra, die ausschlaggebend für den Schutz dieser Palastanlage vor weiterer Zerstörung war: „... *the Alhambra and Generalife have most excited our enthusiasm. The more I contemplate these places, the more my admiration is awakened for the elegant habits and delicate taste of the Moorish monarchs. The delicately ornamented walls; the aromatic groves, mingling with the freshness and the enlivening sound of fountains and runs of water, the retired baths, bespeaking purity and refinement, the balconies and galleries open to the fresh mountain breeze, and overlooking the loveliest scenery of the valley of the Darro and the magnificent expanse of the vega; it is impossible to contemplate this delicious abode and not feel an admiration of the genius and the poetical spirit of those who first devised this earthly paradise.*“ (Irving 2001: 288).

Determinanten in diesem Spannungsfeld sind einerseits das Wechselspiel von unterschiedlichen Raumerlebnissen – Prieto Moreno spricht hier von einer „*Vielfältigkeit von Raum, Dimensionen, Deckenhöhen und Intensitäten von Licht*“³⁵ – und andererseits das bewusste Wechselspiel und die Kombination von Vegetation und Wasser: „*Die kleinen Dimensionen, in denen sich dieses visuelle Spiel entwickelt, dienen gleichzeitig der größtmöglichen Abstraktion der natürlichen Elemente, die in der Intimität gebändigt und verwurzelt bleiben. Ebenso geschieht es mit dem Gehör, das aus einer sinfonischen Vielfalt schöpft, von der Stille eines geheimen Pavillons aus Lorbeer über das Plätschern eines Springbrunnens bis hin zum aufgeregten Zwitschern einer Nachtigall. Mit den Aromen der Blumen, mit dem Geschmack der Früchte, die sich in erreichbarer Nähe befinden oder der*

34 „Es típico de tales aguas que con el cambio de las estaciones experimentan, a su vez, algún cambio: cuando está el ambiente muy frío, ellas son templadas y blandas, de modo que cuando, por efecto del mucho frío, las verduras están como detenidas en su crecimiento, si se las riega con tales aguas, ellas se mueven y obtienen notoria mejoría; y viceversa, en tiempo de calor ellas están frías, y por esto benefician a las lantás regadas, con su frigidez.“ (Ibn Bassal 11. Jh./1955: 43).

35 „La variedad de espacio, dimensiones, alturas de techo e intensidades de luz, crea los climas propicios para el mayor goce de los sentidos, estableciendo una fusión, dentro de la unidad del jardín, entre los espacios exteriores e interiores, al introducir la naturaleza hasta los más íntimos rincones.“ (Prieto Moreno 1975: 10)

*Berührung des Wassers und der sommerlichen Morgenbrise.*³⁶ All das zusammen bildet „... einen Kontrapunkt der Unwirklichkeit eines erträumten Paradieses ...“³⁷

Die Beschattung ist ein wesentliches Kriterium. Sie wird einerseits durch die Raumbildung erreicht und andererseits durch zusätzliche Vegetation geschaffen. Eine Beschreibung der *patios* von Sevilla aus dem 16. Jh. zeigt, dass die Verschattung (z.B. bei fehlender Vegetation) auch durch aufgespannte Tücher bewerkstelligt wurde.³⁸ Die kühlende Wirkung der schattigen (Garten-) Bereiche wird in den meisten Fällen durch die Integration von Wasserelementen verstärkt.

5.5 Raumbildung anhand von Beispielen

Für die vorliegende Arbeit soll ein bestimmter Aspekt des Wohlbefindens herausgegriffen und näher untersucht werden: das thermische Wohlbefinden. Vegetation und Wasser stellen in den maurischen Gärten (neben der Beschattung im Allgemeinen) die wichtigsten Faktoren für die Schaffung eines angenehmen Mikroklimas und für die Steigerung des thermischen Wohlbefindens dar. Verstärkt werden diese Effekte durch die Gestaltung von (mehr oder weniger) umschlossenen Freiräumen, die einerseits den Anteil der Beschattung erhöhen und in denen andererseits das Mikroklima stärker beeinflusst werden kann, als in vollkommen offenen Gartenbereichen. Hierzu wurden verschiedene Methoden der Raumbildung angewandt. Auch die Beziehung von Innen und Außen hängt eng mit klimatischen Überlegungen zusammen. Die Raumbildung wird hier von der Architektur übernommen, der Raum selber wird aber entscheidend von seiner Ausgestaltung mit Vegetation und Wasser bestimmt. In der Folge soll auf ausgewählte Beispiele zu den unterschiedlichen Arten der Raumbildung und der Rolle von Vegetation und Wasser näher eingegangen werden. Dazu werden folgende Methoden zur Raumbildung unterschieden: a) Raumbildung durch Architektur; b) Raumbildung durch strukturell eingesetzte Vegetation; und c) Raumbildung durch Absenkung der Vegetationsflächen. Innerhalb der Gärten finden sich immer wieder Bereiche, in denen Wasserelemente bewusst durch die wachsende Vegetation eingeschlossen werden, sodass ein regelrecht überdachter Gartenraum entsteht. Daher soll auch d) der Aspekt von Wasser in Kombination mit raumbildender Vegetation betrachtet werden.

³⁶ „Las pequeñas dimensiones en que se desarrolla todo este juego visual sirven al mismo tiempo para lograr la máxima abstracción de los elementos naturales, que quedan dominados y prendidos en la intimidad. Igual ocurre con el oído, que goza de una variedad sinfónica, desde el silencio de una recóndita glorietta de laurel, al murmullo de una fuente y el trinar de un ruiseñor en celo. Con el olor de las flores, con el sabor de los frutos que se presentan al alcance de la mano o con el tacto del agua y la brisa de los amaneceres veraniegos.“ (ebd.: 15)

³⁷ „El aroma de las flores, la mínima musicalidad de las fuentes y el sonido lejano de las voces que ascienden desde la ciudad hasta la Alhambra, componen el contrapunto de irrealidad de un paraíso soñado, íntimo y personal, al que el propio rey se siente transcendido.“ (ebd.: 6)

³⁸ „Ponen gran cuidado en lavarlos y tenerlos siempre muy limpios [los patios], que con esto y con las velas que les ponen por lo alto, no hay entrarles el sol ni el calor en verano, mayormente por el regalo y frescor de las muchas fuentes de pie de agua [...] lo refrescan todo con gran contento, así de la vista como del oído.“ (Morgado 1586/2001: 121).

5.5.1. Raumbildung durch Architektur

5.5.1.1. Umbauter Gartenraum: Das Konzept 'patio-pórtico-torre'

Der Begriff '*patio-pórtico-torre*' stammt aus einer Studie von Jiménez-Alcalá (1999), die sich explizit den bioklimatischen Aspekten maurischer Architektur widmet. Da sich bestimmte Aspekte dieses Gestaltungskonzeptes auch in den anderen Beispielen der Raumbildung wieder finden, wird an dieser Stelle etwas ausführlicher darauf eingegangen.

Die Ursprünge der maurischen Architektur liegen in der bewährten Stadtstruktur von Wüstenregionen, also der Heimat der maurischen Herrscher. Diese waren durch geschlossene Stadtstrukturen gegen die trockenen und starken Wüstenwinde, durch eine dichte Bebauung als Schutz vor Sonneneinstrahlung und durch die Verwendung von dicken Mauern zum Erhalt von Kühle und Feuchtigkeit gekennzeichnet. Die Vorteile dieser Architektur wurden nach *al-Andalus* importiert und sowohl in der Stadtplanung als auch innerhalb der abgeschlossenen Paläste übernommen (Jiménez Alcalá 1999: 15). Der Fokus lag dabei auf der Wirkungskette Strahlung, Verdunstung und Ventilation. Sonneneinstrahlung und das Eindringen der heißen Außenluft wurden unter Berücksichtigung der notwendigen Belichtung, Befeuchtung und Belüftung minimiert. Die Orientierung der Gebäude spielte für die Einstrahlung und die Belüftung eine entscheidende Rolle. In den Handbüchern finden sich häufig Angaben zur optimalen Lage von Gebäuden (z.B. Ibn Luyūn 1348/1988). Fassaden wurden u.a. entlang der Nord-Süd-Achse orientiert. Die wenigen Ausnahmen begründen sich in ungünstigen Bedingungen der Topografie oder der bestehenden Stadtstruktur. Ein weiterer Faktor war die Verwendung stark reflektierender und sich wenig aufheizender Materialien wie z.B. weißer Marmore.³⁹ In die geschlossene Architektur wurden Gartenhöfe integriert - bzw. die Gebäude wurden so um die Gärten angeordnet -, dass geschlossene Gartenräume entstanden, die somit Teil der Architektur wurden. Die mikroklimatischen Vorteile der Gärten wurden für die Verbesserung des Klimas der angrenzenden Gebäude genutzt: Ein ausgefeiltes Gestaltungskonzept, von Jiménez Alcalá '*patio-pórtico-torre*' genannt, leitete die kühle und feuchte Luft des Gartenhofs durch die angrenzenden Innenräume (s. Abb. 5.1).

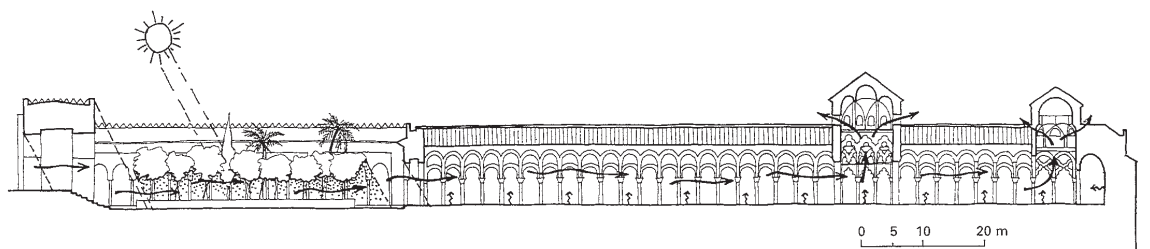


Abb. 5.1 : Das Konzept '*patio-pórtico-torre*' am Beispiel der Gran Mezquita de Córdoba (Jimenez-Alcalá 1999)

39 „Esta todo el pavimento enlosado de marmoles muy blancos, cercado de sorredores del mismo marmol“ (Caro 1634/1998: 56 K2)

Das Prinzip beruht auf unterschiedlichen Wirkungsmechanismen der Ventilation. Ausschlaggebend war die Stärke der umgebenden Gebäudemauern sowie die Anzahl, Verteilung und Größe der Maueröffnungen. Eine besondere Rolle spielt dabei die turmartige Gestalt des Hauptraumes, der sogenannten *qubba* ('*torre*'). Die Öffnungen im höchsten Abschnitt des Turms bewirken einen Austausch der obersten heißen Luftschicht in diesem Bereich. Da das Gebäude ebenerdig nur einseitig zum angrenzenden Gartenhof geöffnet war, wurde dessen kühle und feuchte Luft in den Raum hinein und nach oben gesogen. Der Innenraum wurde somit sowohl vertikal als auch horizontal belüftet. Je schneller die Hitze im oberen Turmbereich weggeführt wurde, desto höher war der Luftdruckunterschied und somit der Ventilationseffekt. Kleinere Löcher in der unteren Turmebene erleichterten zusätzlich eine gekreuzte Ventilation (Jiménez Alcalá 1999: 20).

Für den Grad der Kühlung waren neben der Ventilation zwei weitere Faktoren ausschlaggebend: die Ausformung des verschatteten Übergangsbereiches von Innen nach Außen ('*pórtico*') und die Ausgestaltung des Gartenhofs selbst ('*patio*'). Der *pórtico* (Säulengang) war derart ausgeformt, dass die hoch stehende Sonne im Sommer nicht in die angrenzenden Räume eindringen konnte und die Fassaden weitestgehend beschattet wurden. Er hatte die Funktion einer Art schattigen Vorsaaes. Im Winter dagegen konnte die niedriger stehende Sonne sowohl in die an den *patio* angrenzenden Räume als auch an die Fassaden vordringen. Die jahreszeitlichen klimatischen Bedingungen wurden somit berücksichtigt. Der *patio* war bestimmt durch die Verwendung heller, reflektierender Materialien, verschattender Vegetation, horizontaler Wasserflächen und Springbrunnen. Durch die starke Abgeschlossenheit des Gartenhofes konnte sich in ihm ein spezifisches, kühleres und feuchteres Mikroklima entwickeln. Die kühle und feuchte Luft wurde, wie oben erläutert, in die angrenzende Bebauung hineingesogen. Des Weiteren wurden fließende Wasserelemente integriert, die sich innerhalb der Gebäude fortsetzten und so für zusätzliche Verdunstungskühle sorgten. Jiménez Alcalá beschreibt den *patio* neben seiner Funktion als erweitertem Wohnraum im Freien als 'Thermoregulator' der gesamten angrenzenden Gebäude.⁴⁰

Neben den rein klimatischen spricht Jiménez Alcalá noch andere, sinnliche Aspekte an, die das allgemeine Wohlbefinden betreffen. Er hebt dabei vor allem das visuelle Wohlbefinden hervor. Die Regionen islamischer Kultur sind im überwiegenden Teil des Jahres durch intensive Sonne geprägt. Das erklärt die Präferenz für 'sanftere' dunkle und kühle Innenräume. Die Innenräume werden dementsprechend durch Fenstergitter indirekt belichtet, große Öffnungen finden sich nur zum schattigen *patio*, dessen Licht wiederum durch den vorgelagerten *pórtico* gefiltert wird. Öffnungen im oberen Bereich der Innenräume sorgen zusätzlich für einen dämmrigen Verlauf des Lichtes zum Boden, was eine intime, geheimnisvolle und beinahe spirituelle Wirkung verursacht. Als Kontrast werden direkte Lichtstrahlen oft punktuell eingesetzt (ebd.: 22). Dieses Spiel von Licht, Schatten und unterschiedlich reflektierenden Materialien findet sich auch innerhalb der Gärten wieder.

40 „Pero además de hacer de 'sala de estar' al aire libre, funcionaba como un termoregulador del resto de la vivienda. El patio acumulaba bolsas de aire fresco nocturno, semejante a un pozo, que aislaba del calor de día. Asimismo, proporcionaba sombra, una suave iluminación y más humedad (...) el patio hacía de colchón climático y ambiental de toda la vivienda: aislado del calor y la sequedad de afuera durante el día y, tras la puesta de sol, capaz de eliminar el calor almacenado.“ (Jiménez Alcalá 1999: 18)

Hier soll exemplarisch kurz auf den Patio de los Arrayanes (Myrthenhof) und auf den Patio de los Leones (Löwenhof) eingegangen werden. Beide entstanden gegen Ende des 14. Jh. und weisen bis heute ihre ursprüngliche Grundstruktur auf (Ruggles 2006: 181ff.) (s. Abb. 5.2).

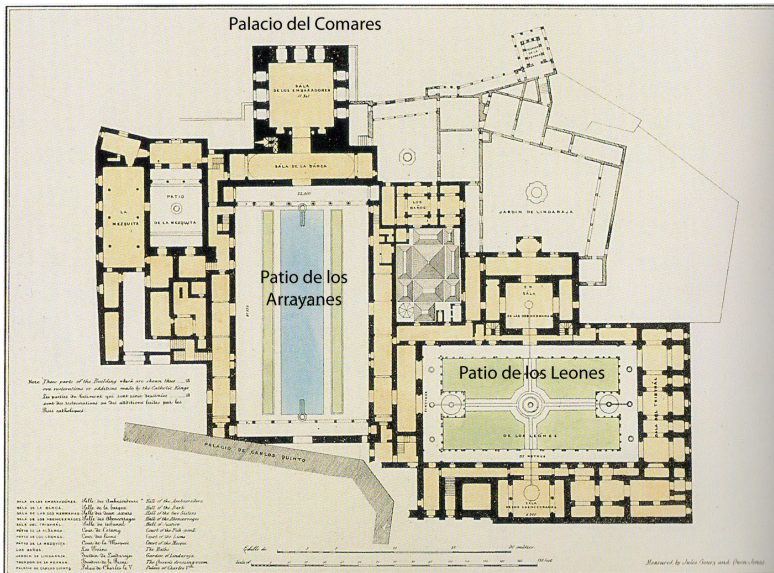


Abb. 5.2 : Plan des Patio de los Arrayanes und des Patio de los Leones von Owen Jones aus dem Jahr 1842 (in Barrucand 2002)

Der Patio de los Arrayanes besitzt eine Grundfläche von 44,5 m x 21,5 m (inkl. der durch *pórticos* überdachten Flächen). Die vollständig zum Himmel geöffnete Fläche nimmt ca. 37,5 m x 21,5 m ein und ist entlang der Nord-Süd-Achse orientiert. Er wird rundum von einer ca. 5 m hohen Bebauung eingefasst. Am nördlichen Ende befindet sich der Palacio de Comares, Thron- und Audienzsaal und somit der bedeutendste offizielle Raum des Palastes. Der auch als Patio de Comares bekannte *patio* hat daher einen sehr repräsentativen und eher öffentlichen Charakter (s. Abb. 5.3). Der Palacio de Comares besitzt die turmartige Gestalt einer *qubba* und ist zum *patio* hin geöffnet. Vor der Fassade befindet sich ein tiefer *pórtico*. Die gegenüberliegende Südfassade ist ebenfalls mit einem *pórtico* ausgestattet. Eine Beschattungsstudie des *patios* von Jiménez Alcalá verdeutlicht, wie wirkungsvoll die Kombination der Fassaden mit diesen Vordächern war (Jiménez Alcalá 1999) (s. Abb. 5.4). In der zentralen Achse befindet sich auf der gesamten Länge ein 7,5 m breites Wasserbecken, beidseitig von einer jeweils 2 m breiten geschnittenen Myrthenhecke begleitet. Die Beetflächen sind wiederum von schmalen Wasserkanälen eingefasst. Eine Beschreibung von Navagero überliefert zudem das Vorhandensein von schattenspendenden Orangenbäumen.⁴¹ Wasser und Vegetation nehmen einen Großteil des gesamten *patios* ein, dessen restliche Oberflächen mit weißem Marmor ausgestattet sind. Vor den Eingängen markieren Brunnenschalen mit Springbrunnen die Endpunkte des langen Wasserbeckens, das über Einläufe von eben diesen gespeist wird.

41 „El patio [de los Arrayanes] está enlosado con finos y blanquísimos mármoles, algunos de grandísimo tamaño, y en medio hay un estanque lleno de agua que corre de una fuente, entra en el palacio y se reparte por él llegando hasta á las cámaras: á los lados del estanque hay unas hermosas enramadas de mirtos y algunos naranjos.“ (Navagero 1524/1983: 46)



Abb. 5.3 : Der Patio de los Arrayanes (2010)

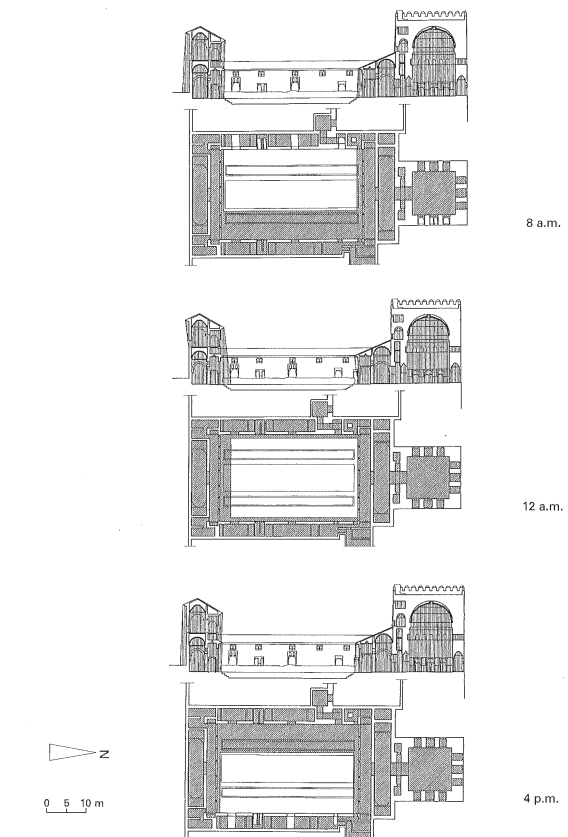


Abb. 5.4 : Beschattungsstudie für den Patio de los Arrayanes für verschiedene Tageszeiten am 21. Juni (Jimenez-Alcalá 1999)

Der benachbarte Patio de los Leones (benannt nach der Gestalt des zentralen Springbrunnens) wurde kurz nach dem Patio de los Arrayanes errichtet und wendet das Konzept *patio-pórtico-torre* noch ausgefeilter an. Aufgrund der damaligen strukturellen Bedingungen ist der *patio* zwar entlang der Ost-West-Achse ausgerichtet, die wichtigsten Räume befinden sich jedoch an den Enden der kürzeren Nord-Süd-Achse (Sala de las Dos Hermanas und Abencerrajes). Es handelt sich bei beiden um die wichtigsten Wohnräume des Palastes, der *patio* besaß daher einen intimeren, privaten Charakter. Der *patio* ist mit einer fast quadratischen Grundform von 33,5 m x 31 m (vollständig zum Himmel geöffnete Fläche ca. 26,5 m x 16 m) etwas kleiner als der Patio de los Arrayanes und hebt sich vor allem durch vier Besonderheiten von diesem ab: a) beide Haupträume sind als *qubbas* ausgestaltet; b) die *pórticos* befinden sich entlang der gesamten den Hof einfassenden Fassaden; c) das Gestaltungselement Wasser ist sehr viel konzentrierter innerhalb des *patios* und sogar in die Wohnräume integriert; und d) den überwiegenden Teil der Hoffläche nahm eine üppige Vegetation ein. Der *patio* wird gegliedert durch einen zentralen Springbrunnen und schmale Wasserkanäle entlang der Achsen, die von Springbrunnen an den jeweiligen Enden gespeist werden. An den Ost- und West-Enden sind diese jeweils doppelt innerhalb des vom *pórtico* verschatteten Bereiches situiert. Entlang der Nord-Süd-Achse befinden sich die Springbrunnen sogar innerhalb der Gebäude, Wasserkanäle führen das Wasser über Stufen in das Zentrum des *patios*. Die heutige Ausgestaltung der vier Beetflächen stimmt nicht mehr mit der ursprünglichen Gestal-

tung überein. Die konkav abgesenkten Beetflächen waren üppig bepflanzt. Der Poet Ibn Zamrak hielt den Charakter des *patios* in einer Inschrift fest: „*Este es el jardín / (...) / Jamás vimos jardín más floreciente, / de cosecha más dulce y más aroma.*“ (in Prieto Moreno 1983: 76). Lalaing betont die Wohltat des kühlen Schattens unter den Orangenbäumen.⁴² Insgesamt war der *patio* besonders wasser- und vegetationsbestimmt und zeichnete sich durch einen sehr hohen Grad an Verschattung durch *pórticos* und Vegetation aus (s. Abb. 5.5). Eine Untersuchung des Patio de los Leones hat ergeben, dass zur heißesten Tageszeit Unterschiede von bis zu 12°C und 15% relativer Luftfeuchte zwischen *patio* und dem kühleren Innenraum erreicht werden. Das Temperaturmaximum im Innenraum im Vergleich zum Außenraum verschiebt sich aufgrund der langsamen Fassadenerwärmung um ca. zwei Stunden (Jiménez Alcalá 1999). Dabei ist zu bedenken, dass die Studie unter aktuellen Bedingungen erstellt wurde und die kühlende und verschattende Wirkung der ursprünglichen Vegetation noch nicht berücksichtigt ist.

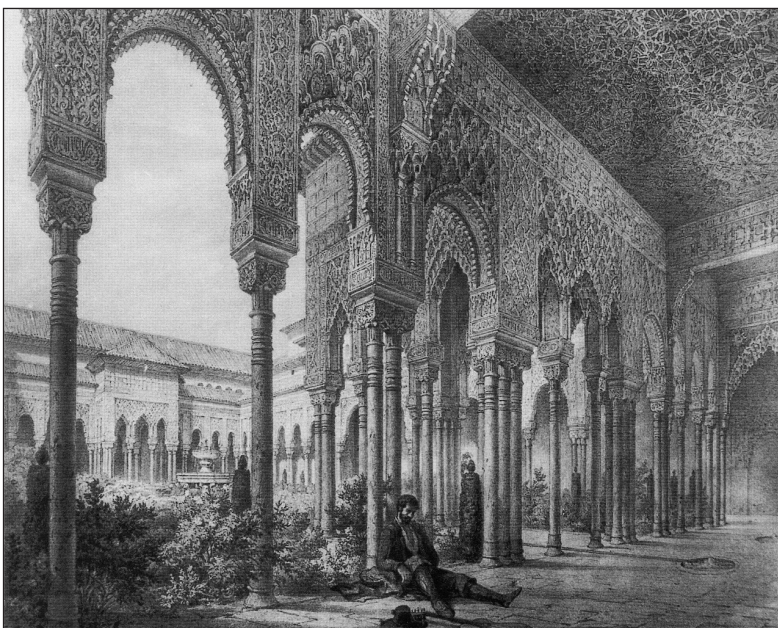


Abb. 5.5 : Stich vom Patio de los Leones aus dem 19. Jh. (in Barrucand 2002)

Das Beispiel der Gran Mezquita (Große Moschee) in Córdoba zeigt, dass dieses Konzept auch auf größere Dimensionen angewandt wurde. Der *pórtico*-Effekt wurde hier noch durch den Einsatz von Vegetation verstärkt: Orangenbäume setzen die Säulenarchitektur der Moschee im Freien fort und bilden somit eine Art schattige Vorhalle (s. Abb. 5.1).

5.5.1.2. Mikroklimatische Betrachtung

Wer einmal einen Hochsommer in Granada verbracht hat, kennt die gnadenlose trockene Hitze, die besonders im Juli und August die Stadt beherrscht. Abgesehen von den Gärten des Generalife sind innerhalb der Palastanlagen der Alhambra die verwinkelten Palastgebäude und begrünten, wasserbestimmten Höfe aus der nasridischen Zeit die mit

⁴² „... preservan [los naranjos] a las gentes del calor del sol y bajo los cuales siempre hace fresco.“ (Lalaing 1501 in Casamar und Kugel 1990: 238)

Abstand angenehmsten Aufenthaltsbereiche. Trotz des Massenansturms durch den Tourismus und der Unruhe durch Gruppen, die durch die *patios* geführt werden, lässt sich z.B. die einzigartige Atmosphäre im Patio de los Arrayanes nach wie vor erleben. Bis auf die Orangenbäume sind die ursprünglichen Gestaltungselemente erhalten. Einfache Messungen haben gezeigt, dass die Lufttemperatur um ein paar Grad niedriger und die relative Luftfeuchte etwas höher als z.B. in der Umgebung des Palastes von Karl V ist.⁴³ Hinzu kommt der Einfluss der Gestaltung auf das subjektive thermische Empfinden. Die formale Schlichtheit der Architektur und die Ruhe des Wasserbeckens, in dem sich die hellen Fassaden und das Blau des Himmels spiegeln, sowie das satte, großflächige und ebene Grün der Myrthenhecken wirken sich beruhigend aus und vermitteln ein Wohlbe-finden, das auch als angenehme 'Kühlung' spürbar ist. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Leichtigkeit der *pórticos*, die durch ihre besondere wabenförmige Struktur das von der Wasseroberfläche reflektierte Licht einfangen.

Im Löwenhof wurde leider die ursprüngliche Vegetation bis auf vier kleine und in die Ecken verbannte Büsche vollkommen entfernt. Trotzdem ist die formale Grundgestaltung mit den *pórticos*, Wasserkanälen und Springbrunnen und die Verbindung der Innenräume mit dem Hof durch eben diese Elemente nach wie vor beeindruckend, und das lässt einen Hauch von der damaligen Wirkung dieses Gartenhofes erahnen.

An dieser Stelle soll zum Vergleich kurz auf einen *patio* im Generalife Bezug genommen werden. Der Patio de la Acequia (Hof des Wasserkanals) ist streng genommen kein Hof, da er nur von drei Seiten durch Architektur gefasst ist (s. Abb. 5.14). Die vierte Seite wird durch eine Galerie in Form eines Säulenganges gebildet und öffnet sich zur Landschaft, was einerseits atemberaubende Ausblicke auf die Alhambra, die gesamte Stadt Granada und die Vega bietet und andererseits eine leichte Luftbewegung zulässt. Der Generalife ist der höher gelegene Sommerpalast der Alhambra, der Fokus lag somit rein auf der heißen Jahreszeit, während die *patios* der Alhambra und die angrenzenden Innenräume während der Wintermonate vor Kälte und Winden der Sierra Nevada geschützt werden mussten. Trotz der üppigen Vegetation und der vielfältigen Wasserelemente im Patio de la Acequia wird kein großer Unterschied in Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit erreicht, da die Öffnung eine schnelle Durchmischung der Luftschichten bewirkt und somit kein spezifisches Mikroklima ausgebildet werden kann. Neben der Luftbewegung wird das thermische Empfinden in diesem Gartenbereich zusätzlich besonders stark durch 'mikro-klimatisch-assoziative' Aspekte wie das Plätschern der Springbrunnen, die leuchtenden Farben der Vegetation und das Spiel des Lichtes in den Wasserstrahlen beeinflusst. An windstillen Tagen bildet auch dieser Gartenraum - ähnlich den anderen *patios* - sein spezi-fisches Mikroklima aus.

Sobald der Hauptbesuchsstrom im späten Herbst abnimmt, tritt die meditative Atmo-sphäre in den einzelnen Gartenbereichen noch deutlicher hervor. Während der kühlen Wintermonate bieten besonders die *patios* im nasridischen Teil der Alhambra sonnige und vor Wind geschützte Bereiche entlang der Fassaden. Durch die durchdachte Ausfor-mung der *pórticos* wird im Winter die wärmende Sonnenstrahlung auf die Fassaden und Eingänge der angrenzenden Gebäude zugelassen. Ebenso wie im Sommer wirken auch im Winter die starken Mauern isolierend. Durch die immergrüne Vegetation und das

43 Von der Autorin durchgeführte Messungen mit einer mobilen Wetterstation im Juni 2010

Wasserbecken behält der Patio de los Arrayanes seinen Charakter das gesamte Jahr hindurch. Den historischen Quellen ist jedoch zu entnehmen, dass die Gartenbereiche der Alhambra in den Wintermonaten aufgrund der Kälte so gut wie nicht genutzt wurden (s. 5.3.4).

Es lässt sich daraus schließen, dass neben der Ausgestaltung mit Vegetation und Wasser die umschlossene Struktur des Gartenhofes, der beschattete Übergang von Innen nach Außen und eine ausreichende Ventilation die wichtigsten Gestaltungsprinzipien für die *patios* darstellten. Die Ventilation war in den rundum abgeschlossenen Höfen durch das Konzept *patio-pórtico-torre* gegeben. In den *patios* des Generalife wurde die Ventilation durch Luftbewegungen aus der nahegelegenen Sierra erreicht. Dafür war eine gewisse Öffnung der Gartenbereiche zur Luftbewegung hin sinnvoll. Für die Gärten des Generalife ist auch eine von den weiter unten beschriebenen *bailarinas* überliefert. Auch hier spielt die Öffnung für Ventilation eine entscheidende Rolle.

Ein wesentliches Kriterium ist die sinnliche Ebene der Gartengestaltung, bezogen sowohl auf die räumliche Konfiguration, die Schutz (u.a. auch vor dem extremen Klima) und Geborgenheit vermittelt, als auch auf den ganzheitlichen Gestaltungsansatz innerhalb der einzelnen *patios* und angrenzenden Gebäude mit allen daraus resultierenden, oben erläuterten 'assoziativ-mikroklimatischen' Effekten.

5.5.2. Raumbildung durch strukturell eingesetzte Vegetation

5.5.2.1. Die bailarinas von Granada

Zu dieser besonderen Form der Heckenpavillons existiert kaum Literatur. Früheste Quellen finden sich ab dem 19. Jh., z.B. in Beschreibungen von Sir John Carr (1811) und von Rafael Contreras (1878). Sie haben ganz offensichtlich großen Eindruck auf den Maler Rusiñol gemacht, der die granadinischen Heckenpavillons in zahlreichen Gemälden zum Gegenstand machte. Die einzige gartenhistorische Studie stellt die Arbeit von Tito Rojo aus dem Jahr 1999 dar. Er prägte darin die Bezeichnung dieser Heckenpavillons als *bailarinas* (Tänzerinnen).

Hinsichtlich einer Raumbildung durch Vegetation können die *bailarinas* als eine Art Paradebeispiel angesehen werden. Es handelt sich hierbei um Heckenpavillons, die ohne weitere konstruktive Hilfsmittel rein aus der Vegetation geformt wurden. Sie stellen nach Meinung von Tito Rojo die logische Weiterentwicklung des Prinzips 'Imitation von Natur durch Architektur' in Richtung 'Natur als Architektur' dar (Tito Rojo 1999: 66). Der Wissenschaft gibt die Entwicklung der *bailarinas* Rätsel auf, da sie erst ab 1811 bei Carr Erwähnung finden (s.o.). Die weltweite Einzigartigkeit der *bailarinas* in Granada lassen Tito Rojo auf einen maurischen Ursprung schließen. Rusiñol beschreibt im Jahr 1922: „*Inmitten dieser Gärten (...) erheben sich Pavillons von herrlicher Symmetrie mit ihren Stalaktiten aus Blattwerk im grünen Dachgewölbe, ein Erbe der maurischen Kultur; mit ihren dichten Stämmen, geradlinig wie Säulen und Minarette, und ihre wie in den Moscheen überlagerten Torbögen. Im Boden fließt ein Wasserfaden, die ganze Palette an Dichte schattie-*

rend, und löst sich im Marmor eines im Wegekreuz situierten Springbrunnens unter dem Blätterdach auf.“⁴⁴ (s. Abb. 5.7).

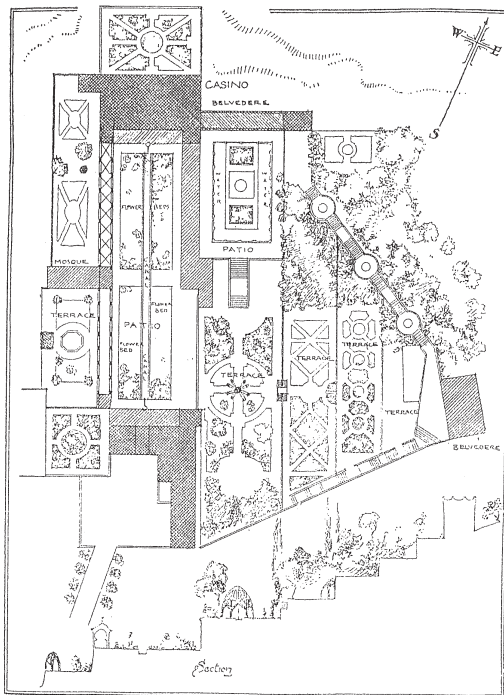


Abb. 5.6 : Plan des Generalife mit der zentral situierten ehemaligen bailarina von H. Inigo Triggs aus dem Jahr 1913 (in Tito Rojo 1999)



Abb. 5.7 : Foto der ehemaligen bailarina vom Generalife aus dem Jahr 1915 (Martínez Victoria in Tito Rojo 1999)

Auf alle Fälle finden sich in ihnen wesentliche maurische Elemente wieder. Die *bailarinas* sind kreuzförmig aufgebaut und mit einem zentralen Wasserbecken bzw. Springbrunnen ausgestattet. Sie sind grundsätzlich an der Schnittstelle zweier sich orthogonal kreuzender Wege angeordnet. Die einkommenden Wege werden jeweils mit zwei Zypressen eingefasst, wodurch ein Kreis aus acht Zypressen gebildet wird (s. Abb. 5.6). Diese werden auf einer Höhe von ca. 2 m in drei Richtungen verzweigt, wovon zwei jeweils zum benachbarten Baum zur Bildung eines Durchgangsbogens und der dritte hinauf zur vertikalen Mitte des Zentrums gebogen bzw. gezogen werden. Durch das zentrale Zusammentreffen der vertikalen Zweige wird eine Art luftiges Dach gebildet. Diese Grundform wurde durch zusätzliche Verzweigungen unterschiedlich gestaltet, was jeden Pavillon für sich einzigartig machte (s. Abb. 5.8). Entscheidend bei dieser Form des Heckenpavillons ist der rein vegetative Aufbau, der ohne konstruktive Hilfsmittel auskommt. Als Material wurde ausschließlich die Zypresse verwendet, die den großen Vorteil eines vertikalen Wachses mit gleichzeitig ausreichender Flexibilität und Biegsamkeit hat und zudem eine hohe Trockenheitsverträglichkeit besitzt (ebd.: 60). Der Nachteil ist die relativ kurze Lebenszeit, wodurch die *bailarinas* bereits nach 50-100 Jahren ihre Form verlieren. Die

44 „En medio de esos jardines (...) se alzan las glorietas, trasunto de la arquitectura árabe, de deliciosa simetría, con sus estalacticas de follaje en las bóvedas verdes; con sus troncos tupidos y rectos como columnas y alminares, y sus arcos superpuestos como en las mezquitas. Bajo su fronda, en el cruce de dos veredas, un hilo de agua fluye a ras del suelo, se matiza con toda la gama de la espesura, y se vierte en el mármol de un surtidos.“ (in Tito Rojo 1999: 67).

in den Quellen beschriebenen Heckenpavillons können also keine maurischen Originale gewesen sein, sie wurden jedoch als wichtiges Gestaltungselement in die granadinischen Gärten übernommen und so überliefert. Es finden sich in Granada häufig kreisförmige Gruppierungen von alten Zypressen, die einen Hinweis auf den Standort früherer *bailarinas* geben könnten (ebd.: 69).

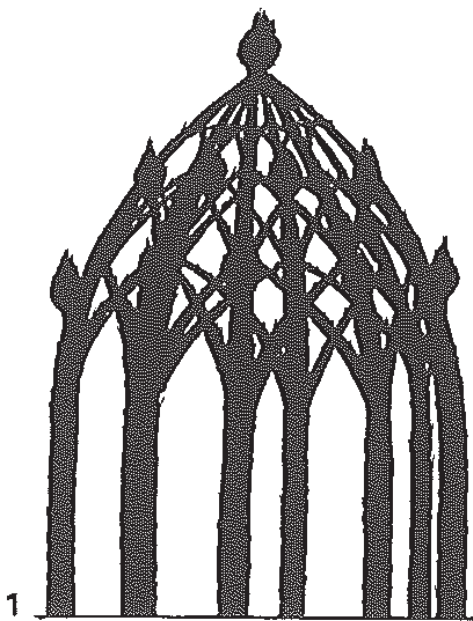


Abb. 5.8 : Schematische Darstellung einer bailarina (Tito Rojo 1999)



Abb. 5.9 : Aktuelle bailarina im Carmen Blanco der Fundación Rodríguez-Acosta, Granada (2010)

Heute ist nur eine bailarina in Granada erhalten. Sie befindet sich in der unteren Gartenebene des Carmen Blanco der Fundación Rodríguez-Acosta und wurde in den 1930er Jahren angepflanzt. Sie weicht im Grundriss leicht von der ursprünglichen Form ab (s. Abb. 5.9). Zudem befindet sich ein wesentlich jünger datiertes Exemplar im Generalife, das allerdings nur der Form nach einer *bailarina* entspricht, weil hier eine Stahlkonstruktion verwendet wurde und der Pavillon somit nicht der Tradition entspricht.

5.5.2.2. Mikroklimatische Betrachtung

Wie bereits erwähnt, existiert streng genommen keine einzige originalgetreue *bailarina*. Der ursprünglichen Form am nächsten kommt der Heckenpavillon im Carmen Blanco der Fundación Rodríguez-Acosta auf dem der Alhambra gegenüberliegenden Hügel. Das Eintreten in diesen Pavillon wirkt wie das Eintauchen in eine andere Sphäre (s. Abb. 5.10).

Der starke Kontrast zu dem außerhalb des Pavillons herrschenden grellen Sonnenlicht lässt das Innere angenehm dunkel und geheimnisvoll erscheinen. Das leichte Plätschern des zentralen Springbrunnens verstärkt diesen Eindruck. Die heißen Sonnenstrahlen werden völlig ferngehalten, der Raum strahlt eine angenehme Kühle und Ruhe aus. Durch die torbogenförmigen Eingänge und durch Lücken in der alten Stammstruktur strömt ein angenehmer Luftzug, durchzogen vom Zypressenduft. Dies ist ein überaus sinnlicher Ort.



Abb. 5.10 : Innenansicht der bailarina im Carmen Blanco der Fundación Rodríguez-Acosta, Granada (2010)

Der Heckenpavillon scheint allerdings sehr viel dichter und geschlossener, als es die überlieferten Abbildungen aus dem frühen 19. Jh. zeigen. Aber das Grundkonzept bleibt gleich: es werden schattige umschlossene und trotzdem luftige Bereiche innerhalb der Gärten geschaffen, die zusätzlich eine gewisse Intimität ermöglichen.

Warum diese Form des Heckenpavillons nur für Granada überliefert ist, lässt sich vermutlich auf die besonderen klimatischen Bedingungen zurückführen. Die Sommer sind durch extrem heiße und trockene Luft bestimmt, was sowohl eine Kombination aus Beschattung (Verminderung der Einstrahlung) und Ventilation (Steigerung der Konvektion) als auch einen verstärkten Einsatz 'Feuchte spendender' und kühlender Elemente wie Vegetation (Transpiration) und Wasser (Verdunstung) sinnvoll macht. Da die Gärten während des nur relativ kurz andauernden Winters nicht genutzt wurden, war ein stärkerer Windschutz durch dichtere Wandelemente nicht notwendig. In Sevilla herrschten andere klimatischen Rahmenbedingungen vor, die vermutlich auch zu der Entwicklung ortsspezifischer Gestaltungsprinzipien wie die der abgesenkten Gartenhöfe führten.

5.5.3. Raumbildung durch Absenkung der Vegetationsfläche

5.5.3.1. *Patio de la Casa de la Contratación und Patio del Crucero im Real Alcázar de Sevilla*

Wie oben erläutert, war die leichte Absenkung von Beetflächen ein gängiges Prinzip maurischer Gärten. Die hier behandelten Beispiele stellen eine Besonderheit dar, da

sie eine Tiefe von bis zu 5 m aufweisen. Beide *patios* gehörten ursprünglich zum Real Alcázar de Sevilla und wurden im 12. Jh. vermutlich durch die Almohaden errichtet. Der Patio de la Casa de Contratación (Hof der Börse), heute im Besitz der Stadtverwaltung, ist in seinen Grundzügen sehr gut erhalten. Der historisch bedeutendere Patio del Crucero (Kreuzbandhof) ist in seiner ursprünglichen Form nicht mehr erhalten, jedoch durch Quellen überliefert und Gegenstand aktueller Ausgrabungen und Untersuchungen. Er weist viele Parallelen zu dem benachbarten Patio de la Casa de Contratación auf, was bei der Rekonstruktion seines ursprünglichen Zustandes hilft. Es folgt daher zuerst eine kurze Beschreibung des aktuellen Zustandes des Patio de la Casa de Contratación (s. Abb. 5.11) und (s. Abb. 5.12).



Abb. 5.11 : Der Patio de la Casa de Contratación in Sevilla (Barrucand 2002)



Abb. 5.12 : Abgesenkte Beetflächen im Patio de la Casa de Contratación in Sevilla (2010)

Der Patio de la Casa de Contratación besitzt in seiner heutigen Gestalt eine Gesamtfläche von ca. 21 m x 34 m (inkl. vorgelagerter *pórticos* an der Nord- und Südfassade). Die vollständig zum Himmel geöffnete Fläche umfasst ca. 21 m x 28 m. Laut Manzano Martos (1995) handelt es sich hierbei ursprünglich jedoch um zwei unterschiedliche

Gartengestaltungen (beide aus der Zeit der Almohaden): die eine mit einer fast quadratischen Grundform von 21 m x 21 m, die andere sehr viel schmalere schließt direkt südlich an (ebd.: 118). An dieser Stelle soll auf die quadratische Grundfläche näher eingegangen werden. Sie wird durch ein ebenerdiges Wegekreuz in vier gleichgroße Beetflächen geteilt. Die Beetflächen sind um ca. 2 m in den Boden abgesenkt und werden durch ausgearbeitete Mauern gestützt. Die Mauern sind noch zu einem guten Teil erhalten und zeigen blinde Torbögen aus vorgesetzten Ziegeln und Verzierungen. Pollenanalysen haben ergeben, dass die Beetflächen ursprünglich mit Jasmin und Orangenbäumen bepflanzt waren (Ruggles: 144). Auf der oberen Ebene sind Wasserbecken in die Wegeachsen eingelassen und ein großes, rundes Wasserbecken mit Springbrunnen nimmt das Zentrum des Wegekreuzes ein.

Der nahe gelegene Patio del Crucero orientiert sich entlang der Ost-West-Achse und ist mit seiner Grundfläche von ca. 60 m x 40 m deutlich größer. Er wurde bereits kurz nach der Rückeroberung durch Spanien mit gotischen Elementen überbaut und später im 18. Jh. durch ein Erdbeben gänzlich zerstört. Heute findet sich zwar eine neue Gartengestaltung in diesem Bereich (Ruggles: 144), es ist aber inzwischen ein kleiner Abschnitt der alten Struktur wieder freigelegt.

Die früheste Beschreibung der abgesenkten Gartenflächen des Patio del Crucero ist aus dem Jahr 1634 überliefert. Dieser Quelle ist zu entnehmen, dass der Patio vom Palast aus ebenerdig zugänglich und kreuzförmig aufgebaut war. Der Verfasser Caro berichtet von einer vierteilten unteren Gartenebene (*subterraneo*), die mit Orangenbäumen bepflanzt war, deren Schatten spendende Kronen das obere Wegniveau erreichten. Es lässt sich daraus auf eine Tiefe von ca. 5 m schließen, dieser Wert wurde durch spätere Ausgrabungen bestätigt. Er spricht weiter von einem großen zentralen Wasserbecken und von Wasser, das in die untere Gartenebene hinunterfließt. Die interessanteste Erkenntnis aus dieser Quelle ist die Tatsache, dass die untere Ebene während der heißen Sommermonate als kühler Gartenraum genutzt wurde: „... und der Blick auf den abgesenkten Garten ist heiter und großartig, und das, was darunter verborgen ist, ist im Sommer das Schattigste und Erfrischendste, was man sich vorstellen kann.“⁴⁵

Die neueren Erkenntnisse vervollständigen das Bild: Eine aktuelle Studie von Reina Fernández-Trujillo (2007) versucht, die Grundzüge dieses *patios* zu rekonstruieren. Sie stützt sich dabei auf Ausgrabungen des Originalbestandes, die bisher nur einen kleinen Bereich aufgedeckt haben. Zu Zeiten der Almohaden (12. Jh.) befand sich demnach zwischen dem Palacio del Yeso und dem angrenzenden Gelände ein Niveauunterschied von (oben erwähnten) ca. 5 m (s. Abb. 5.13). Der *patio* wurde durch Aufstützen seiner Wege vom Palast ebenerdig zugänglich gemacht. Die untere Ebene war durch die als Galerien durchlässig gestalteten Mauern dieser Wege in vier gleich große Bereiche gegliedert. Sie war also mittels Torbögen als zusammenhängende Gartenfläche erlebbar. Von oben dagegen entstand ein Eindruck von vier abgesenkten Beetflächen, wie Caro ihn

45 „... y aunque en el [Patio del Crucero] se entra llanamente, tiene debaxo un jardin subterraneo de Naranjos, dividido en quartales; y es tan hondo, respeto deste patio, que apenas sale a emperejar los pimpollos de los arboles con el (...) contienen dentro de si un gran estanque de agua, que corre por lo baxo todo lo que el Cruzero por lo alto, y por los lados deste jardin ay tambien corredores, que sustentan los andenes, y corredores del patio de arriba (...) cercado en buena proporcion de lossas de marmol blanco: de modo, que este patio, assi por el mucho cielo que goza, como por su extraordinaria hechura, y las vistas al jardin subterraneo, es muy alegre, y gradioso, y lo que por lo baxo cubre, es para de verano la cosa mas sombria, y fresca, que se puede imaginar.“ (Caro 1634/1998: 56 K3)

in seinem Buch festhielt. Dickie spricht von zwei mal drei abgesenkten Beeten, wobei er bei den mittleren Absenkungen ehemalige Wasserbecken vermutet (Dickie 1992: 1024). Diese Annahme ist aufgrund der parallelen Ausgestaltung des benachbarten Patio de la Casa de Contratación nachvollziehbar. Im oberen Bereich der Mauern befanden sich verschließbare Öffnungen, die das Wasser aus den Wasserbecken entlang der inneren Wandflächen bis auf die untere Ebene herab leiteten und so für zusätzliche Kühlung und eine höhere Feuchtigkeit sorgten (ebd.: 1024).

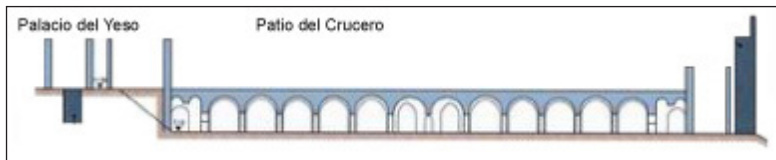


Abb. 5.13 : Schematischer Schnitt durch den ehemaligen Patio del Crucero im Real Alcázar de Sevilla (nach Fernández-Trujillo 2007)

Manzano Martos (1995) nimmt auf die Beschreibungen von Caro und die Arbeiten von Torres Balbás in den 1960er Jahren Bezug und führt aus, dass die beiden Gartenebenen jahreszeitlich unterschiedlich genutzt wurden: „... die obere Ebene stellte in den Wintertagen ein angenehmes Solarium dar (...) während sich die feuchten und dunklen Galerien mit ihrer großen Zisterne und mit ihrem durch den Orangenhain gefilterten Licht als dankbares Refugium vor der großen Hitze des Sommers erwiesen.“⁴⁶

5.5.3.2. Mikroklimatische Betrachtung

Die ursprüngliche Struktur des Patio del Crucero ist bislang nur in einem sehr kleinen abgegrenzten Bereich freigelegt und für die Öffentlichkeit nicht zugänglich. Hier sollen die Eindrücke aus dem benachbarten Patio de la Casa de Contratación wiedergegeben werden, die Rückschlüsse auf den ersteren zulassen. Der Patio de la Casa de Contratación ist in einem erstaunlich guten Zustand. Das obere Wegekreuz ist inklusive der mittig eingelassenen Vertiefungen (vermutlich ehemals Wasserbecken) erhalten, auch die Stützmauern der abgesenkten Beetflächen sind noch weitgehend intakt. Die Tiefe der Absenkungen beträgt 'nur' ca. 2 m, was den von Caro beschriebenen Eindruck des Patio del Crucero leider nicht wiedergeben kann, da die heutige Vegetation weit über das Wegeniveau in die Höhe reicht. Man braucht ein wenig Phantasie, um sich in die frühere Gestalt mit dem auf Wegeniveau abschließenden Vegetationsteppich und den Wasserelementen einzufühlen. Die Besonderheit und Ruhe dieses Ortes ist aber auch so sofort spürbar.

In den meisten Studien zu den maurischen Gärten wird die Absenkung der Beetflächen unter bewässerungstechnischen und/oder symbolischen Aspekten diskutiert. Vor dem Hintergrund der Palastgärten als Experimentierfelder zur Akklimatisation von Vegetation liegen jedoch auch mikroklimatische Aspekte auf der Hand. Durch die Absenkung der Beetfläche wird der Wurzelraum beschattet und die Feuchtigkeit besser im Boden gehalten. Zudem ermöglicht diese Form der Beete das Eindringen der Wurzeln auch

⁴⁶ „... el alto resultaba un placentero solarium en los días de invierno (...) mientras que las galerías, húmedas y lóbregas, con su gran alberca, con su tamizada luz filtrada a través del bosquecillo de naranjos, resultaban grato lugar de refugio para las fuerte calores del verano.“ (Manzano Martos 1995: 110).

in tiefere Erdschichten. Es wird ein isolierter Gartenraum mit einer geringeren bodennahen Lufttemperatur und einer höheren Boden- und Luftfeuchtigkeit geschaffen. Den Handbüchern ist zusätzlich zu entnehmen, dass Schatten spendende Bäume mit einer entsprechenden Unterpflanzung kombiniert wurden. Es liegt nahe, dass die Mauren, für die das eigene Wohlbefinden so wichtig war, bei diesen Gestaltungskriterien auch an ihren eigenen Komfort dachten. Es stellt sich allerdings die Frage, warum diese unteren genutzten Gartenebenen nur für Sevilla überliefert sind. Dazu ist erneut anzumerken, dass nur wenig Information über nur sehr wenige maurische Gärten überliefert ist. Es lassen sich aber auch klimatische Gründe herleiten. Sevilla ist aufgrund der Lage am Fluss für sehr feuchtes Klima und geringe Luftbewegung bekannt. Der Beschreibung von Morgado aus dem Jahr 1586 ist zu entnehmen, dass die Feuchtigkeit vor allem im Winter ein großes Problem darstellte, was zu dieser Jahreszeit eine größtmögliche Einstrahlung der Sonne sinnvoll machte. Im Sommer dagegen war die extreme Hitze das größere Problem und somit eine Beschattung das primäre Anliegen. Darin begründet sich vermutlich auch die überlieferte Methode der 'flexibel' handhabbaren aufgespannten Tücher in den *patios*. Die Ausformung von Gartenbereichen, die im Sommer eine stark beschattete und kühle untere Ebene und im Winter die sonnenbeflutete obere Ebene boten, stellen ebenfalls eine logische Antwort auf diese jahreszeitlich bedingte Klimasituation dar. Unter Berücksichtigung des Wissens über Techniken zur natürlichen Belüftung (s. Konzept *patio-pórtico-torre*) ist anzunehmen, dass auch diese abgesenkten Gartenebenen über eine ausreichende Ventilation verfügten.

5.5.4. Das Zusammenspiel von Wasser und raumbildender Vegetation

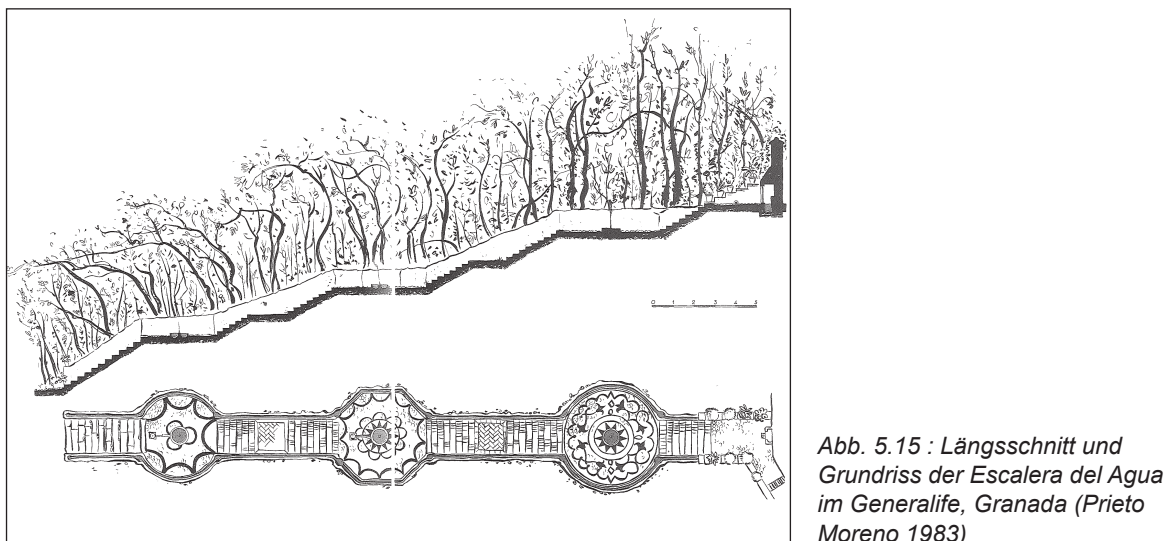
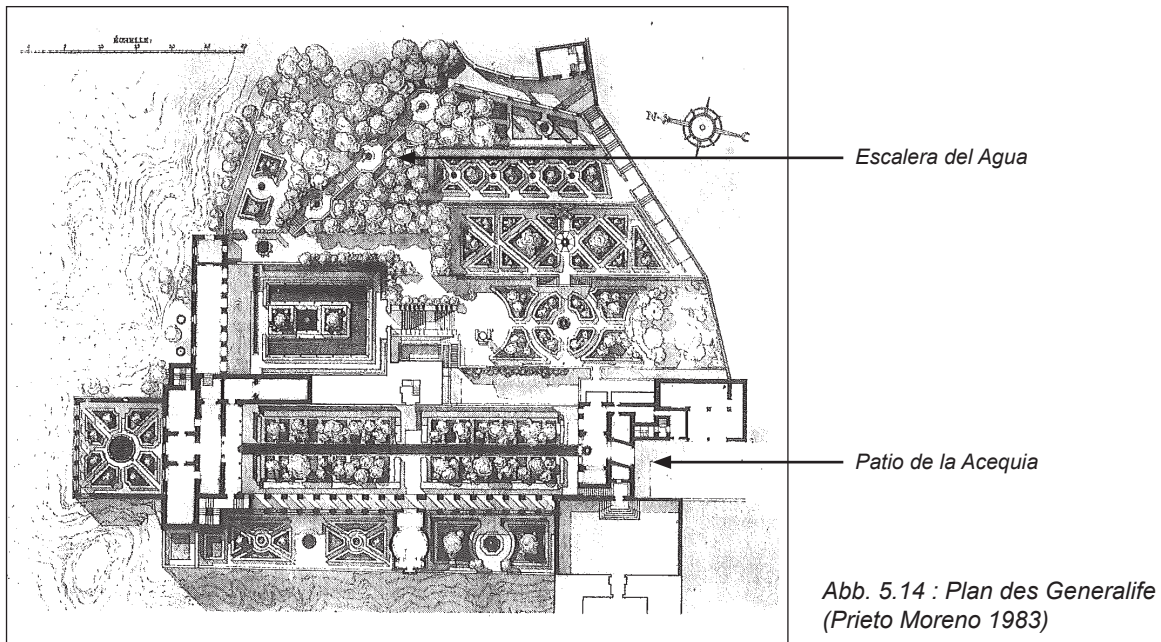
5.5.4.1. Die Escalera del Agua im Generalife, Granada

Die Herausbildung eines mehr oder weniger abgeschlossenen Gartenraumes und die damit verbundenen mikroklimatischen Vorteile finden sich innerhalb der großräumigeren Palastgärten auch ohne besonderen Einfluss von Gebäuden oder ohne strukturell eingesetzte Vegetation wieder. Eine Besonderheit stellt dabei die bis heute in ihren Grundzügen erhaltene Escalera del Agua (Wassertreppe) in den Gärten des Generalife der Alhambra in Granada dar (s. Abb. 5.14). Zu diesem Gartenraum gibt es zahlreiche Überlieferungen durch Reisebeschreibungen ab dem frühen 16. Jh., da die Alhambra wegen der langen maurischen Herrschaft als besonders romantischer Ort bekannt war und als beliebtes Reiseziel der Europäer galt. Kugel beschreibt die Escalera del Agua als „*einen der authentischsten Orte*“ der Alhambra.⁴⁷

Die Wassertreppe steigt über 51 Stufen von dem Patio de la Sultana steil hinauf zu einem Oratorium und sollte auf einer religiös-symbolischen Ebene den Reinigungsgang auf dem Weg zum Gebet darstellen. Im Treppenverlauf bilden sich drei nach oben leicht größer werdende runde Podeste aus, in denen jeweils eine flache Brunnenschale mit Springbrunnen beinahe ebenerdig eingelassen ist. Die Treppe wird im gesamten Verlauf beidseitig von einer hüfthohen Mauer eingefasst, in deren Handläufe Aushöhlungen für einen

⁴⁷ „... la majestuosa Escalera del Agua, uno de los sitios más auténticos de este monumento [de la Alhambra].“ (Casamar und Kugel 1990: 244)

Wasserlauf eingearbeitet sind. Umgeben ist die Treppe von einer dichten Bepflanzung mit immergrünen Lorbeerbäumen, die sowohl seitlich als auch nach oben hin einen Raumabschluss bilden (s. Abb. 5.15). Dickie vermutet, dass sich Ibn Luyūn bei der Beschreibung eines schattigen Wasserkanals in seinem Handbuch auf eben diesen Bereich bezogen hat.⁴⁸



Die Wassertreppe stellt bis heute einen nicht nur unter mikroklimatischen Aspekten überwältigenden Gartenraum dar. Sie verkörpert die weiter oben beschriebene Bedeutung der sinnlichen Aspekte: das Spiel aus Licht und Schatten, das Gurgeln des Wassers, das Rauschen der Blätter im Wind, der frische Geruch des Wassers und der Vegetation und,

⁴⁸ „... la Escalera del Agua, que, cubierta de su bóveda de laureles, corresponde a la «acequia donde corre el agua bajo la sombra» a que alude Ibn Luyūn.“ (Dickie 1965: 84)

besonders wichtig, die Möglichkeit zur Berührung des kühlen Wassers in den Handläufen und die Frische der Springbrunnen und. Hauptelement ist hier das Wasser, die Vegetation bildet nur den Rahmen und intensiviert die Effekte des Wassers durch den Raumabschluss (s. Abb. 5.16). Geräusche von Außen werden gedämpft und die unterschiedlichen Klänge des Wassers. Die durch das bewusste Spiel mit den Profilen in den Handläufen erzeugt werden, beherrschen diesen Gartenraum. Die Wasserzuläufe - sowohl der Handläufe als auch der mit schmalen Wasserkanälen über die Stufen hinweg miteinander verbundenen Springbrunnen - waren einzeln steuerbar und inspirierten zum spielerischen Umgang mit dem Wasser. Sie konnten alle zugleich geöffnet werden, „*was den Wasserfluss in dem Maße erhöhte, dass die Stufen überflutet und auf ihnen hinaufsteigende Personen genässt wurden.*“⁴⁹ Aber auch mit normalem Wasserfluss boten und bieten die Handläufe und die Springbrunnen die Möglichkeit zur beiläufigen Erfrischung.



Abb. 5.16 : Blick hinab auf die Escalera del Agua im Generalife, Granada (2010)

Quellen aus dem 16. und 17. Jh. beschreiben diesen Gartenteil als einen besonders 'vergnüglien' und 'erfrischenden' Ort. Verstärkt wird der sinnliche Eindruck noch durch das Spiel von Licht und Schatten und durch die Reflexionen der bewegten Wasseroberflächen.⁵⁰

49 „La escalera está labrada por tal arte que los peldaños están ahuecados para poder recibir el agua, y los pasamanos tienen las piedras de la cimera talladas, formando una canal que corre de alto abajo; y como en lo alto están separadas las llaves de cada una de estas partes (...) pudiéndose también abrir todas á la par, aumentándose el caudal de suerte que inunda toda la escalera y se mojan los que por ella suben“ (Navagero 1524/1983: 48).

50 „Un caudal no sólo de agua, sino también de reflejos, de luces tamizadas y de sonidos, por lo que la humedad allí atrae y retiene, porque es humedad alegre, fresca, sin mohos ni arañas.“ (Bermúdez Pareja 1965: 22).



Abb. 5.17 : Handlauf der Escalera del Agua im Generalife, Granada (2010)

5.5.4.2. Mikroklimatische Betrachtung

Der Kontakt mit dem kühlen Nass (Quellwasser aus den Bergen) ist wohl in keinem anderen Bereich der Alhambra so direkt wie bei der Escalera del Agua im Generalife. Das kraftvoll herabstürzende Wasser beherrscht hier alle Sinne, von der Variation an unterschiedlichen Klängen über den frischen Geruch bis hin zu dem unmittelbaren Kontakt mit dem Element Wasser. Kaum eine heraufsteigende Person, die nicht wie unbewusst im Vorübergehen die Hände und Arme in die wasserdurchspülten Handläufe gleiten lässt. Und kein Kind, das diesen Ort nicht für Wasserspiele im Sinne von 'aufstauen, loslassen, nass spritzen' nutzt, genau so, wie es schon aus dem 15. Jh. in den Reisebeschreibungen überliefert ist. Hinzu kommt die geschlossene umgebende Vegetation, die dabei trotzdem so licht ist, dass ein lebendiges Spiel aus Sonnenlicht, Reflexion und Schatten entsteht (s. Abb. 5.17).

In vielen Studien wird die symbolisch-religiöse Bedeutung dieser Stufenanlage als Reinigungsweg zum am oberen Ende gelegenen Oratorium betont. Zu keinem anderen Ort in den Gärten finden sich aber auch so viele übereinstimmende Äußerungen zu der erfrischenden und somit mikroklimatischen Wirkung des Wassers. Mit der Umrahmung der Stufenanlage durch Vegetation und der somit geschaffenen Raumbildung wird dieser Effekt noch intensiviert.

5.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Es ist faszinierend, wie im Endeffekt mit 'einfachen' Mitteln große Effekte erzielt werden können. Die Gestaltungsprinzipien der Mauren sind dabei ein Produkt von intensiver Forschung, permanentem Experimentieren und aktivem Wissensaustausch. Sie sind sowohl Reaktionen auf als auch Eingriffe in bestehende natürliche Klimabedingungen zur Verbesserung der Lebensqualität.

Als wichtige **mikroklimatisch wirksame Gestaltungsprinzipien maurischer Gärten** können gelten:

1. der besondere **Umgang mit dem Gestaltungselement Wasser**
2. die **bewusste Auswahl der Vegetation** (auch unter dem Aspekt der Beschattung) und vor allem
3. die gartengestalterische Raumbildung von **umschlossenen Freiräumen innerhalb der Freiräume**

Die gartengestalterische Raumbildung ermöglicht das Ausbilden eines spezifischen Mikroklimas, sowohl innerhalb des Gartenraumes selbst, als auch für eine angrenzende Bebauung. Die Techniken dazu umfassen

- a. die **Raumbildung durch Architektur**
- b. die **Raumbildung durch Vegetation**
- c. die **Raumbildung durch Absenkung** eines Freiraums.

Die Umschließung durch Vegetation findet sich sowohl als eigenständiges formales/strukturelles, also bearbeitetes Element (s. Beispiel *bailarina*) als auch in Form einer Umrahmung von bestimmten Gartenbereichen durch natürlich wachsende Vegetation (s. Beispiel Escalera del Agua). Das Mikroklima wird einerseits durch die Art und Weise der Raumbildung selbst und andererseits durch eine zusätzliche Integration von Vegetation und Wasser beeinflusst.

4. 'assoziativ-mikroklimatische' Aspekte

Das sind z.B. positive Effekte durch Aromen, Klänge, haptische Eindrücke, Licht- und Schattenspiele, Farbkombinationen etc.

5. ganzheitlicher Ansatz

Dieser Ansatz wird z.B. im Zusammenspiel von Funktion und Design, von technischen und sinnlichen Gestaltungsaspekten und im engen Bezug zwischen dem Innenraum (Architektur) und dem Freiraum (Garten) deutlich. Das Wohlbefinden war dabei immer ein wesentliches Ziel.

Diese besprochenen Prinzipien bestimmen grundsätzlich alle maurischen Gärten. Es gibt dabei keine 'Pauschallösung' für die Gestaltung mikroklimatisch angenehmer Freiräume, im Endeffekt muss immer abgewogen werden, welche Aspekte jeweils Priorität haben und somit die Grundgestalt weiter bestimmen.

Es sind dafür sowohl

6. **jahreszeitliche Veränderungen** als auch

7. **regionale klimatische Unterschiede** zu beachten.

In Granada lag der Fokus auf den heißen Sommermonaten, da der Winter zwar extrem kalt, dafür aber auch nur von sehr kurzer Dauer ist. Beschattung und Ventilation sind hier die wichtigsten strukturellen Gestaltungskriterien und die *bailarinas* eine logische Antwort darauf. Dort, wo nicht genügend Luftbewegung gegeben ist, z.B. innerhalb der gebauten Strukturen, wurde durch ein besonderes Gestaltungskonzept eine natürliche Ventilation geschaffen (s. *patio-pórtico-torre*).

In Sevilla lag der Fokus entsprechend eher auf den milden, dafür aber sehr feuchten Wintermonaten, in denen eine möglichst großflächige Besonnung Vorrang hatte. Die heißen Sommermonate wurden dann durch zusätzliche Gestaltungselemente berücksichtigt, wie z.B. durch das Absenken einer zweiten Gartenebene oder einfach durch das Aufspannen von Tüchern.

Aus dem Beispiel der maurischen Gärten lässt sich also u.a. lernen, dass Prioritäten gesetzt werden müssen. Das schließt jedoch nicht aus, dass es auf einer gesamtheitlichen Ebene Kriterien gibt, die grundsätzlich zu beachten sind. Das Einsetzen von Vegetation und Wasser in der Vertikalen, die damit verbundene Raumbildung und die sinnlichen Aspekte haben überall Gültigkeit.

6. Simulationen im städtebaulichen Kontext

6.1 Einführung

Die Simulationen geben Aufschluss darüber, welche Auswirkungen bestimmte Gestaltungsmaßnahmen tatsächlich auf das Mikroklima haben. Die dabei untersuchten Vorgehensweisen basieren auf den Forschungsergebnissen zu den maurischen Gärten und werden in einen konkreten zeitgenössischen städtebaulichen Kontext gesetzt.

Die Ergebnisse werden vor allem mit der Perspektive einer Übertragung auf konkrete Planungsprozesse untersucht und mit der Fragestellung, inwieweit das Instrument der Simulation für die Formulierung von städtebaulichen bzw. landschaftsarchitektonischen gestalterischen Lösungen hilfreich sein kann.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchung liegt auf der speziellen Raumbildung innerhalb des Freiraums und auf deren Potential, das Mikroklima eines Stadtraumes zu beeinflussen. Im Kapitel zu den maurischen Gärten wurden dazu unterschiedliche Methoden aufgezeigt. In der weiteren Untersuchung soll es vorrangig um die Bildung von 'Freiraum im Freiraum', also um gebäudeunabhängige Konzeptentwicklungen gehen.

Vorab ist zu klären, welches Programm für die Untersuchung Anwendung finden soll, inwieweit die konkreten Aspekte beim derzeitigen Entwicklungsstand des ausgewählten Programms simuliert und abgebildet werden können, und welche Rahmenbedingungen für die Durchführung und Auswertung der Simulationsreihen festzulegen sind.

6.2 ENVI-met 4.0

Für die vorliegende Untersuchung wurde das von Michael Bruse und seinem Team (Geografisches Institut der Johannes Gutenberg Universität Mainz) entwickelte Programm ENVI-met verwendet. ENVI-met ist ein dreidimensionales mikroskaliges Modell und dient der Simulation von Wechselwirkungen zwischen Oberflächen, Vegetation und Luft speziell für einen städtebaulichen Kontext. Es beruht dabei auf den Gesetzen der Strömungslehre und der Thermodynamik. Bei der Simulation werden Aspekte wie Luftströmungsflüsse zwischen Gebäuden, Wärmeaustausch und Verdunstung von Oberflächen bzw. Vegetation, Turbulenz und Bioklimatologie berücksichtigt. ENVI-met ermöglicht somit „*die numerische Betrachtung von urbanen Strukturen als gesamtheitlichen Wirkungskomplex unter besonderer Berücksichtigung der kleinskaligen Umweltgestaltung*“ (Bruse 2004, <http://www.envi-met.com>).

Das Simulationsprogramm ENVI-met wird als Freeware in Kombination mit weiteren Programmen angeboten: das Editor-Programm ›ENVI-metEddi‹ dient der Definition und Konstruktion des räumlichen Modells; im ›ENVI-met‹ selbst werden die Simulationsbedingungen definiert und gerechnet; das Visualisierungs-Programm ›Leonardo‹ stellt

die berechneten Daten in Form von *maps* dar; ›Xtract‹ ermöglicht das Extrahieren der einzelnen Koordinatenwerte in Tabellenform.

Für die Simulationen wurde das Programm ENVI-met deswegen verwendet, weil es verschiedene Vorteile für die konkrete Fragestellung bietet. Es steht einerseits kostenfrei zum Download bereit und ist dadurch jederzeit verfügbar, und andererseits ist das Programm relativ transparent und übersichtlich in der Handhabung, beides willkommene und wichtige Grundvoraussetzungen für einen möglicherweise verbreiteten Einsatz in Planungsprozessen. ENVI-met wurde bereits in vielen aktuellen Studien angewandt (s. Kapitel 4), und somit sind bereits gute Voraussetzungen für ein sinnvolles Weiterarbeiten mit dem Programm und für das Sammeln detaillierterer Erfahrungen zu seiner produktiven Anwendbarkeit gegeben. Die derzeit offizielle Version 3.1 wird von einem online-Handbuch und einem Benutzerforum (*ENVI-met bulletin board*), das einen Austausch mit anderen *users* ermöglicht, unterstützt (www.envi-met.com). Michael Bruse und sein Team entwickeln das Programm laufend weiter. Derzeit wird an einer Version 4.0 gearbeitet, die neue Module und somit erweiterte Möglichkeiten bereitstellen soll. Unter den Neuerungen finden sich interessante Ansätze für die Untersuchung der in der vorliegenden Arbeit formulierten Fragestellungen, so z.B. die Möglichkeit a) Eigenschaften für Gebäudefassaden und Dächer zu definieren, b) freistehende (Gebäude unabhängige) Wände zu simulieren (*single walls*), c) eine Geländetopographie zu modellieren (*DEM*), d) Wassersprüher in das Modell zu integrieren (*water spray*) und e) 3D-Baummodelle zu konstruieren (*planter*). Eine interessante Neuerung der Version 4.0 ist zudem f) der Umstieg von einer Simulation des PMV-Wertes für das thermische Wohlbefinden zu einer möglichen Berechnung des PET-Wertes. Der PET wird dabei aus den Datensätzen der Simulation (potentielle Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, mittlere Strahlungstemperatur und Windgeschwindigkeit) unter Verwendung des neuen Zusatz-Programms ›CalcPET‹ berechnet.

Dankenswerter Weise wurde vom Entwickler-Team ein aktuelles Abbild der Version 4.0 (Stand: 11. August 2010) für die vorliegende Arbeit zur Verfügung gestellt.

6.3 Voruntersuchungen und Fokus

Anhand einer Reihe von Testläufen wurden die neuen Module der Version 4.0 daraufhin untersucht, inwieweit sie für die konkreten Fragestellungen und bei derzeitigem Entwicklungsstand sinnvoll einsetzbar erscheinen. Auf Basis der Ergebnisse wurde der Fokus der durchgeführten Simulationsreihen festgelegt.

Das neue Modul '*single walls*' ist direkt mit der Fassadeneinstellung gekoppelt. Die Eigenschaften der jeweils aktuell eingestellten Fassade werden übernommen. Der Vorteil dabei liegt in der möglichen Zuweisung einer bestimmten Mauerstärke, die unabhängig vom angewandten Raster (*grid*) ist. Die durchgeführten Testreihen haben allerdings gezeigt, dass das neue Modul *single walls* bei höheren Windgeschwindigkeiten noch Probleme aufweist. Aufgrund der Möglichkeit, Fassaden die gleichen Eigenschaften wie den *single walls* zuzuweisen (bzw. *vice versa*), könnte eine 'Überbrückung' möglich sein. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass es sich hier nicht um eine Eigenschaftszuweisung einer einzelnen Fassade auf einen Rasterpunkt, sondern um eine solche Zuweisung eines

Gebäudes (*'building'*) handelt. Das hat vermutlich wenig Einfluss auf Windbedingungen, kann jedoch Einfluss auf das thermische Verhalten der Mauer haben.

Das neu eingeführte Zusatz-Programm ›Planter‹ ermöglicht ein eigenständiges Modellieren von Baumstrukturen und deren Integration in das Simulationsmodell. Die bereits im Programm vordefinierten 3D-Bäume weisen zwar z.B. hinsichtlich ihrer Kronen-Transparenz (noch) Probleme in der Simulation auf, das Modul bietet jedoch grundsätzlich die Möglichkeit, auch 'experimentell' mit Vegetation umzugehen. Testreihen zu einem flachen Vegetationsdach haben dazu interessante Ergebnisse geliefert.

Testreihen zu den Modulen *'water spray'* und *'DEM'* haben sich als nicht zielführend herausgestellt. Sie bieten aber im Rahmen der formulierten Fragestellungen grundsätzlich die Möglichkeit zur Bearbeitung wichtiger Details - z.B. für die Simulation einer abgesenkten Freiraumfläche oder die Integration von vertikalen Wasserelementen. Bei derzeitigem Entwicklungsstand sind die konkreten Aspekte jedoch in dieser Form noch nicht abbildbar bzw. simulierbar.

Der Fokus der Simulationsreihen wurde somit auf die Raumbildung durch 'Heraufziehen' von Raumgrenzen gelegt. Die Untersuchung konzentriert sich dabei auf den Aspekt der Raumbildung durch einen strukturellen Einsatz von Vegetation, und das sowohl als nach oben offenen 'Raum' als auch in Kombination mit einem horizontalen Abschluss. Anhand unterschiedlicher (vereinfachter) Gestaltungsvarianten soll dieser Aspekt für zwei verschiedene städtebauliche Situationen bei variierenden Windbedingungen auf mikroklimatische Auswirkungen untersucht werden. Entsprechende Gestaltungsvarianten bei Verwendung von Mauern sowie ohne Einbeziehung einer Raumbildung sollen als Kontrolle und zur Verdeutlichung der Ergebnisse dienen. Das Ziel ist dabei, das Potential einer Raumbildung durch Vegetation aufzuzeigen und in Relation zu anderen vergleichbaren Gestaltungsvarianten zu setzen.

Es wurden dazu weitere Voruntersuchungen zu unterschiedlichen Aspekten wie Blattflächendichte von Hecken, Bodenbeschaffenheit und Ausrichtung von Gebäuden bzw. veränderten Windbedingungen durchgeführt. Die jeweiligen Ergebnisse wurden bei der Definition der Rahmenbedingungen berücksichtigt.

6.4 Rahmenbedingungen

Vor Beginn der Simulationen wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse eine Reihe von konstanten Faktoren vordefiniert. Dazu zählen einerseits die gestalterischen Rahmenbedingungen wie der städtebauliche Kontext, die Oberflächeneigenschaften sowie die angewandten Dimensionen, und andererseits die Simulationseinstellungen im ENVI-met und die Auswahl und Art der Auswertung der Ergebnisse bzw. die Berechnung des PET-Wertes aus diesen (s. Abb. 6.1). Grundsätzlich wurden zwei für mitteleuropäische Städte typische städtebauliche Situationen ausgewählt und vereinfacht als Modelle übernommen. Dabei war der Fokus auf innerstädtische verdichtete Stadtstrukturen gelegt, die besonders stark von der Stadterwärmung betroffen sind. Für die einzelnen Simulationsreihen wurden variable Faktoren festgelegt. Darunter fallen die jeweiligen Gestaltungsvarianten und unterschiedliche Windbedingungen (s. Abb. 6.8).

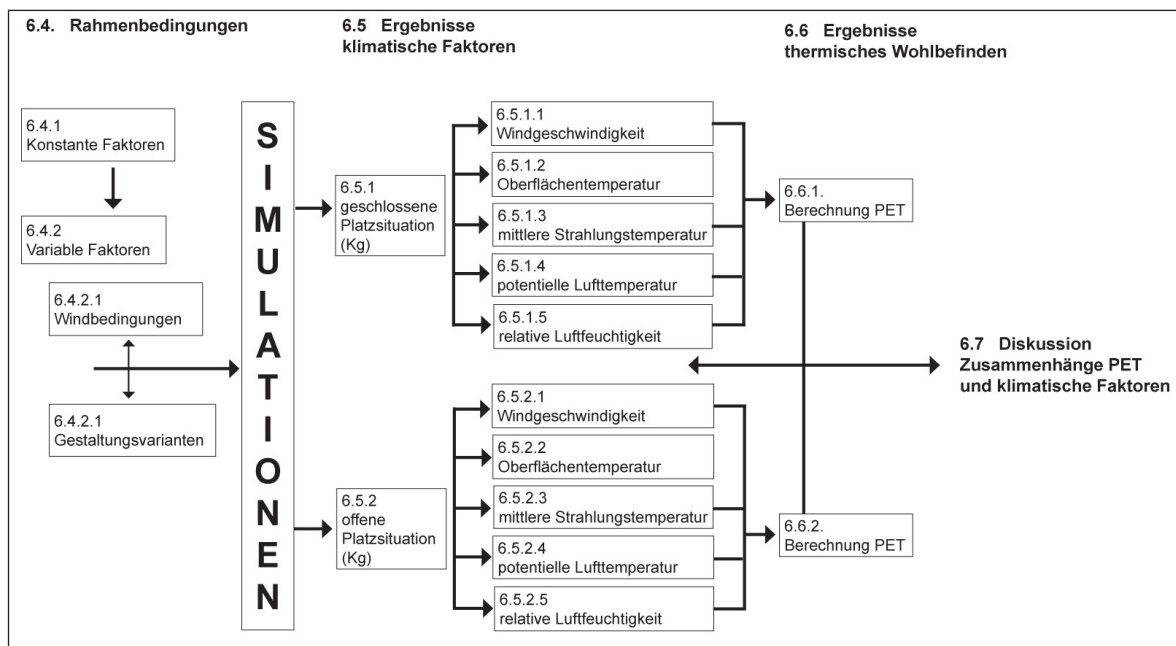


Abb. 6.1 : Überblick Kapitel

6.4.1. Konstante Faktoren

6.4.1.1. Gestalterische Rahmenbedingungen

Es wurde eine städtebaulich in sich bereits geschlossene Platzsituation einer offenen und klimatisch exponierten gegenübergestellt. Die simulierten Freiräume beziehen sich dabei auf bestehende Platzsituationen innerhalb der dichten Stadtstrukturen (Gründerzeitviertel) von Wien: der Schlesinger Platz im 8. Wiener Gemeindebezirk für das Beispiel einer geschlossenen Platzsituation (s. Abb. 6.2) und das Meidlinger Platzl im 12. Bezirk für das Beispiel einer offenen Platzsituation (s. Abb. 6.3). Es handelt sich in beiden Fällen um eine durchgängige Bauklasse IV, die einer 4-6-geschossigen Bebauungshöhe von zwischen 12 m und 21 m entspricht. Die Dimensionen der ausgebildeten Platzflächen betragen jeweils ca. 50 m x 50 m.

Gebäudehöhe, Ausrichtung der Fassaden und einkommende Straßen wurden für das jeweilige Simulationsmodell so angepasst, dass eine Vergleichbarkeit zwischen den beiden Platzsituationen möglich wird. So wurde in beiden Fällen eine einheitliche Gebäudehöhe von 15 m festgelegt. Es wurden jeweils eine den Platz im Süden streifende und eine von Süden direkt auf den Platz eintreffende Straße angenommen. Bei der offenen Platzvariante wurde zudem darauf geachtet, auch den Fall einer diagonal auftreffenden Windbewegung zu berücksichtigen (einkommende Straße aus Nordwest) (s. Abb. 6.4) und (s. Abb. 6.5).

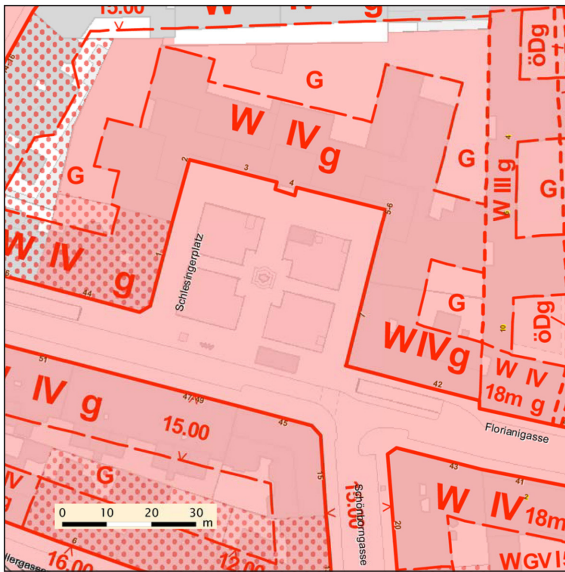


Abb. 6.2 : Beispiel einer geschlossenen Platzsituation: Schlesinger Platz, 1080 Wien



Abb. 6.3 : Beispiel einer offenen Platzsituation: Meidlinger Platzl, 1120 Wien

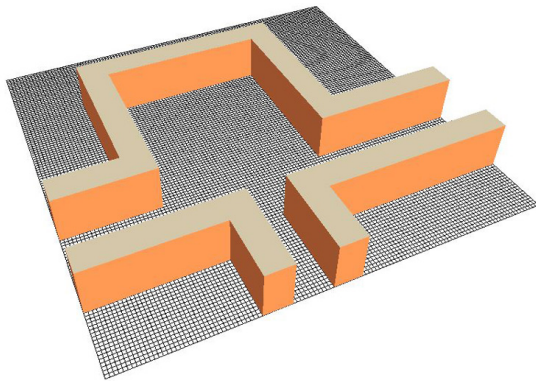


Abb. 6.4 : Schematisch vereinfachte geschlossene Platzsituation

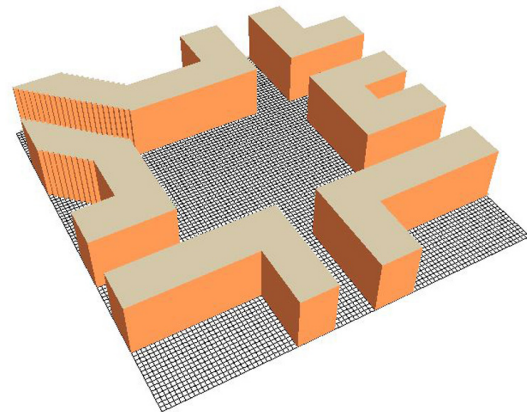


Abb. 6.5 : Schematisch vereinfachte offene Platzsituation

Beim Bodenbelag wurde von Betonplatten ausgegangen, wobei für die geschlossene Platzsituation ein versiegelter Belag, für die offene Platzsituation dagegen ein versickerungsfähiger Belag mit den identischen Oberflächeneigenschaften definiert wurden.

Die untersuchte (Frei-)Raumbildung innerhalb dieser Platzfläche wurde auf ein Maß von 20 m x 30 m festgelegt, um eine Strukturierung des Platzes und dabei eine möglichst flexibel nutzbare urbane Fläche zu erreichen. Das Seitenverhältnis 2:3 stellt dabei eine bewährte und als angenehm empfundene Dimension dar. Die Festlegung der Höhe der Raumbildungselemente auf 5 m beruht auf Aspekten der (inneren) Raumwirkung (Verhältnis 1:4 bzw. 1:6) und der Berücksichtigung der angrenzenden Gebäudenutzungen (wobei die mögliche Beeinträchtigung auf die Erdgeschosszone beschränkt bleibt) (s. Abb. 6.9).

6.4.1.2. Simulationseinstellungen und Darstellung der Daten

Die Simulationsreihen wurden mit der Version 4.0 von ENVI-met in einer Auflösung von 1 Meter für den geografischen Standort Wien durchgeführt. Als Ausgangsdaten wurde der 23. Juni gewählt und eine Initialtemperatur von 293K (19,85°C) und eine relative Luftfeuchtigkeit von 50% in 2 m Höhe angenommen (*default*). Der Simulationsstart war jeweils auf 6:00 Uhr festgelegt, die Ergebnisse wurden stündlich ausgewertet.

Zur weiteren Untersuchung wurden aus den durchgeführten Simulationsreihen mit Hilfe des Programms Leonardo die für das thermische Wohlbefinden wichtigsten atmosphärischen Daten in Form von *maps* dargestellt: Windgeschwindigkeit, mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt}), potentielle Lufttemperatur (T_{pot}) und relative Luftfeuchte. Zusätzlich wurden auch die Ergebnisse zur Oberflächentemperatur (T_{sur}) berücksichtigt. Die Darstellung der Werte wurde dabei einheitlich für 15 Uhr (Temperaturmaximum) und für eine Höhe von 1,50m (durchschnittliche Höhe der Atemorgane), bzw. im Fall der Oberflächentemperatur auf Bodenniveau definiert. Zum leichteren Verständnis wurden die in Kelvin berechneten Temperaturwerte in °C umgerechnet und die Skalen darauf abgestimmt. Soweit möglich wurden die Skalen vereinheitlicht, um somit die Vergleichbarkeit der Auswirkung der unterschiedlichen Gestaltungsvarianten und Windbedingungen auf den jeweiligen klimatischen Faktor besser zu gewährleisten. Wo dies aufgrund stark voneinander abweichender Werte nicht möglich war (vor allem bei den Werten für die potentielle Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit), wurde die Skala entsprechend angepasst.

Aus den Daten der Windgeschwindigkeit, der mittleren Strahlungstemperatur, der potentiellen Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit wurde in der Folge unter Verwendung des Programms calc-PET der PET-Wert für eine Standardperson berechnet. Die Einstellungen orientieren sich dabei an dem Klima-Michel-Modell nach Jendritzky (s. 3.5.3, S. 59). Der Isolationswert wurde auf $r_{co} = 90$ s/m festgesetzt und entspricht einer Bekleidung mit T-Shirt, langer Hose, Socken und Schuhen (Brown und Gillespie 1995: 172). Als metabolischer Wert wurde $M = 80$ W/m² angenommen, was einer sitzenden bzw. stehenden Aktivität entspricht (ebd.: 171).

Ein allgemeines Problem der *maps* ist ein fehlerhafter Randbereich, der darauf beruht, dass in der Regel nur ein Ausschnitt der jeweiligen städtebaulichen Situation modelliert und gerechnet wird und somit Randerscheinungen auftreten, die kein verlässliches Abbild der mikroklimatischen Daten darstellen. Je zentraler im Modellraster gelegen, desto zuverlässiger werden die ausgegebenen Werte. Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die ausgegebenen Werte nicht als absolute Werte zu verstehen sind, sondern (in erster Linie durch Vergleiche der abgebildeten *maps*) lediglich Tendenzen aufzeigen. Es gibt die Möglichkeit, Rezeptoren im Modell zu definieren, die für einen bestimmten Punkt die unterschiedlichen Klimadaten auswerten. Die Gefahr ist dabei jedoch groß, dass diese Daten in der Folge als absolute Werte diskutiert werden.

Für die vorliegende Arbeit wurde deshalb entschieden, auf die Verwendung von Rezeptoren zu verzichten und über die in *maps* ausgegebenen Ergebnisse vergleichend zu diskutieren. Zur Unterstützung der Diskussion wurden zusätzlich Mittelwerte aus den einzelnen von ENVI-met berechneten Koordinatendaten ermittelt. Unter Verwendung des Zusatz-Programms ›Xtract‹ wurden dabei die Daten aller Koordinaten auf einer Höhe

von 1 m ($z=1$) extrahiert und in einer Tabelle ausgegeben. Durch Filtern der Koordinaten wurde der zu untersuchende Bereich eingegrenzt und der jeweilige Mittelwert berechnet. Als Bereiche wurden die gesamte Platzfläche bis zu den Gebäudekanten (pf) und die durch die Gestaltungsvarianten definierte innere Fläche der Raumbildung (rb) festgelegt (s. Abb. 6.6) und (s. Abb. 6.7).

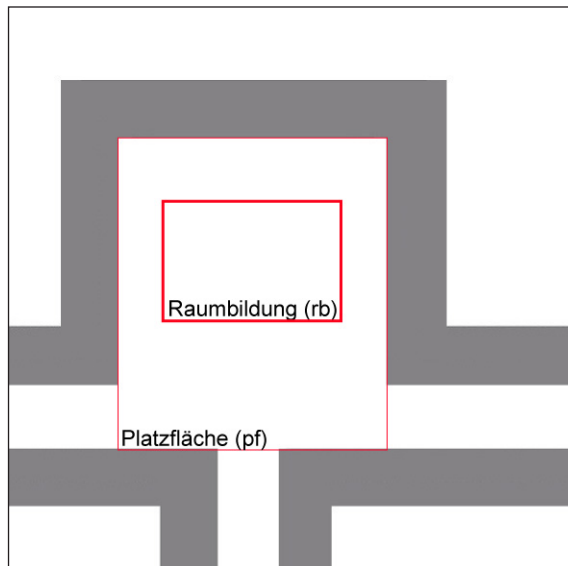


Abb. 6.6 : Bereiche zur Berechnung der Mittelwerte für die geschlossene Platzsituation

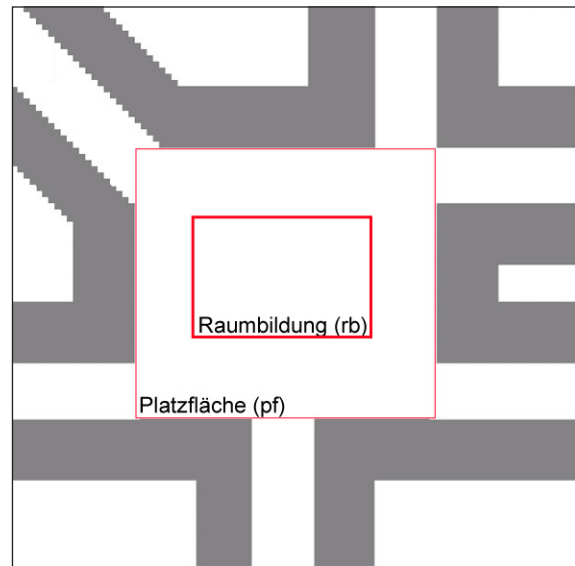


Abb. 6.7 : Bereiche zur Berechnung der Mittelwerte für die offene Platzsituation

6.4.2. Variable Faktoren

Unter die variablen Faktoren fallen die unterschiedlichen Gestaltungsvarianten und die Windbedingungen. Die Matrix (s. Abb. 6.8) gibt einen Überblick über die entstehenden Kombinationen und die aus den einzelnen Simulationsreihen abgebildeten klimatischen Werte. Im Folgenden werden die einzelnen Faktoren erläutert. Die Variablen werden in den Dateinamen in einer abgekürzten Form wiedergegeben und im Laufe des vorliegenden Textes zum Teil so übernommen. Die abschließende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendeten Abkürzungen (s. Tab. 6.1).

6.4.2.1. Gestalterische Interventionen

Es wurden insgesamt neun unterschiedliche Gestaltungsvarianten für die beiden Platzsituationen definiert. Dabei wurde die Auswirkung einer Raumbildung durch Vegetation oder Mauern, die Auswirkung einer Überdachung durch ein Baum- bzw. Vegetationsdach und die einer Kombination aus beidem berücksichtigt und einer „Nullvariante“ gegenübergestellt (s. Abb. 6.9). Die Nullvariante bedeutet in diesem Fall die städtebaulichen Rahmenbedingungen ohne eine Gestaltungsintervention, also die jeweils leere Platzfläche. Der letzte Teil der Simulationsbezeichnung gibt Aufschluss über die jeweils untersuchte Gestaltungsvariante (in Klammern).

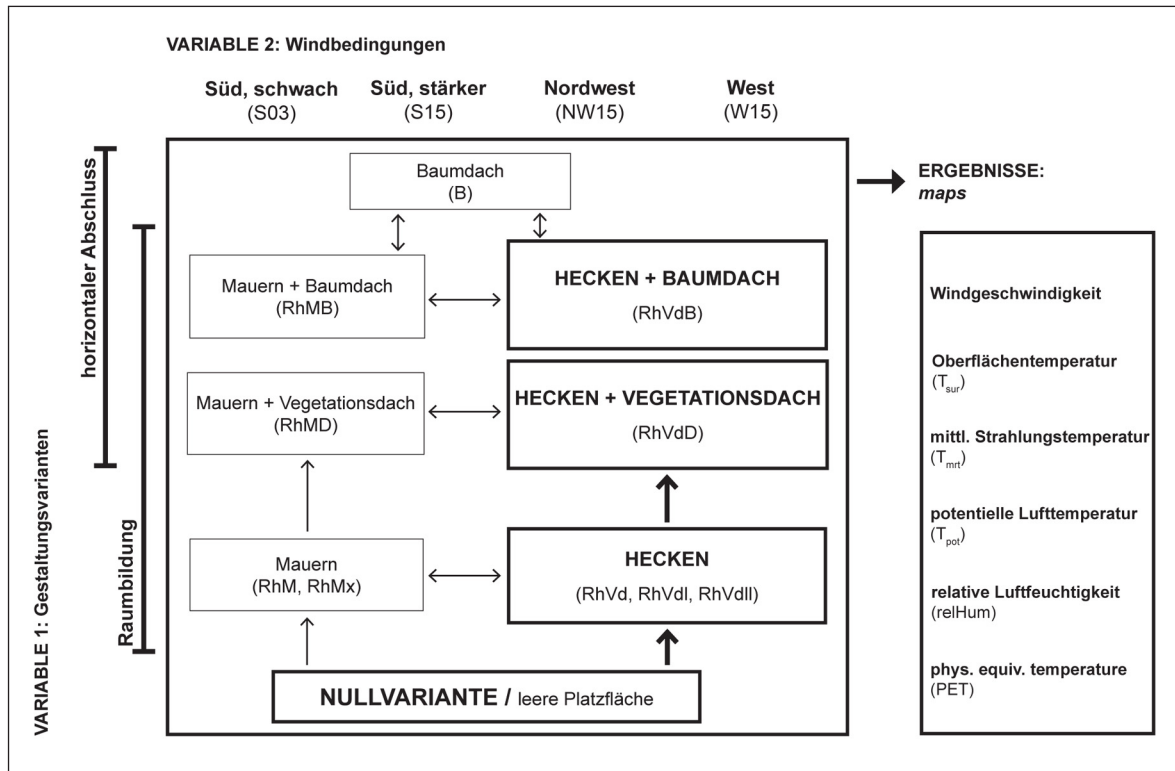


Abb. 6.8 : Matrix der durchgeführten Simulationsreihen

Die Vegetationswände werden in Form von 5 m hohen Hecken mit einer Blattdichte von $LAD=2.500$ ($_RhVd$) modelliert. Zusätzlich werden Kontrollreihen zu unterschiedlichen Blattdichten durchgeführt: $LAD=1.500$ ($_RhVI$) und $LAD=1.000$ ($_RhVII$).

Die Mauern werden als 5 m hohe freistehende Sichtbetonwände mit einer Stärke von 30 cm angenommen (*single walls*) ($_RhM$). Bei Problemen mit dem in der Version 4.0 neu eingeführten Modul wird auf die Gebäudefunktion (*building*) zurückgegriffen ($_RhMx$).

Für die Simulation des horizontalen Abschlusses wird ein Baumdach aus vier Laubbäumen mit hoher Blattdichte ($LAD 2.180$), lichtem Stamm bis 3 m und einer Höhe von 15 m angenommen, was einem typischen Stadtbaum, wie z.B. einem Spitzahorn (*Acer platanoides*), entspricht. Dieses Baumdach wird sowohl als eigenständige Gestaltungsvariante ($_B$) als auch in Kombination mit der Raumbildung durch dichte Vegetation ($_RhVdB$) und durch Mauern ($_RhMB$) untersucht. Aufgrund der noch bestehenden Probleme mit den neuen 3D-Bäumen aus dem Programm »Planter« wird dabei auf das 2D-Baummodul der Version 3.1 zurückgegriffen. Als zusätzliche Überdachungsvariante in Kombination mit einer Raumbildung wurde in »Planter« ein dünnes Vegetationsdach entwickelt und im ENVI-met Eddi flächig über die umgrenzte Fläche eingebracht ($_RhVdD$ bzw. $_RhMD$). Dieses Dach besteht aus stammlosen 3D-Baummodulen, deren Kronen in einer Höhe von 6 m ein flaches Konstrukt von 10 m x 10 m x 1 m aufweisen. Die Pflanze selbst wurde dabei als Laubbaum mit einer Blattdichte von $LAD=2.000$ festgelegt. Angelehnt an die Erkenntnisse aus den maurischen Gärten wird zur besseren Ventilation ein Lüftungsschlitz gelassen, sodass die gebildete Raumhöhe hier insgesamt 6 m beträgt. Die Simula-

tion der Überdachungsvarianten in Kombination mit Mauern wird auf die Verwendung von *single walls* beschränkt.

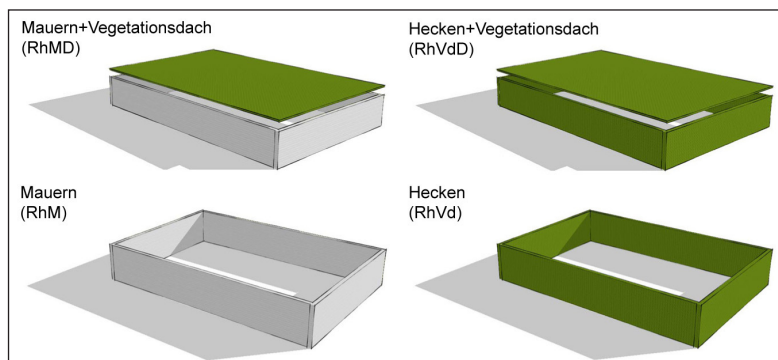


Abb. 6.9 : Beispiele der unterschiedlichen Gestaltungsvarianten

Die unterschiedlichen Modellvarianten werden wiederum für zwei unterschiedliche stadträumliche Situationen untersucht. Da diese in sich klar definiert sind, wurden die entsprechenden Rahmenbedingungen bereits unter den konstanten Faktoren erläutert. Der erste Namensteil der Simulationsreihen gibt an, ob es sich bei der jeweiligen Simulationsreihe um die geschlossene Platzsituation (*Kg_*) oder die offene Platzsituation (*Ko_*) handelt.

6.4.2.2. Windbedingungen

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass die Ergebnisse bereits bei geringen Änderungen der Gebäudeausrichtung bzw. Windrichtung voneinander abweichen. Zur Vereinfachung wurde entschieden, die städtebauliche Situation konstant zu halten und eine Variation auf die Windbedingungen zu beschränken. Der mittlere Teil der Simulationsbezeichnung gibt Aufschluss über die jeweils angenommenen Windbedingungen.

Für extreme Hitzetage im Sommer werden Schwachwinde aus südlicher Richtung angenommen (*_S03_*, Simulationseinstellungen: Windrichtung 180°, Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe 0.3 m/s).

Dem gegenüber werden höhere Windgeschwindigkeiten aus verschiedenen Windrichtungen simuliert. Als Windgeschwindigkeit wird dabei einheitlich der Wert 1.5 m/s in 10 m Höhe festgelegt, was sich in den vorliegenden Simulationen innerhalb der Platzfläche als mittlere Windgeschwindigkeit um die 1 m/s in 1,50 m Höhe auswirkt und laut einer Studie im Rahmen des Forschungsprojektes FREIRAUM UND MIKROKLIMA (aspersn 2011) einen sehr häufig auftretenden Wert innerhalb einer verdichteten Stadtstruktur in Wien darstellt. Als Windrichtungen wurden Süd (*_S15_*, 180°) zum Vergleich mit den geringen Windgeschwindigkeiten aus *_S03_* und die häufigsten Windrichtungen Nordwest (*_NW15_*, 315°) und West (*_W15_*, 270°) ausgewählt.

Platzsituation	
Kg_	geschlossene Platzsituation (Kontext geschlossen)
Ko_	offene Platzsituation (Kontext offen)
Windbedingungen	
S03_	schwacher Südwind (Süd, 0.3 m/s)
S15_	stärkerer Südwind (Süd, 1.5 m/s)
NW15_	Nordwestwind (Nord-West, 1.5 m/s)
W15_	Westwind (West, 1.5 m/s)
Gestaltungsvariante *	
	Nullvariante (leere Platzsituation)
B	Baumdach (leere Platzsituation mit Baumdach)
RhVd	Hecken
RhVI bzw. RhVII	lichte Hecken
RhVdB	Hecken+Baumdach
RhVdD	Hecken+Vegetationsdach
RhM bzw. RhMx	Mauern
RhMB	Mauern+Baumdach
RhMD	Mauern+Vegetationsdach
z.B.	
Kg_S03_RhVdB	geschlossene Platzsituation, schwacher Südwind, Raumbildung durch Hecken in Kombination mit einem Baumdach
Ko_NW15	offene Platzsituation, Wind aus Nordwest, leere Platzsituation (Nullvariante)
* Abkürzungen	
Rh	Raumbildung hoch
Vd	Vegetation dicht (LAD=2.500)
VI bzw. VII	Vegetation licht (LAD=1.500 bzw. 1.000)
M bzw. Mx	Mauern (<i>single walls</i> bzw. <i>building</i>)
B	Baumdach
D	alternatives Vegetations-Dach

Tab. 6.1 : Erläuterung zu den in den Simulationen verwendeten Abkürzungen

6.5 Ergebnisse zu den einzelnen klimatischen Faktoren

Insgesamt wurden 68 Simulationsreihen durchgeführt. Eine Liste aller durchgeführten Simulationsreihen befindet sich im Anhang. Aus diesen Simulationsreihen wurden die oben genannten Daten jeweils für 15 Uhr - also zur wärmsten Tageszeit (s. Abb. 3.9, S. 40) - in Form von *maps* dargestellt. Eine Liste aller ausgewerteten Daten befindet sich ebenfalls im Anhang und liegt der Dissertation als DVD bei (insgesamt 408 *maps*). Die getroffene Auswahl dient in der Folge als Verdeutlichung der Ergebnisse und ist aus der Liste ersichtlich.

Die in den *maps* angegebenen Werte sind nicht als absolute Werte zu verstehen. In der Diskussion werden sie in erster Linie in Relation zu den Ergebnissen der anderen Gestaltungsvarianten und Simulationsreihen betrachtet und ausgewertet. Die von ENVI-met berechneten Werte dienen als Orientierung und werden durch zusätzlich kalkulierte Mittelwerte überprüft bzw. unterstützt.

In den folgenden Abschnitten werden die *maps* und die jeweiligen Mittelwerte aller Nullvarianten vorangestellt und kurz erläutert. Die Mittelwerte beziehen sich einerseits auf die gesamte Platzfläche und andererseits auf den Ausschnitt der in den Gestaltungsvarianten definierten Raumbildung in der Platzmitte. Die Auswirkungen der unterschiedli-

chen Gestaltungsvarianten werden in Beziehung zueinander betrachtet und exemplarisch anhand ausgewählter *maps* verdeutlicht. Als Mittelwerte werden hier nur die Daten der inneren Raumbildungsfläche herangezogen. Eine Liste aller berechneten Mittelwerte und die entsprechenden Dateien sind dem Anhang bzw. der DVD beigelegt.

Parallel zu den Simulationsreihen der Gestaltungsvarianten wurden Kontrolluntersuchungen für die Bodenbeschaffenheit und die Dichte der Hecken durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen fließen in die Erläuterung der Ergebnisse der Gestaltungsvarianten ein.

6.5.1. Geschlossene Platzsituation

6.5.1.1. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit

Innerhalb der verschiedenen Simulationsreihen zu einem städtebaulichen Kontext variieren die Windgeschwindigkeiten und die Windverteilung auf der Platzfläche aufgrund der Annahme unterschiedlicher Windbedingungen am stärksten. Da sich die städtebaulichen Rahmenbedingungen (Dimensionen, Oberflächen, etc.) nicht verändern, gehen die unterschiedlichen Ergebnisse der ausgewerteten Temperaturdaten und der relativen Luftfeuchtigkeit ausschließlich auf die veränderten Windbedingungen zurück. Der Einfluss der unterschiedlichen Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit wird daher ausführlicher behandelt. Um eine Vergleichbarkeit sowohl innerhalb der Simulationsreihen einer Platzsituation als auch jeweils untereinander zu ermöglichen, wurde die Skala einheitlich definiert und auf eine Abstufung von 0,15 m/s festgelegt. Die *maps* geben die Windgeschwindigkeit für eine Höhe von 1,50 m über Bodenniveau wieder. Eine Versiegelung der Oberfläche hat in Bezug auf den Wind nur geringe Auswirkungen und ist in diesem Zusammenhang zu vernachlässigen.

Nullvarianten: Bei direkt auf den Platz treffendem Südwind (*Kg_S03* und *Kg_S15*) ist ein Rückstau der Windbewegung zu beobachten, da die Platzfläche nach Norden, Westen und Osten hin abgeschlossen ist. Die höchsten Windgeschwindigkeiten sind dabei auf der südlichen Platzhälfte zu finden. Der über die Gebäude einfallende Nordwestwind (*Kg_NW15*) erzeugt stärkere Windgeschwindigkeiten im südöstlichen Platzbereich und wirkt sich besonders stark im anschließenden Straßenverlauf in Richtung Osten aus. Der den Platz streifende Westwind (*Kg_W15*) wird durch die Straße südlich des Platzes grundsätzlich kanalisiert. Auffällig ist jedoch der sich abzeichnende schmale 'Windschlauch', der direkt an die Nordfassade stößt und vermutlich durch Verwirbelungen der auf die südöstliche Gebäudeecke auftreffenden Windbewegung erzeugt wird. Diese Verwirbelung wirkt sich auch auf den angrenzenden Platzbereich aus. (s. Abb. 6.10) Die Tabelle mit den Mittelwerten der Windgeschwindigkeit verdeutlicht, dass die höchsten Windgeschwindigkeiten innerhalb der Platzmitte bei stärkerem Süd- und Nordwestwind erreicht werden. Am geringsten sind die Werte erwartungsgemäß bei Schwachwind aus südlicher Richtung (s. Tab. 6.2).

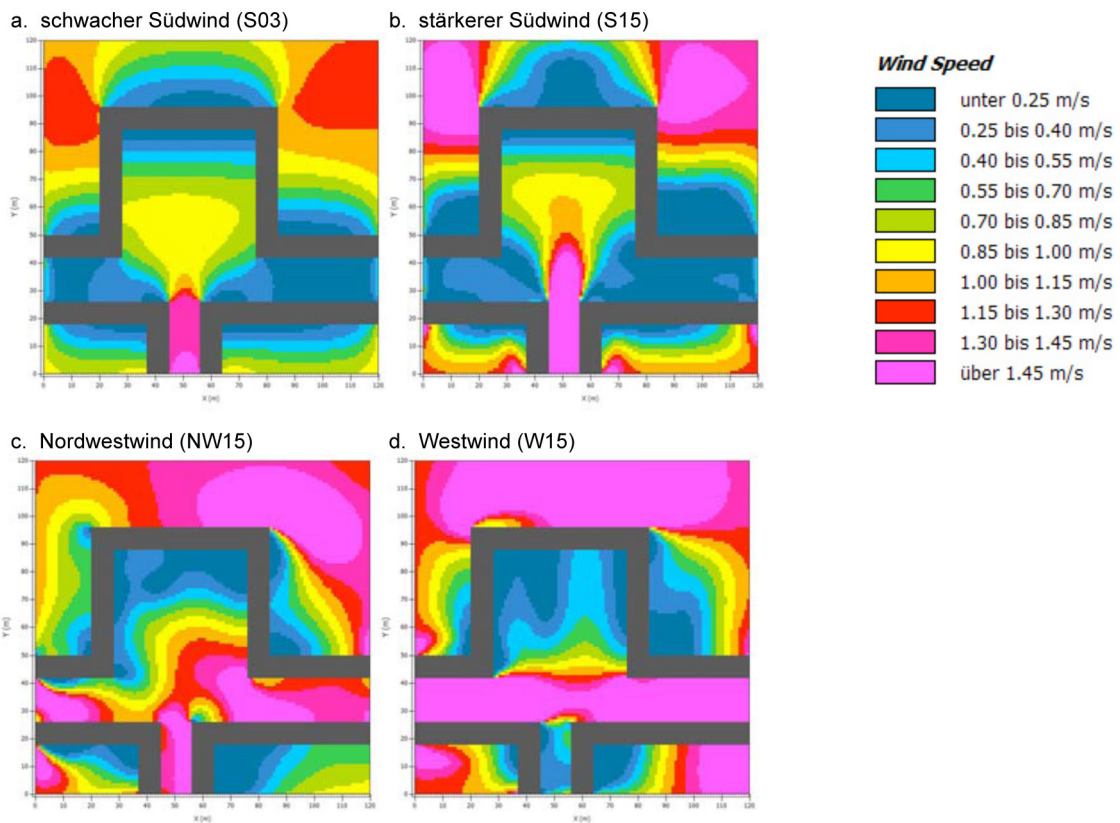


Abb. 6.10 : Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation

windspeed	Kg_S03	Kg_S15	Kg_NW15	Kg_W15
Platzfläche (pf)	0,19 m/s	0,71 m/s	0,74 m/s	0,76 m/s
Raubildung (rb)	0,24 m/s	0,79 m/s	0,77 m/s	0,61 m/s

Tab. 6.2 : Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)

Die Gestaltungsvarianten wirken sich sehr unterschiedlich auf die Windgeschwindigkeit aus. Die höchste Bremswirkung wird grundsätzlich durch Mauern erzielt. Bei streifendem, indirektem bzw. durch Verwirbelungen auftreffendem Wind findet eine deutliche Abbremsung statt. Am stärksten fällt die Windbremsung bei direkt auf die Raumbildung auftreffendem Wind auf - also bei stärkerem Südwind. Hier wird eine Reduzierung der Windgeschwindigkeiten um ca. 0,7 m/s erreicht. Dabei werden jedoch seitlich der Mauern aufgrund der Ablenkung/Kanalisation der Windbewegung höhere Windgeschwindigkeiten generiert (Kg_S15_RhMx).

Hecken bremsen den Wind ab, lassen im Gegensatz zu Mauern jedoch einen gewissen Grad an Windbewegung zu. Die Kontrolluntersuchung zu unterschiedlichen Hecken-dichten hat erwartungsgemäß gezeigt: je lichter die Hecke, desto geringer ihre reduzierende Auswirkung auf die Windgeschwindigkeit (s. Tab. 6.42, S. 163). Der seitliche Kanalisationseffekt bei stärkerem Südwind tritt insgesamt schwächer auf als bei Mauern (Kg_S15_RhVd).

Die größten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Windbedingungen zeigen sich bei den Gestaltungsvarianten mit Bäumen. Im Fall des direkt auf den Platz auftreffenden Südwindes ist eine Verwirbelung durch Bäume zu beobachten. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt dieser Effekt deutlich zu (*Kg_S15_B*). In Kombination mit einer Raumbildung durch Hecken wird die Windgeschwindigkeit innerhalb der Raumbildung abgebremst, der seitliche Kanalisierungseffekt bleibt jedoch bestehen (*Kg_S15_RhVdB*) (s. Abb. 6.11). Die Mittelwerte bestätigen, dass sich eine Raumbildung durch Hecken ohne zusätzliche Bäume oder aber in Kombination mit einem Vegetationsdach beruhigender auf die Platzmitte auswirkt als die Gestaltungsvarianten mit Bäumen (*Kg_S15_RhVdD*) (s. Tab. 6.3).

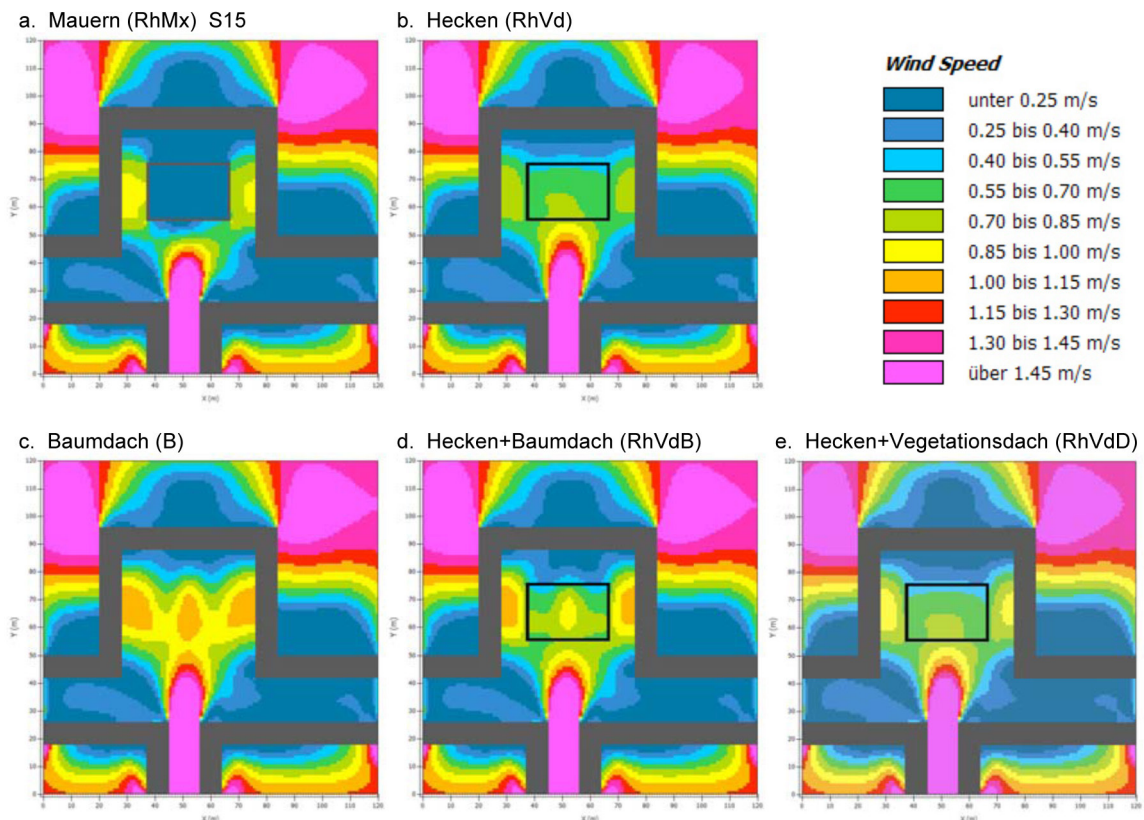


Abb. 6.11 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die geschlossene Platzsituation bei stärkerem Südwind (*Kg_S15*)

windspeed	<i>Kg_S15</i>	<i>RhMx</i>	<i>RhVd</i>	<i>B</i>	<i>RhVdB</i>	<i>RhVdD</i>
Mittelwerte m/s	0,79	0,10	0,65	0,91	0,71	0,64
Differenz m/s	0	- 0,69	- 0,14	+ 0,12	- 0,08	- 0,15

Tab. 6.3 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für *Kg_S15* ($z=1$)

Anders verhält es sich beim Nordwestwind. Hier bewirken die Bäume eine räumliche Verteilung des Windes. Sie wirken sich zwar auch hier als Verwirbelung aus, insgesamt wird die Windbewegung auf der gesamten Platzfläche und vor allem im Bereich der Platzmitte jedoch beruhigt (*Kg_NW15_B*). Verstärkt wird dieser beruhigende Effekt durch eine zusätzliche Raumbildung mit Hecken (*Kg_NW15_RhVdB*) (s. Abb. 6.12) (s. Tab. 6.4).

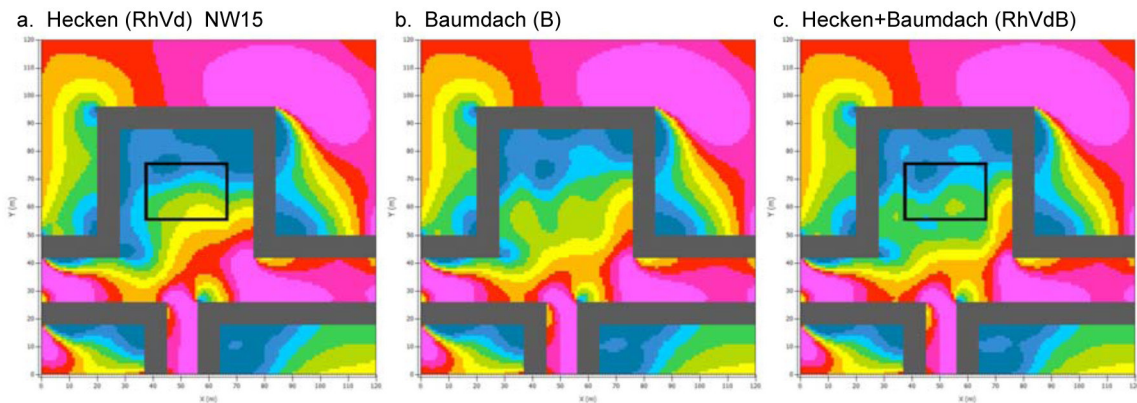


Abb. 6.12 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (Kg_NW15)

windspeed	Kg_NW15	RhVd	B	RhVdB
Mittelwerte m/s	0,77	0,58	0,56	0,50
Differenz m/s	0	- 0,19	- 0,21	- 0,27

Tab. 6.4 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für Kg_NW15 (z=1)

Beim Westwind ergibt sich bei allen Gestaltungsvarianten eine Verwirbelung genau an der Stelle, wo der schmale 'Windschlauch' im Norden auf die Fassade trifft. Besonders stark ist das bei Bäumen zu beobachten, diese Auswirkung wird auch nicht durch eine zusätzliche Raumbildung durch Hecken aufgefangen (Kg_W15_B). Den größten Wind reduzierenden Einfluss auf diesen Bereich hat eine Raumbildung durch Hecken entweder in Kombination mit einem Vegetationsdach oder aber ohne horizontalen Abschluss (Kg_W15_RhVdD) (s. Abb. 6.13).

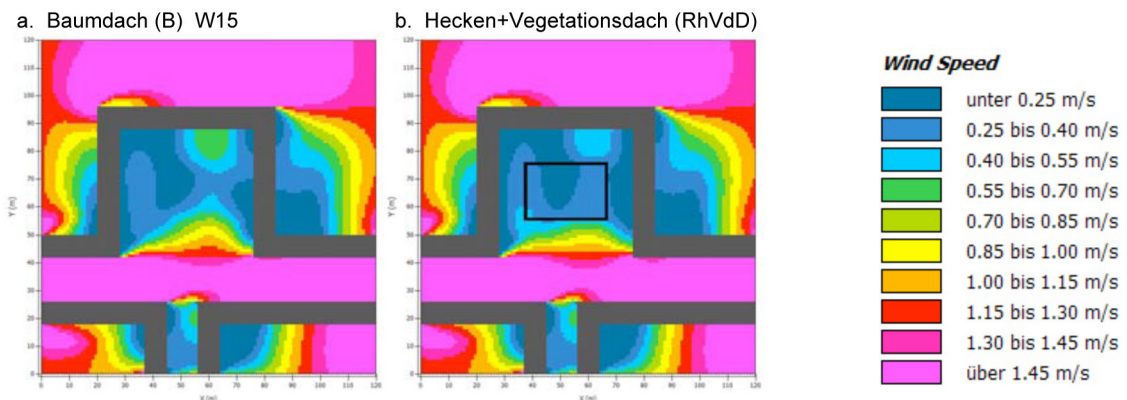


Abb. 6.13 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die geschlossene Platzsituation bei Westwind (Kg_W15)

6.5.1.2. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur (T_{sur})

In den *maps* der Nullvarianten zeigt sich deutlich, welchen Einfluss die Windbedingungen auf die Oberflächentemperatur der Platzfläche haben. Es werden die Daten für den wärmsten Tag (und die wärmste Tageszeit) bei unbewölktem Himmel dargestellt. Daher weist die Oberflächentemperatur bei allen Simulationsreihen insgesamt hohe Werte auf.

Nullvarianten: Die Werte für die Oberflächentemperatur sind in erster Linie von der Verschattung abhängig. In den Gebäudeschatten liegen die Werte um bis zu 14°C unter denen der besonnten Platzfläche, auf der die größten Abweichungen bei unterschiedlichen Windbedingungen erreicht werden. Beim Südwind liegen die T_{sur} -Werte bei geringen Windgeschwindigkeiten (Kg_S03) deutlich unter denen bei stärkerem Wind (Kg_S15). Das wirkt sich vor allem in der nördlichen Platzhälfte und im südlich verlaufenden Straßenraum aus. Im Bereich der Raumbildung in der Platzmitte sind die Unterschiede sehr viel geringer, was auch die Mittelwerte bestätigen (s. Tab. 6.5). Die geringsten T_{sur} -Werte sind bei Nordwestwind (Kg_NW15) zu beobachten. Hier nehmen die Oberflächentemperaturen mit abnehmender Windgeschwindigkeit zu. Bei dem den Platz im Süden streifenden Westwind (Kg_W15) werden die insgesamt sehr hohen Werte der Platzfläche nur von einem schmalen kühleren Streifen unterbrochen, der jedoch nicht mit dem 'Wind-schlauch' übereinstimmt, sondern parallel dazu in einem windberuhigten Bereich liegt (s. Abb. 6.14).

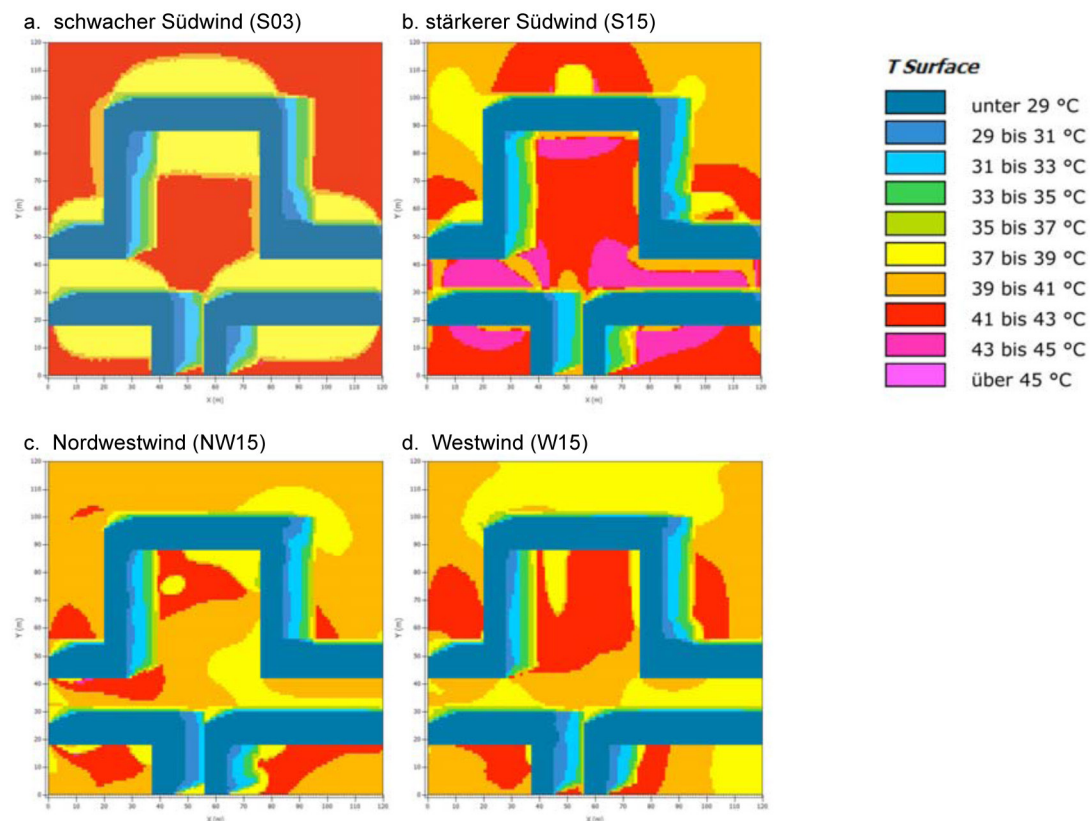


Abb. 6.14 : Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation

T_{sur}	Kg_S03	Kg_S15	Kg_NW15	Kg_W15
Platzfläche (pf)	38,36 °C	40,00 °C	37,88 °C	38,65 °C
Raumbildung (rb)	41,47 °C	42,07 °C	40,42 °C	41,50 °C

Tab. 6.5 : Mittelwerte der Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation ($z=0$)

Die verschiedenen Gestaltungsvarianten wirken sich grundsätzlich reduzierend auf die Oberflächentemperatur aus. In erster Linie steht dies im Zusammenhang mit dem Ausmaß und dem jeweiligen Grad der Verschattung. Es werden dadurch große Kontraste in der Oberflächentemperatur erreicht. Dabei gilt: je dichter das Objekt, desto stärker der Einfluss auf eine Verringerung der T_{sur} . Das wird von den Mittelwerten bestätigt (s. Tab. 6.6).

Bäume bewirken punktuell eine geringere T_{sur} als ein Vegetationsdach, letzteres hat dafür eine flächigere Auswirkung. Dadurch weichen hier die Mittelwerte nur gering voneinander ab. Eine Kombination von Raumbildung und Überdachung wirkt sich vor allem in der Addition der beschatteten Oberflächen aus (Kg_S15_B , $_RhVdB$ und $_RhVdD$). Eine zusätzliche Raumbildung bewirkt jedoch eine leichte Erhöhung der Oberflächentemperatur auf der südlich angrenzenden Platzfläche.

Auffällig ist die Auswirkung von Mauern für den direkt auftreffenden Wind. Bei schwachem Südwind bewirkt die Raumbildung durch Mauern eine deutliche Senkung der T_{sur} innerhalb der Raumbildung und in der unmittelbaren Umgebung (Kg_S03_RhM). Bei Hecken ist dieser Effekt nur in einem geringen Ausmaß zu beobachten (Kg_S03_RhVd) (s. Abb. 6.15).

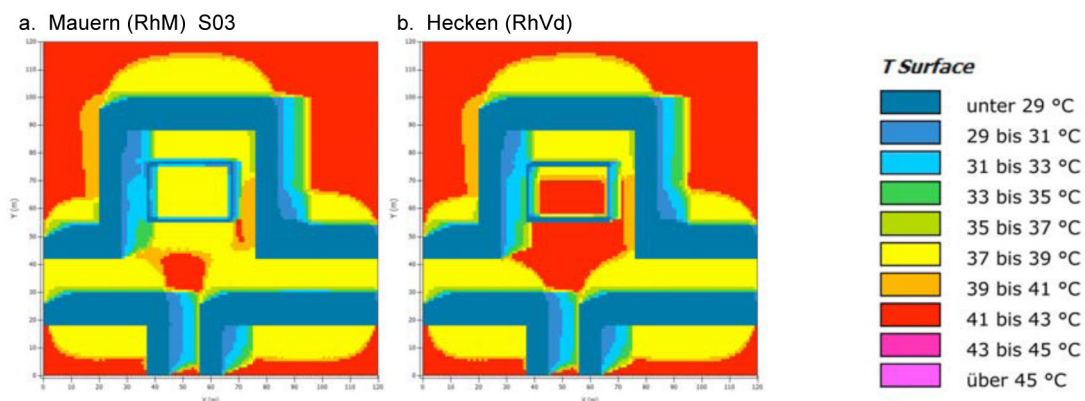


Abb. 6.15 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)

T_{sur}	Kg_S03	RhM	RhVd
Mittelwerte °C	41,47	36,85	39,34
Differenz °C	0	- 4,62	- 2,13

Tab. 6.6 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Kg_S03 ($z=0$)

Bei stärkerem Südwind wird durch Mauern ebenfalls eine deutliche Senkung des T_{sur} -Wertes innerhalb der Raumbildung und nördlich davon erreicht, auf der südlich angren-

zenden Platzfläche wird die Oberflächentemperatur jedoch erhöht (*Kg_S15_RhMx*). Bei der Raumbildung durch Hecken lässt sich anhand der *maps* der umgekehrte Effekt ablesen (*Kg_S15_RhVd*). Die Mittelwerte belegen jedoch auch hier insgesamt eine Reduktion des T_{sur} -Wertes innerhalb der Raumbildung (s. Abb. 6.16) (s. Tab. 6.7).

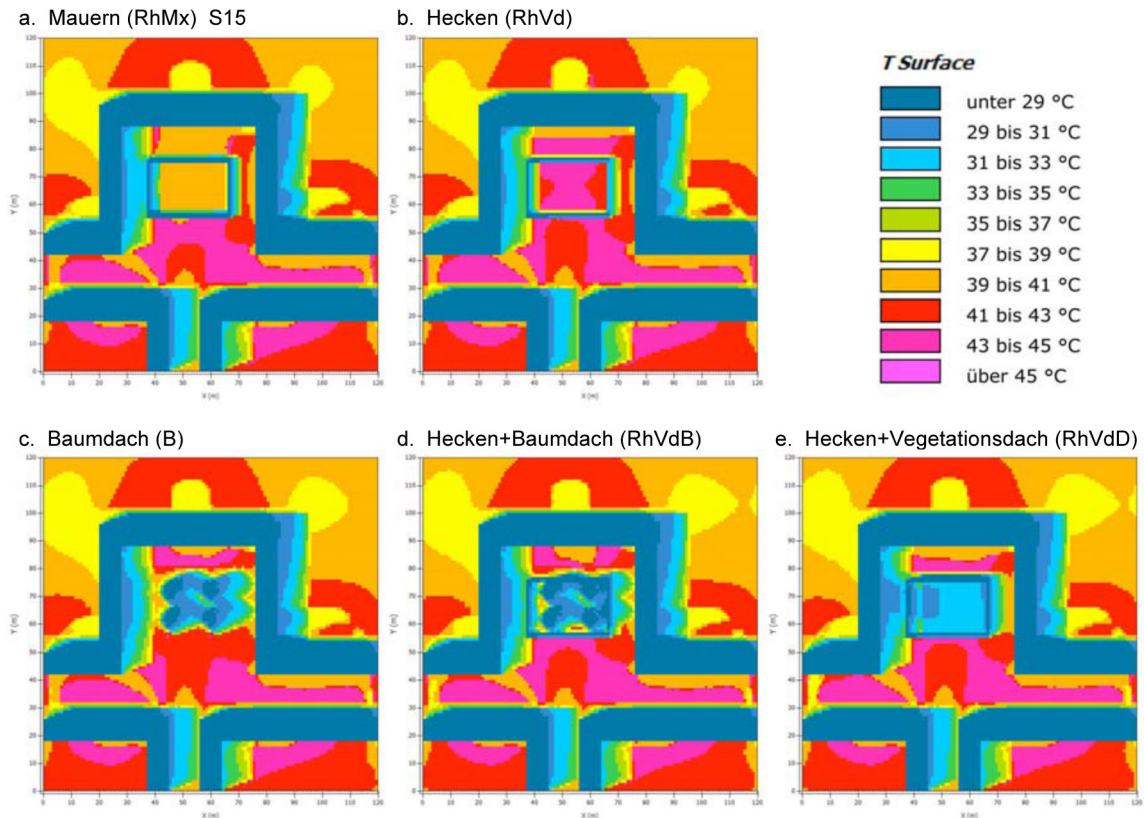


Abb. 6.16 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die geschlossene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Kg_{S15})

T_{sur}	Kg_{S15}	RhMx	RhVd	B	RhVdB	RhVdD
Mittelwerte °C	42,07	37,59	40,97	32,48	30,74	31,02
Differenz °C	0	- 4,48	- 1,10	- 9,59	- 11,33	- 11,05

Tab. 6.7 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Kg_{S15} ($z=0$)

6.5.1.3. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt})

Die mittlere Strahlungstemperatur steht in engem Zusammenhang mit der Oberflächentemperatur. Sie wird in den *maps* für eine Höhe von 1,50 m über Bodenniveau abgebildet. Durch die zusätzlichen Strahlungseinflüsse liegen die Temperaturwerte der T_{mrt} weit über denen der T_{sur} . Auch die lokalen Unterschiede auf der Platzfläche fallen deutlich höher aus. Die Skalen der *maps* für die T_{mrt} wurden dementsprechend auf eine Abstufung von 5°C erhöht.

Nullvarianten: Die Variation der T_{mrt} innerhalb der Platzfläche ist bei allen Windbedingungen deutlich höher (fast doppelt so hoch) als bei der Oberflächentemperatur. Es werden Unterschiede von über 40°C zwischen Gebäudeschatten und besonnener Platzfläche erreicht. Die Mittelwerte weichen nur gering voneinander ab (s. Tab. 6.8). Die *maps* lassen jedoch erkennen, dass der stärkere Südwind zu höheren T_{mrt} -Werten entlang der Nordfassade und der Nordwestwind zu etwas geringeren Werten im Bereich der südlichen Platzhälfte tendiert (*Kg_S15* und *_NW15*) (s. Abb. 6.17).

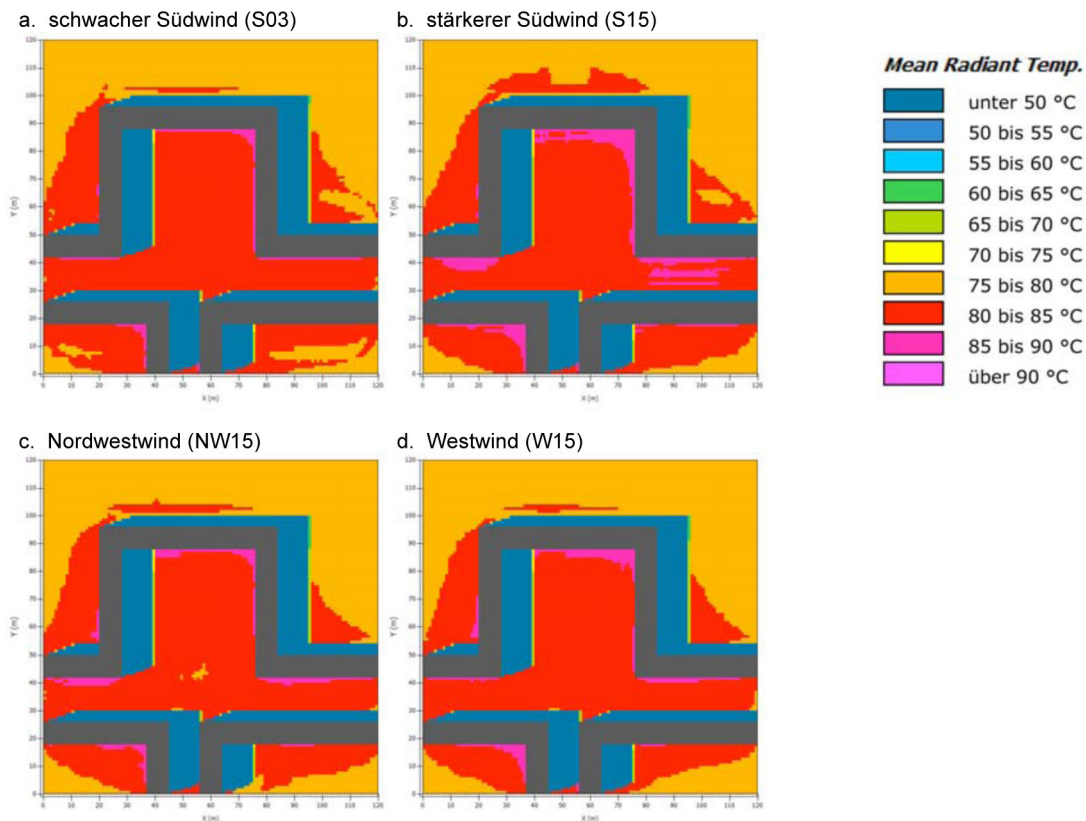


Abb. 6.17 : Mittlere Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation

T_{mrt}	Kg_S03	Kg_S15	Kg_NW15	Kg_W15
Platzfläche (pf)	72,88 $^{\circ}\text{C}$	73,30 $^{\circ}\text{C}$	72,48 $^{\circ}\text{C}$	72,68 $^{\circ}\text{C}$
Raumbildung (rb)	79,77 $^{\circ}\text{C}$	79,89 $^{\circ}\text{C}$	79,32 $^{\circ}\text{C}$	79,62 $^{\circ}\text{C}$

Tab. 6.8 : Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation ($z=1$)

Bei den Gestaltungsvarianten ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der T_{sur} , wobei die T_{mrt} deutlich stärkere Kontraste aufweist. Entscheidenden Einfluss auf die T_{mrt} haben ebenfalls das Ausmaß an beschatteter Oberfläche und der Grad der jeweiligen Beschattung (*Kg_S15_RhMx*, *_B* und *_RhVdB*) (s. Abb. 6.18) (s. Tab. 6.9).

Die mittlere Strahlungstemperatur im Straßenraum wird von den unterschiedlichen Gestaltungsvarianten nur unwesentlich beeinflusst.

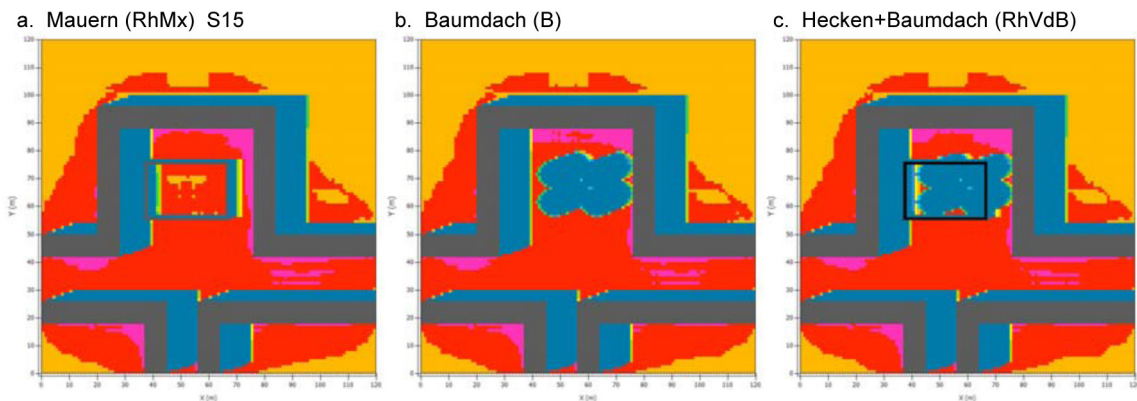


Abb. 6.18 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur für die geschlossene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Kg_S15)

T _{mrt}	Kg_S15	RhMx	B	RhVdB
Mittelwerte °C	79,89	73,17	47,33	43,11
Differenz °C	0	- 6,72	- 32,56	- 36,78

Tab. 6.9 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für Kg_S15 (z=1)

Bei Schwachwind ergibt sich bei den Mittelwerten für die Raumbildung durch Mauern und Hecken ein umgekehrtes Bild. Hier werden niedrigere T_{mrt}-Werte bei der Raumbildung durch Hecken erreicht (s. Tab. 6.10). Anhand der maps ist dieser Effekt nicht ablesbar bzw. wird dieser sogar anders dargestellt. Es zeichnet sich zudem eine Temperatur reduzierende Wirkung durch Mauern auf den südlich angrenzenden Platzbereich ab (Kg_S03_RhM und _RhVd) (s. Abb. 6.19).

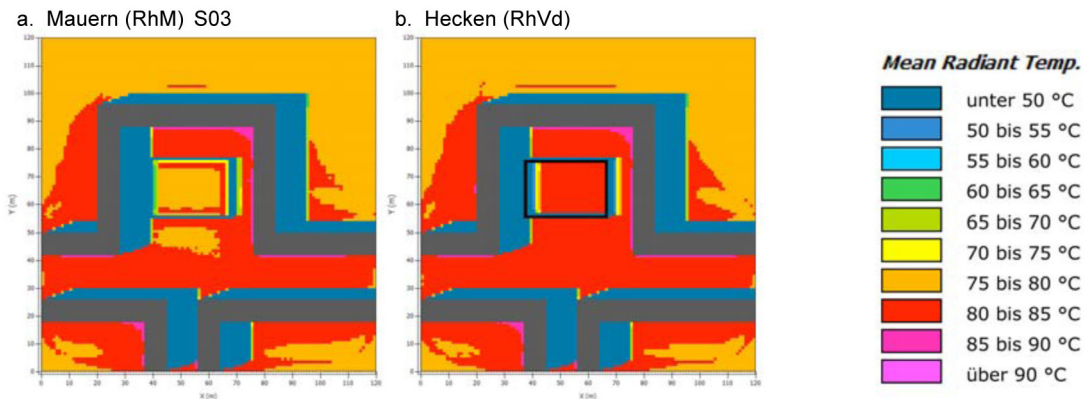


Abb. 6.19 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)

T _{mrt}	Kg_S03	RhM	RhVd
Mittelwerte °C	79,77	75,77	74,84
Differenz °C	0	- 4,00	- 4,93

Tab. 6.10 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für Kg_S03 (z=1)

6.5.1.4. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur (T_{pot})

Die potentielle Lufttemperatur ist stark von der allgemeinen Luftdurchmischung geprägt. Unterschiede fallen dadurch lokal sehr viel geringer aus. Die Variation der T_{pot} spielt sich somit in einem viel kleineren Bereich ab. Die Skalen wurden daher an die Werte der einzelnen Situationen angepasst. Die Abstufungen sind dabei einheitlich auf $0,2^{\circ}\text{C}$ festgelegt. Dargestellt werden die Werte auch hier für eine Höhe von 1,50 m über Bodenniveau. Die jeweilig kalkulierten Mittelwerte dienen zusätzlich als Überblick.

Nullvarianten: Für den schwachen Südwind werden auf dem Platz nur geringe Lufttemperaturunterschiede von ca. $0,4^{\circ}\text{C}$ erreicht. Am wärmsten ist es entlang der Westfassade und im Straßenraum südlich des Platzes, die geringste T_{pot} ist an der Ostfassade zu beobachten (Kg_S03). Bei stärkerem Wind variieren auch die Werte stärker (um ca. $0,8^{\circ}\text{C}$). Hier liegen die T_{pot} -Werte bei Südwind insgesamt deutlich höher. Die Temperaturverteilung steht im Zusammenhang mit der Windbewegung (Kg_S15). Bei Nordwest-Wind weist die Temperaturverteilung Parallelen zu der des schwachen Südwindes auf, insgesamt liegen die T_{pot} -Werte jedoch deutlich darunter (Kg_NW15). Auffällig ist das Temperaturfeld bei Westwind. Die T_{pot} -Werte liegen im Bereich der einkommenden Windbewegung und auf der südlichen Platzhälfte relativ hoch. In dem Bereich, in dem der Windschlauch an die Nordfassade trifft, weist die T_{pot} einen deutlich geringeren Wert auf und bewirkt insgesamt kühlere Lufttemperaturen auf der nördlichen Platzhälfte (Kg_W15) (s. Abb. 6.20) (s. Tab. 6.11).

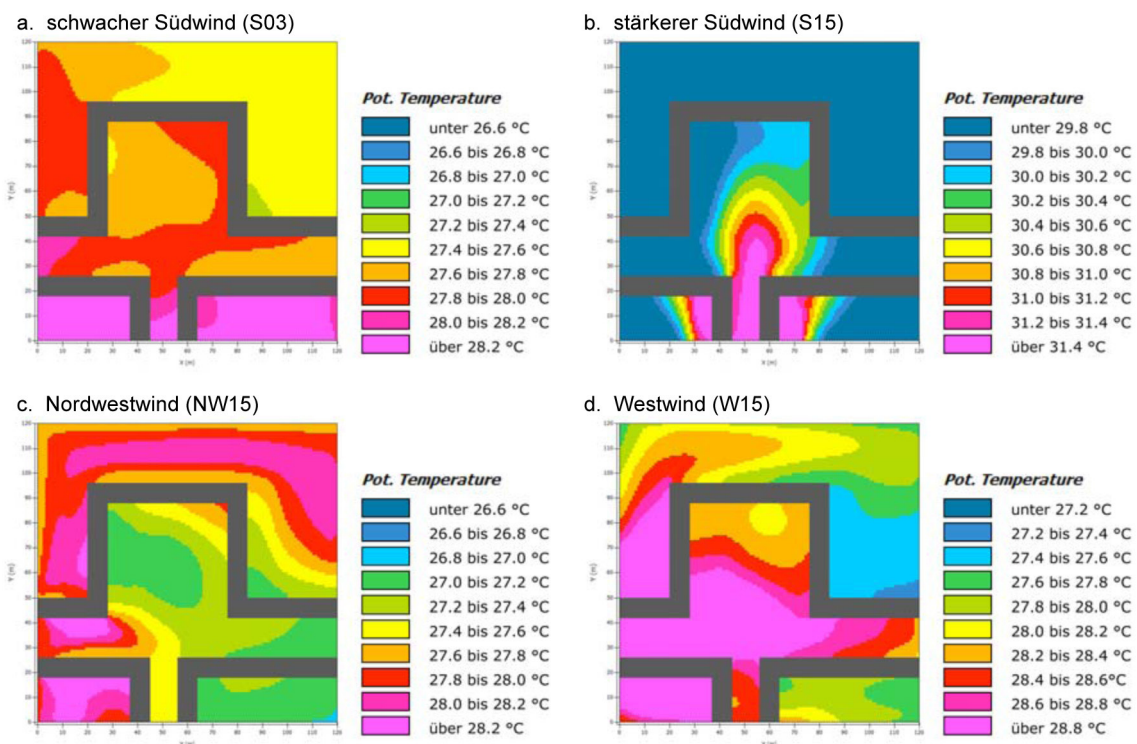


Abb. 6.20 : Potentielle Lufttemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation

T_{pot}	Kg_S03	Kg_S15	Kg_NW15	Kg_W15
Platzfläche (pf)	27,77 °C	30,33 °C	27,34 °C	28,79 °C
Raumbildung (rb)	27,75 °C	30,28 °C	27,14 °C	28,50 °C

Tab. 6.11 : Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)

Die Gestaltungsvarianten zeigen grundsätzlich eine Reduzierung der potentiellen Lufttemperatur auf der gesamten Platzfläche. Bei schwachem Südwind ist der Effekt von Mauern dabei höher als der von Hecken oder Bäumen (Kg_S03_RhM , $_RhVd$ und $_B$). Bäume wirken sich auf die T_{pot} vor allem Temperatur ausgleichend aus, was durch eine Kombination mit einer Raumbildung noch verstärkt wird. Durch Mauern werden dabei niedrigere T_{pot} -Werte als durch Hecken erreicht und unter einem Vegetationsdach niedrigere Werte als unter Bäumen (Kg_S03_RhMD) (s. Abb. 6.21) (s. Tab. 6.12).

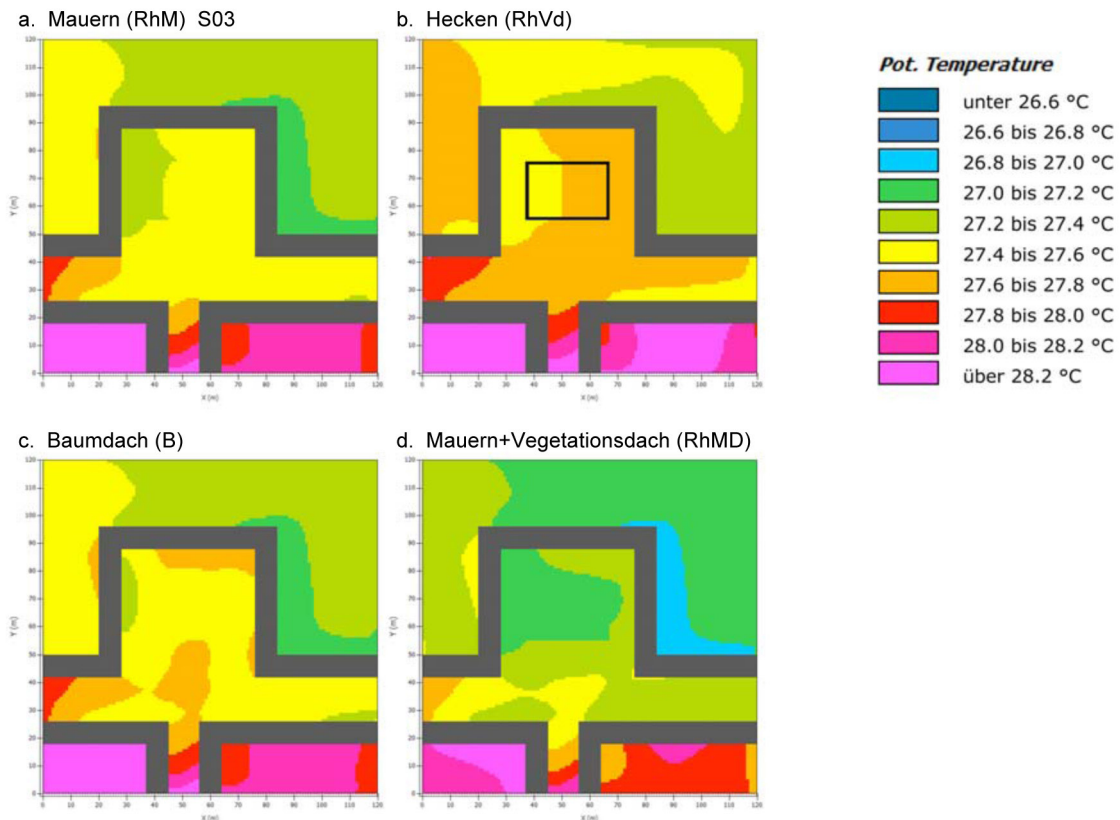


Abb. 6.21 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)

T_{pot}	Kg_S03	RhM	RhVd	B	RhMD
Mittelwerte °C	27,75	27,43	27,59	27,49	27,07
Differenz °C	0	- 0,32	- 0,16	- 0,26	- 0,68

Tab. 6.12 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Kg_S03 (z=1)

Beim Nordwestwind sind die Auswirkungen der Gestaltungsvarianten in den jeweiligen maps besonders gut erkennbar und werden von den Mittelwerten unterstützt. Die Raum-

bildung bewirkt grundsätzlich eine leichte Reduzierung der potentiellen Lufttemperatur, wobei Hecken einen geringfügig stärkeren Effekt als Mauern aufzeigen (Kg_NW15_RhMx und $_RhVd$). Signifikant ist die Absenkung der T_{pot} vor allem durch einen horizontalen Abschluss. Verstärkt wird dies in Kombination mit Hecken, wobei sich ein Vegetationsdach stärker auswirkt als ein Baumdach ($Kg_NW15_B__RhVdB$ und $_RhVdD$) (s. Abb. 6.22) (s. Tab. 6.13).

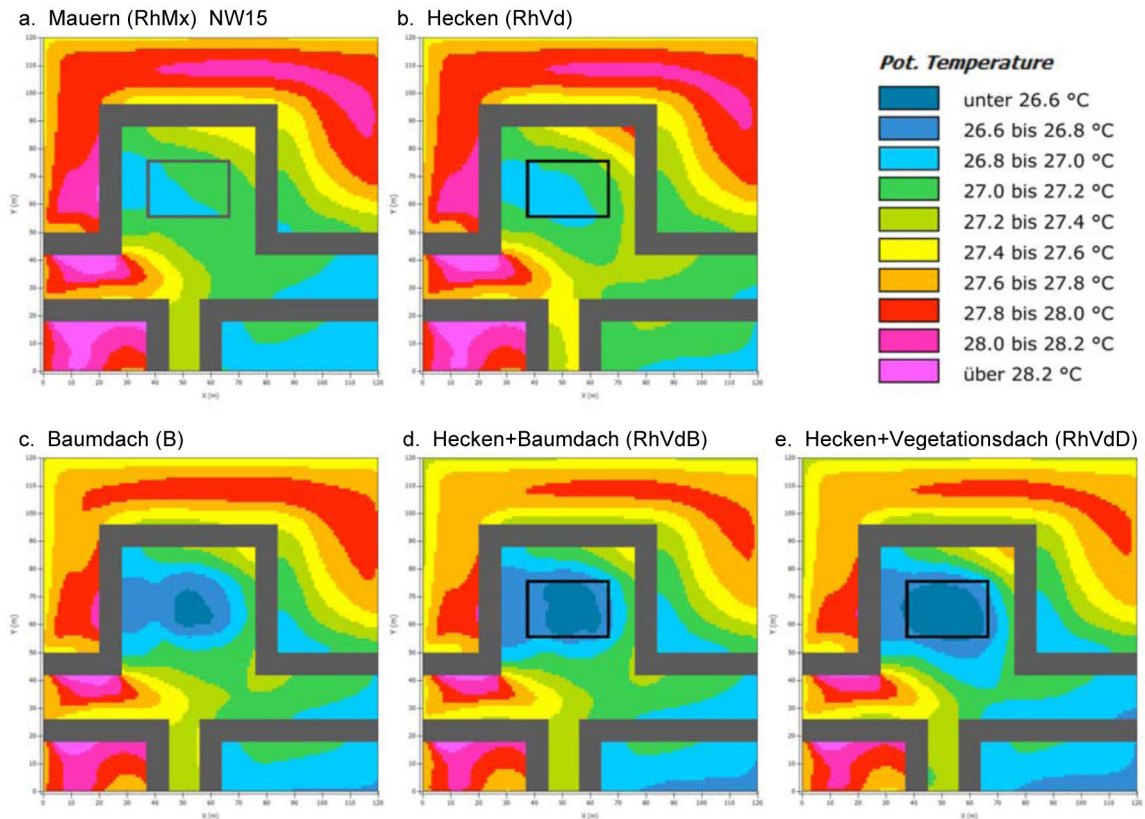


Abb. 6.22 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (Kg_NW15)

T_{pot}	Kg_NW15	$RhMx$	$RhVd$	B	$RhVdB$	$RhVdD$
Mittelwerte °C	27,14	27,01	27,00	26,67	26,58	26,53
Differenz °C	0	- 0,13	- 0,14	- 0,47	- 0,56	- 0,61

Tab. 6.13 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Kg_NW15 ($z=1$)

Bei stärkerem Südwind scheinen die Gestaltungsvarianten einen nur geringen Einfluss auf die T_{pot} zu haben. Im Fall des Westwindes wirken sie sich nur auf die nördliche Platzhälfte aus und da insbesondere innerhalb der Raumbildung und zwischen dieser und der Nordfassade, also im Bereich der Verwirbelung. Die einzelnen Auswirkungen der Gestaltungsvarianten weisen dabei grundsätzlich Parallelen zu den Auswirkungen bei Nordwestwind auf, wobei der Einfluss von Hecken geringer ist.

6.5.1.5. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit (relHum) steht in engem Zusammenhang mit der potentiellen Lufttemperatur. Bei abnehmender Lufttemperatur steigt die relative Luftfeuchtigkeit grundsätzlich an. Für die Verdeutlichung der Ergebnisse werden daher in erster Linie *maps* der identischen Simulationsbeispiele herangezogen, analog der Vorgehensweise bei der potentiellen Lufttemperatur. Auch hier bilden die *maps* die entsprechenden Werte für eine Höhe von 1,50 m über Bodenniveau ab. Die Skalen wurden für die einzelnen Simulationsreihen jeweils angepasst, so dass Tendenzen in den *maps* erkennbar werden.

Nullvarianten: Bei allen Windbedingungen sind die Werte der relativen Luftfeuchtigkeit im nordöstlichen Platzbereich am geringsten. Bei stärkerem Süd- und Westwind liegen die Werte für die relative Luftfeuchtigkeit insgesamt am höchsten. Es ist in beiden Fällen eine Abnahme der Werte in Windrichtung zu beobachten (*Kg_S15* und *_W15*). Die niedrigsten Werte werden bei Nordwestwind erreicht (*Kg_NW15*). Sowohl hier als auch im Fall von schwachem Südwind ist eine Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit bei zunehmender potentieller Lufttemperatur zu beobachten (*Kg_NW15* und *_S03*). Am stärksten variieren die Werte der Platzfläche bei stärkerem Südwind, bei Schwachwind sind sie eher ausgeglichen (s. Abb. 6.23) (s. Tab. 6.14).

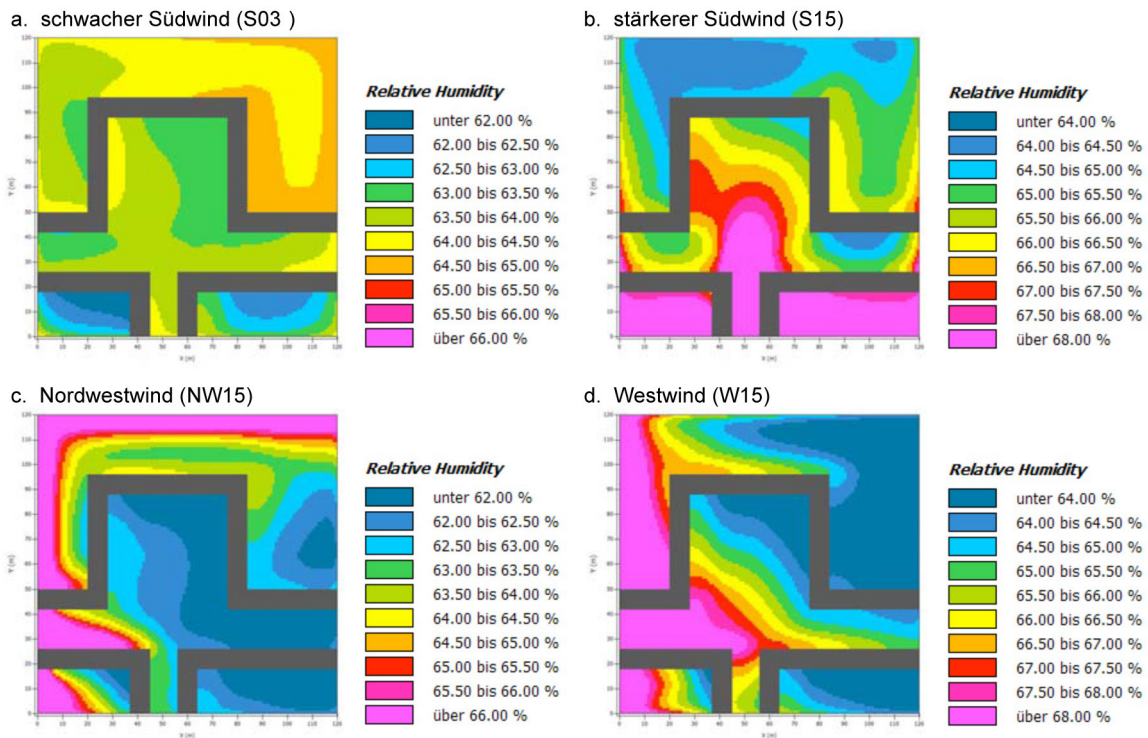


Abb. 6.23 : Relative Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation

relHum	Kg_S03	Kg_S15	Kg_NW15	Kg_W15
Platzfläche (pf)	63,58 %	66,85 %	62,14 %	65,56 %
Raumbildung (rb)	63,55 %	66,67 %	62,18 %	64,85 %

Tab. 6.14 : Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)

Bei allen Gestaltungsvarianten zeigt sich ein erhöhter Einfluss auf die relative Luftfeuchtigkeit und das sowohl innerhalb als auch außerhalb der Raumbildung. Bei schwachem Südwind werden innerhalb der Raumbildung durch Mauern etwas höhere Werte erreicht als innerhalb von Hecken (Kg_S03_RhM und $_RhVd$). Bäume steigern die relative Luftfeuchtigkeit deutlich (Kg_S03_B). In Kombination mit einer Raumbildung wird dieser Effekt verstärkt (Kg_S03_RhVdB), wobei auch hier etwas höhere Werte durch Mauern als durch Hecken erreicht werden. Unter einem Vegetationsdach werden innerhalb der Raumbildung geringere Feuchtigkeitswerte als unter Bäumen erreicht. In Kombination mit Mauern bewirkt ein horizontaler Abschluss höhere Werte auf den angrenzenden Platzbereichen (Kg_S03_RhMD) (s. Abb. 6.24) (s. Tab. 6.15).

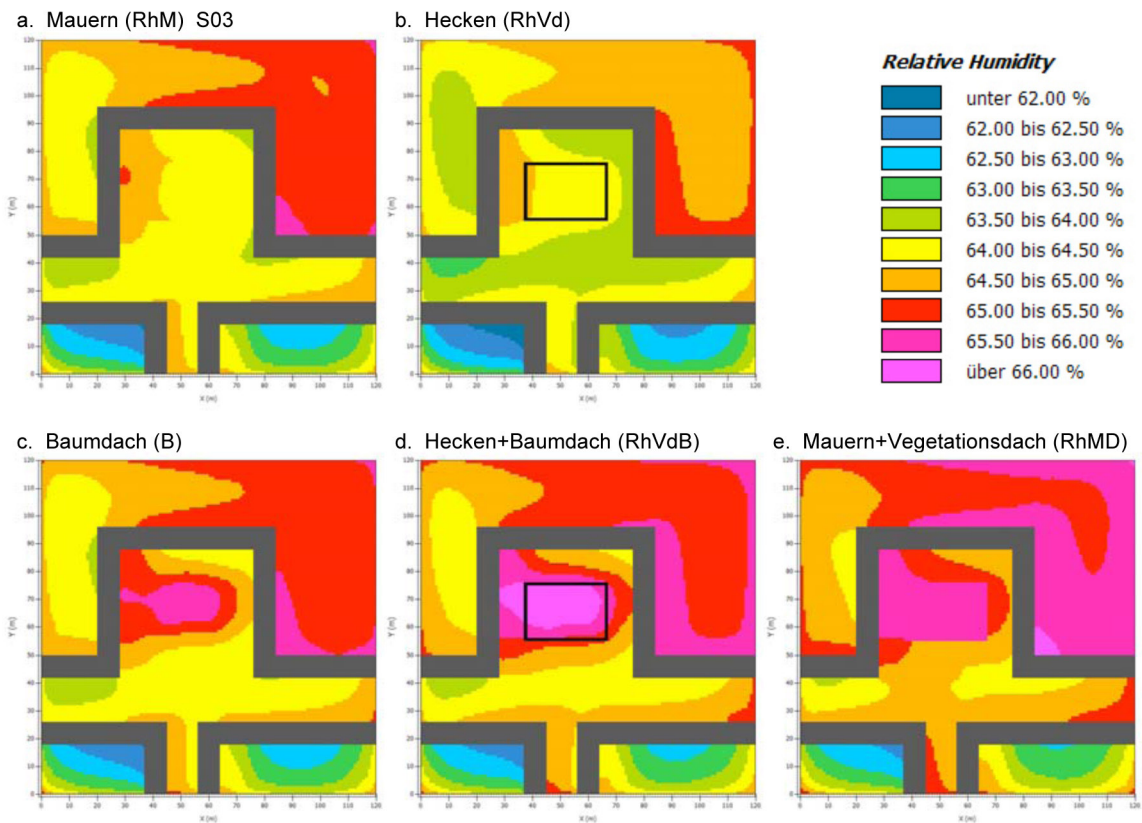


Abb. 6.24 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)

relHum	Kg_S03	RhM	RhVd	B	RhVdB	RhMD
Mittelwerte %	63,55	64,38	64,23	65,50	66,12	65,83
Differenz %	0	+ 0,83	+ 0,68	+ 1,95	+ 2,57	+ 2,28

Tab. 6.15 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Kg_S03 ($z=1$)

Bei stärkerem Wind bewirken Hecken dagegen grundsätzlich eine deutlich höhere Luftfeuchtigkeit als Mauern (Kg_NW15_RhMx und $_RhVd$). Es ist zudem auch eine stärkere Erhöhung der Werte unter Bäumen zu beobachten (Kg_NW15_B). Sie werden durch eine Kombination mit Hecken noch weiter angehoben (Kg_NW15_RhVdB). Sowohl Hecken als auch Bäume haben auch außerhalb der Raumbildung einen erhöhenden Einfluss auf

die relative Luftfeuchtigkeit, vor allem auf der südlich angrenzenden Platzfläche. Auch das Vegetationsdach hat einen größeren Effekt auf die relative Luftfeuchtigkeit, insgesamt hat es aber einen geringeren Einfluss als Bäume (*Kg_NW15_RhVdD*) (s. Abb. 6.25) (s. Tab. 6.16).

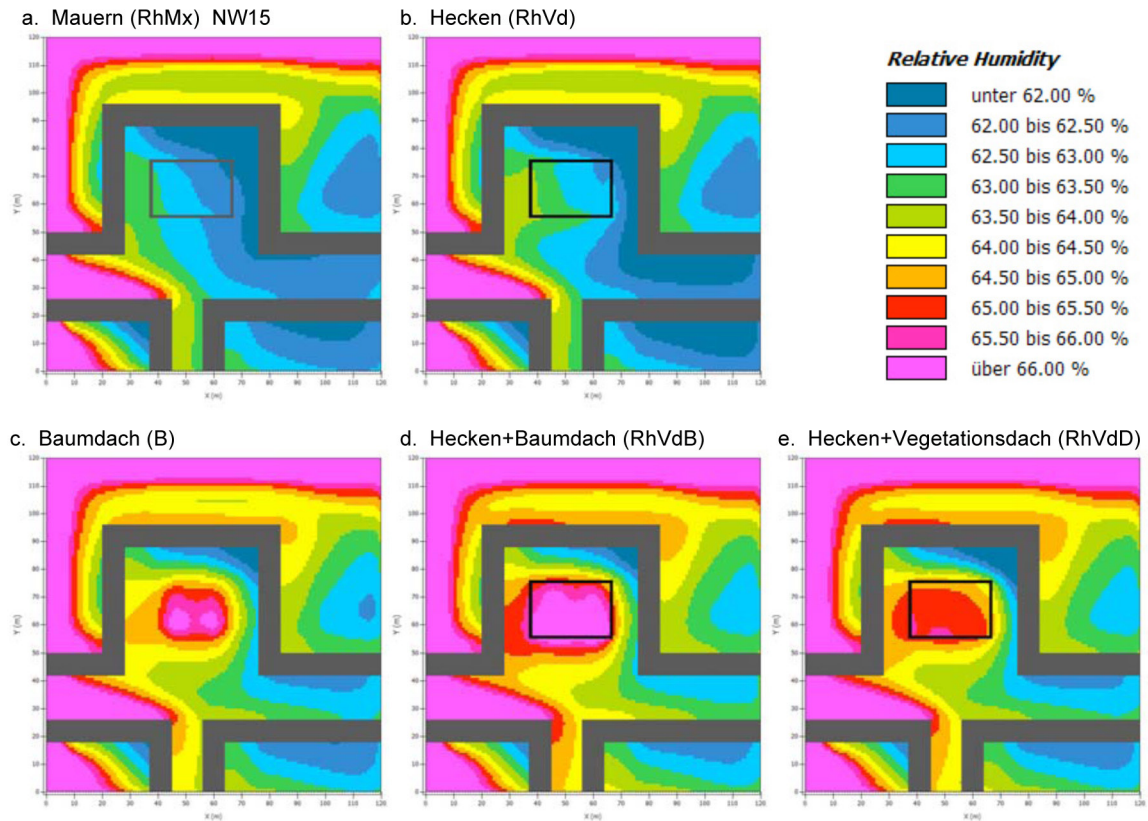


Abb. 6.25 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (*Kg_NW15*)

relHum	<i>Kg_NW15</i>	RhMx	RhVd	B	RhVdB	RhVdD
Mittelwerte %	62,18	62,54	62,94	65,42	66,22	65,19
Differenz %	0	+ 0,36	+ 0,76	+ 3,24	+ 4,04	+ 3,01

Tab. 6.16 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für *Kg_NW15* (z=1)

6.5.2. Offene Platzsituation

6.5.2.1. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit

Nullvarianten: Bei Südwind ergibt sich eine Kanalisierung des Windes über den Platz in Richtung Nordost in den von Norden eintreffenden Straßenraum. Die anderen auf den Platz eintreffenden Straßen werden dadurch kaum beeinflusst. Lediglich bei stärkerem Südwind (*Ko_S15*) ist eine Verwirbelung in Richtung des vom Südwesten eintreffenden

Straßenraumes zu beobachten. Der von Nordwesten einkommende Wind (Ko_NW15) verteilt sich auf dem Platz. Es ergibt sich eine Lenkung des Luftstroms vor allem in die südöstliche, aber auch in die südlich eintreffende Straße. Der den Platz im Süden streifende Westwind (Ko_W15) stößt auf die südöstliche Gebäudeecke, wodurch der Windstrom zurück gestaut und in zwei Richtungen abgelenkt und kanalisiert wird: einerseits in der direkten Fortführung nach Osten und andererseits quer über den Platz in die im Nordosten eintreffende Straße (s. Abb. 6.26). Die Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten zeigen, dass die mit Abstand höchsten Windgeschwindigkeiten beim Westwind entstehen. Die geringsten Windgeschwindigkeiten sind erwartungsgemäß beim Schwachwind aus Süden zu beobachten (Ko_S03). Interessant sind die relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten bei direkt eintreffendem Nordwestwind (s. Tab. 6.17).

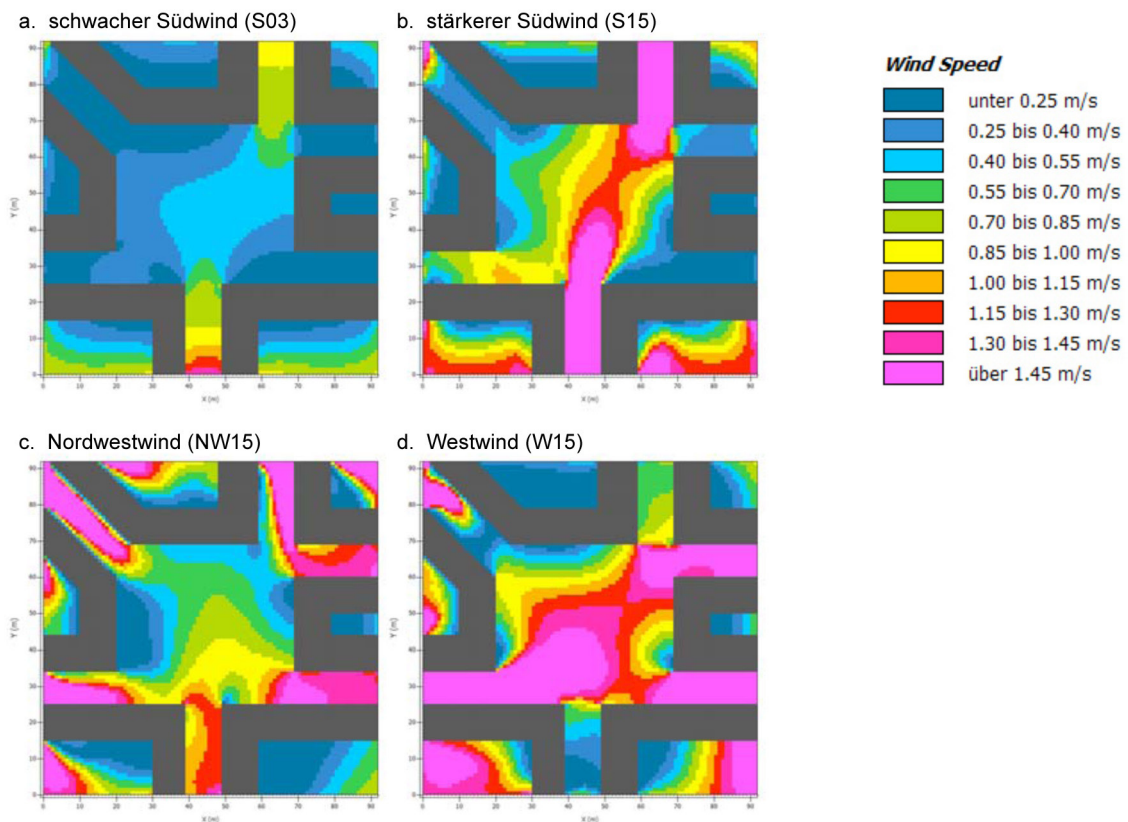


Abb. 6.26 : Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation

windspeed	Ko_S03	Ko_S15	Ko_NW15	Ko_W15
Platzfläche (pf)	0,09 m/s	0,87 m/s	0,66 m/s	1,23 m/s
Raubildung (rb)	0,10 m/s	0,82 m/s	0,54 m/s	1,14 m/s

Tab. 6.17 : Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation ($z=1$)

Insgesamt sind bei den unterschiedlichen Gestaltungsvarianten ähnliche Auswirkungen auf die Windgeschwindigkeit zu beobachten wie bei der geschlossenen Platzsituation (s. 6.5.1.1). Die wichtigsten Ergebnisse werden anhand von *maps* der Simulationsreihe für den stärkeren Südwind und den Nordwestwind verdeutlicht.

Die stärkste Windbremsung ist auch bei der offenen Platzgestaltung bei einer Raumbildung durch Mauern zu verzeichnen (*Ko_S15_RhMx*). Trifft die Windbewegung wie beim Nordwestwind auf eine Ecke der Raumbildung auf, so erhöht sich seitlich die Windgeschwindigkeit in geringem Maß, bei frontal auftreffendem oder streifendem Wind tritt dieser Effekt nicht auf.

Hecken beruhigen die Windgeschwindigkeiten innerhalb der Raumbildung auf der Platzfläche und unterbrechen somit in diesem Bereich den Windkanalisierungseffekt, der in der Nullvariante zu beobachten ist (*Ko_S15_RhVd*). Die Mittelwerte zeigen, dass dabei ein räumlicher Ausgleich der Windgeschwindigkeiten stattfindet, die mittlere Windgeschwindigkeit insgesamt jedoch nicht verringert wird.

Bäume gleichen ebenfalls grundsätzlich die Windgeschwindigkeiten auf der Platzfläche aus. Die Mittelwerte zeigen auch hier, dass die mittlere Windgeschwindigkeit im Bereich der Platzmitte insgesamt nicht reduziert, sondern sogar erhöht wird (*Ko_S15_B*). Durch eine Kombination mit Hecken wird dieser Effekt weitgehend aufgefangen (*Ko_S15_RhVdB*) (s. Abb. 6.27) (s. Tab. 6.18).

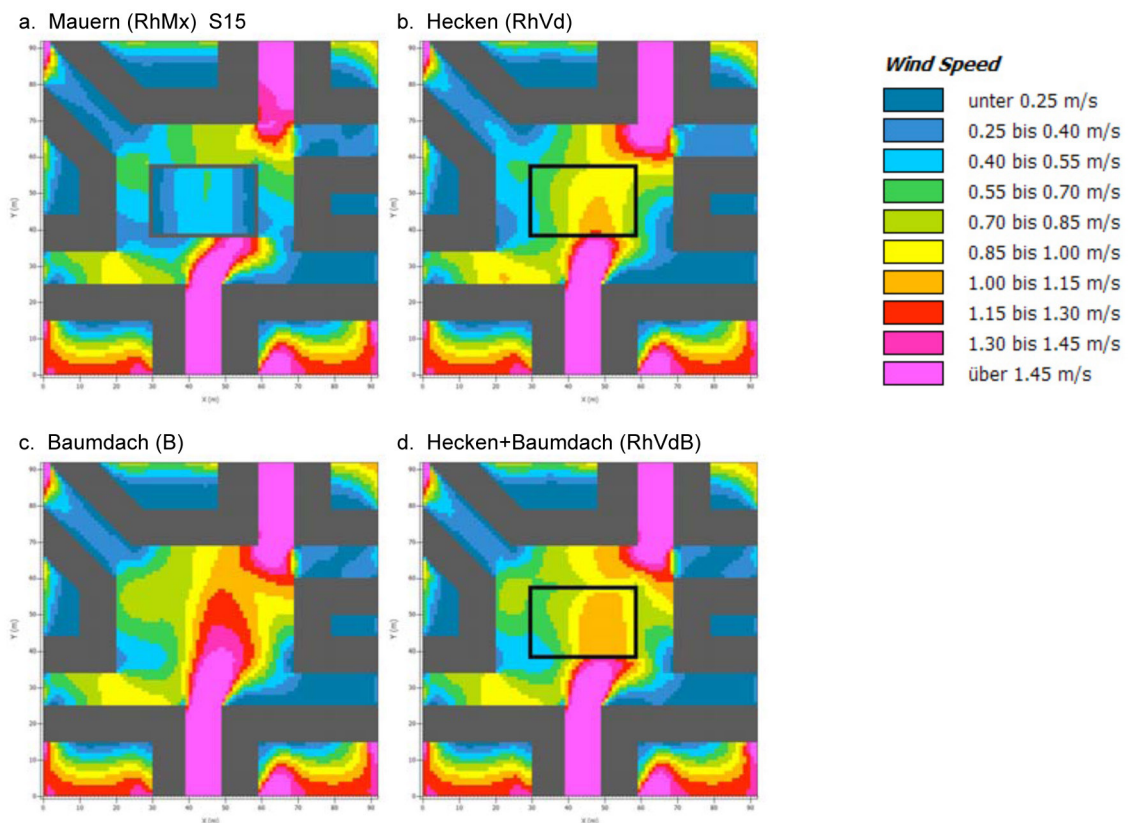


Abb. 6.27 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die offene Platzsituation bei stärkerem Südwind (*Ko_S15*)

windspeed	Ko_S15	RhMx	RhVd	B	RhVdB
Mittelwerte m/s	0,82	0,40	0,84	1,03	0,89
Differenz m/s	0	- 0,42	+ 0,02	+ 0,21	+ 0,07

Tab. 6.18 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für *Ko_S15* ($z=1$)

Im Fall von Nordwestwind wirken sich Bäume deutlich geringer aus (Ko_NW15_B und $_RhVdB$). Neben der Raumbildung mit Mauern hat die Raumbildung mit Hecken in Kombination mit einem Vegetationsdach die höchste Bremswirkung (Ko_NW15_RhVdD). Die Windgeschwindigkeiten werden außerhalb der Raumbildung entlang der Nordfassade leicht erhöht (s. Abb. 6.28) (s. Tab. 6.19).

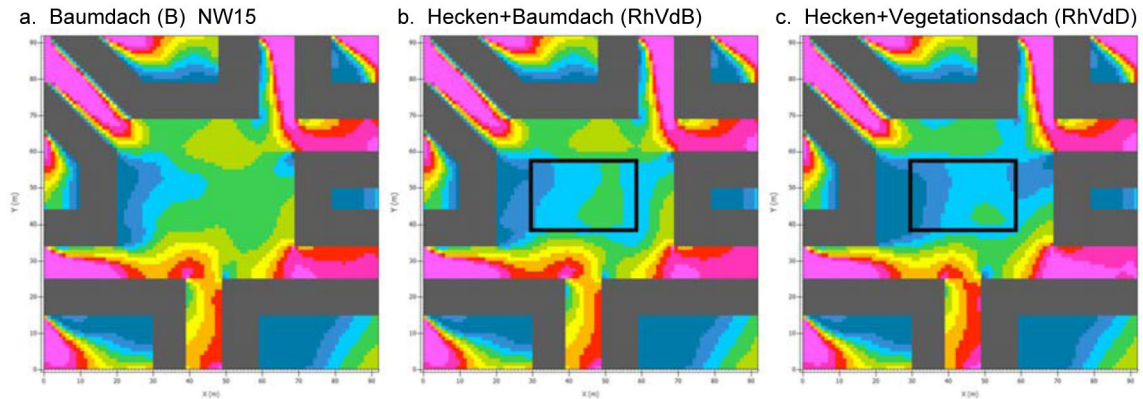


Abb. 6.28 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)

windspeed	Ko_NW15	B	RhVdB	RhVdD
Mittelwerte m/s	0,54	0,59	0,50	0,42
Differenz m/s	0	+ 0,05	- 0,04	- 0,12

Tab. 6.19 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für Ko_NW15 ($z=1$)

Bei schwachem Südwind wirken sich die unterschiedlichen Gestaltungsvarianten nur unwesentlich auf die Windgeschwindigkeit aus.

6.5.2.2. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur (T_{sur})

Nullvarianten: Insgesamt werden bei der offenen Platzsituation etwas geringere T_{sur} -Werte als bei der geschlossenen Platzsituation erreicht. Die Kontrolluntersuchungen zur Bodenbeschaffenheit zeigen, dass sich die Werte für die Oberflächentemperatur bei einem versiegelten Bodenbelag deutlich über denen eines unversiegelten Bodenbelags bewegen (s. Tab. 6.40, S. 162). Die geringeren Werte bei der offenen Platzsituation lassen sich also in erster Linie dadurch erklären. Die Skalen wurden entsprechend angepasst. Um einen Vergleich zu vereinfachen, wurde die Abstufung der Skalen aber einheitlich auf $2^{\circ}C$ belassen.

Die niedrigsten T_{sur} -Werte sind bei Schwachwind (Ko_S03) zu beobachten, wobei innerhalb der besonnten Platzfläche die T_{sur} -Werte mit zunehmender Windgeschwindigkeit steigen. Bei stärkerem Südwind (Ko_S15) ist die T_{sur} in diesem Bereich relativ ausgeglichen, die Werte liegen jedoch insgesamt, sowohl auf der besonnten wie auf der beschatteten Platzfläche, deutlich über denen bei schwachem Südwind. Gleiches trifft auch für den stärkeren Nordwest- und besonders für den Westwind zu (Ko_NW15 und $_W15$). Die Mittelwerte der Nullvarianten bestätigen dies. Die *maps* lassen für den Nordwest- und

Westwind grundsätzlich eine Reduzierung der T_{sur} bei zunehmenden Windgeschwindigkeiten erkennen (s. Abb. 6.29) (s. Tab. 6.20).

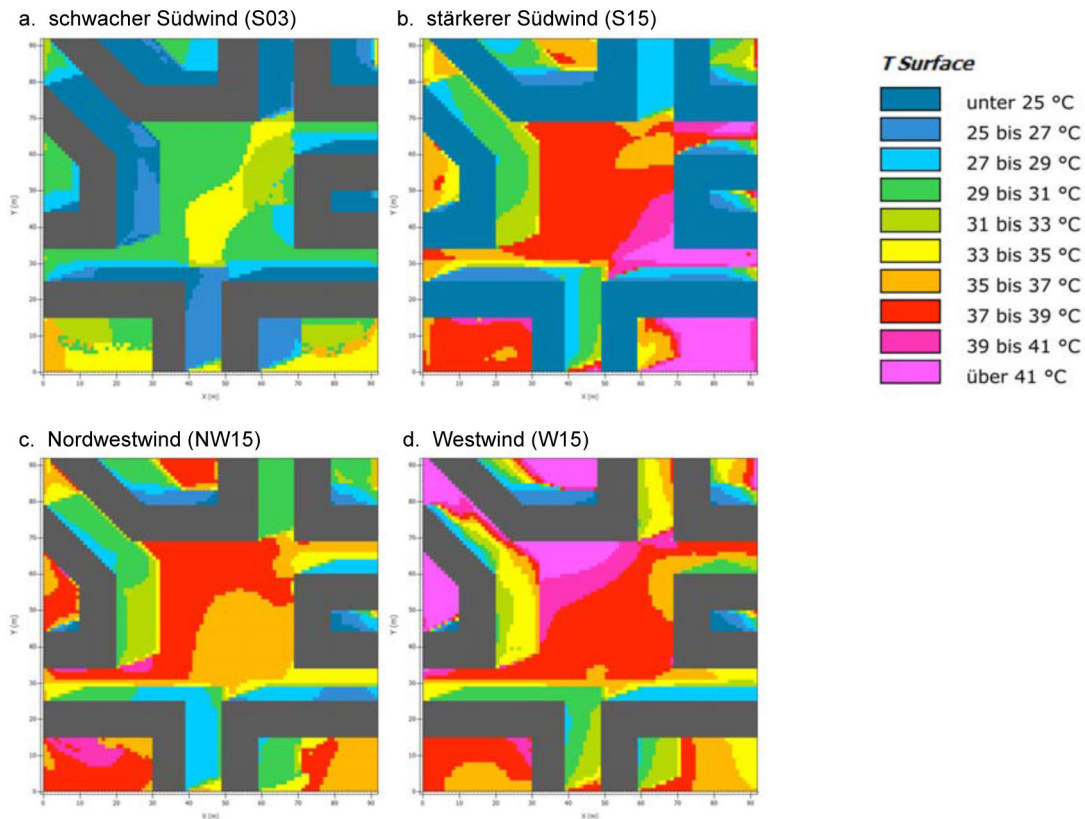


Abb. 6.29 : Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation

T_{sur}	Ko_S03	Ko_S15	Ko_NW15	Ko_W15
Platzfläche (pf)	29,41 °C	35,77 °C	35,28 °C	36,92 °C
Raumbildung (rb)	31,28 °C	37,14 °C	36,89 °C	38,17 °C

Tab. 6.20 : Mittelwerte der Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=0)

Die unterschiedlichen Gestaltungsvarianten haben auf die T_{sur} der offenen Platzsituation grundsätzlich einen ähnlichen Effekt wie auf die T_{sur} der geschlossenen Platzsituation (s. 6.5.1.2). Entscheidend für die Oberflächentemperatur ist vor allem die Ausdehnung bzw. Summe der verschatteten Oberflächen und der Grad der jeweiligen Beschattung.

Unterschiede fallen in erster Linie bei den Auswirkungen von Mauern und Hecken auf. Bei stärkerem Wind ist eine Erhöhung der T_{sur} im Fall von Mauern zu beobachten - sowohl innerhalb der Raumbildung als auch zum Teil auf den in Windrichtung angrenzenden Platzbereichen (z.B. Ko_W15_RhMx). Bei Verwendung von Hecken wird dagegen eine Reduzierung der Oberflächentemperaturen erreicht (Ko_W15_RhVd) (s. Abb. 6.30) (s. Tab. 6.21).

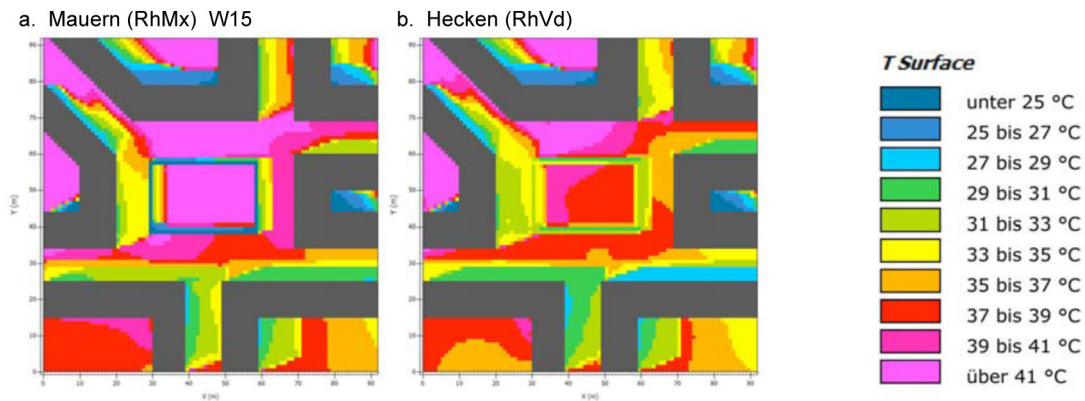


Abb. 6.30 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die offene Platzsituation bei Westwind (Ko_W15)

T_{sur}	Ko_W15	RhMx	RhVd
Mittelwerte °C	38,17	40,52	37,47
Differenz °C	0	+ 2,35	- 0,70

Tab. 6.21 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Ko_W15 (z=0)

Beim schwachen Südwind haben Mauern einen stärkeren Effekt auf die Reduktion der T_{sur} als Hecken (Ko_S03_RhM und _RhVd). Durch eine Raumbildung mit Mauern in Kombination mit einem Vegetationsdach werden hier die geringsten Mittelwerte für die T_{sur} erreicht (Ko_S03_RhMD) (s. Abb. 6.31) (s. Tab. 6.22).

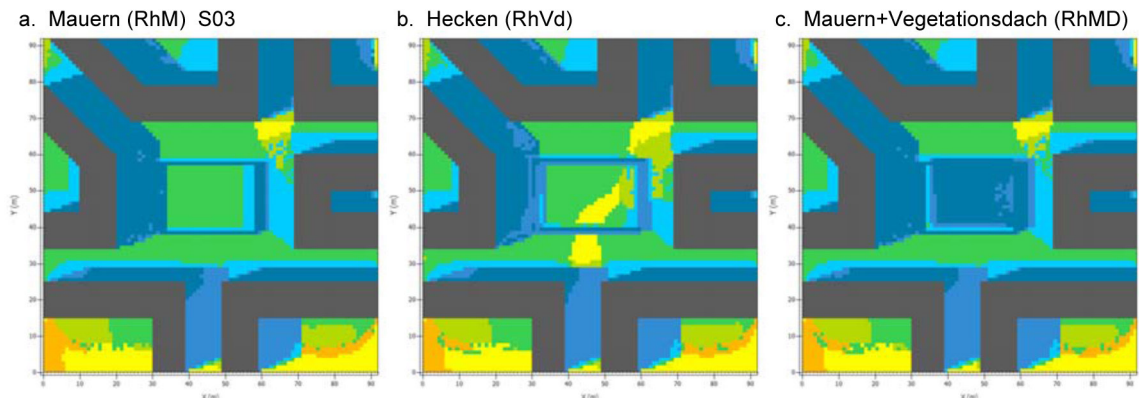


Abb. 6.31 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)

T_{sur}	Ko_S03	RhM	RhVd	RhMD
Mittelwerte °C	31,28	28,93	29,68	25,02
Differenz °C	0	- 2,35	- 1,60	- 6,26

Tab. 6.22 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Ko_S03 (z=0)

6.5.2.3. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt})

Nullvarianten: Auch bei der offenen Platzsituation erreicht die mittlere Strahlungstemperatur fast doppelt so hohe Werte wie bei der Oberflächentemperatur. Die höchsten Werte werden bei allen Windbedingungen entlang der besonnten Nordfassaden erreicht. Bei stärkerem Wind ist dieser Effekt auch entlang der anderen Gebäudefassaden zu beobachten. Besonders stark tritt dies bei stärkerem Südwind, aber auch bei Westwind auf (Ko_S15 und _W15). Hier werden für die gesamte Platzfläche die höchsten Mittelwerte aufgezeigt. Die geringsten T_{mrt} -Werte werden beim Schwachwind erreicht (Ko_S03). Im zentralen Platzbereich der Raumbildung, wo die Fassaden weniger direkten Einfluss auf die T_{mrt} haben, gleichen sich die Mittelwerte der unterschiedlichen Windbedingungen etwas an (s. Abb. 6.32) (s. Tab. 6.23).

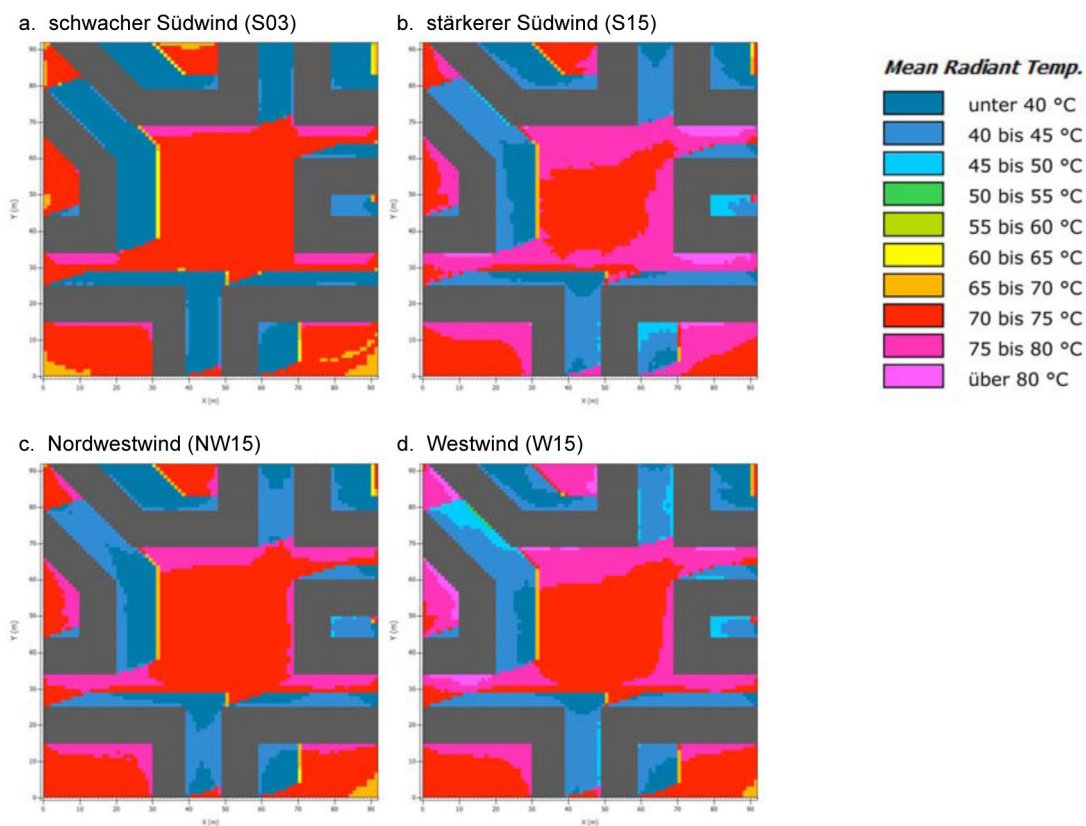


Abb. 6.32 : Mittlere Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation

T_{mrt}	Ko_S03	Ko_S15	Ko_NW15	Ko_W15
Platzfläche (pf)	62,78 °C	66,59 °C	65,11 °C	66,26 °C
Raumbildung (rb)	68,72 °C	72,75 °C	71,18 °C	71,96 °C

Tab. 6.23 : Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)

Bei den Gestaltungsvarianten weisen die Simulationen für die T_{mrt} bei der offenen Platzsituation differenziertere Ergebnisse als bei der geschlossenen Platzsituation auf. Hecken bewirken hier sowohl bei stärkerem als auch bei schwachem Wind grundsätzlich gerin-

gere T_{mrt} -Werte als Mauern. Für Hecken gilt auch hier: je dichter, desto geringer der T_{mrt} -Wert (s. Tab. 6.42). Es zeichnet sich zudem eine Erhöhung des T_{mrt} -Wertes jeweils südlich der Mauern ab (Ko_W15_RhMx). Bei Hecken tritt dieser Effekt deutlich geringer auf (Ko_W15_RhVd). Eine Ausnahme ist bei Nordwestwind zu beobachten. Hier zeigt die mittlere Strahlungstemperatur bei Mauern etwas geringere Werte als bei Hecken (s. Abb. 6.33) (s. Tab. 6.24).

Bezüglich einer Überdachung gilt grundsätzlich das Gleiche wie bei der geschlossenen Platzsituation (s. 6.5.1.3). Auffällig sind bei den *maps* nur die geringeren Werte der T_{mrt} unter Bäumen bei Westwind im Vergleich zu den Werten bei anderen Windbedingungen (Ko_W15_B und $_NW15_B$). Die Mittelwerte zeigen jedoch, dass hier lediglich ein Unterschied von 1°C erreicht wird, was auch bei anderen Windbedingungen auftritt, aber aufgrund der Skalenbandbreite in den jeweiligen *maps* nicht ablesbar ist.

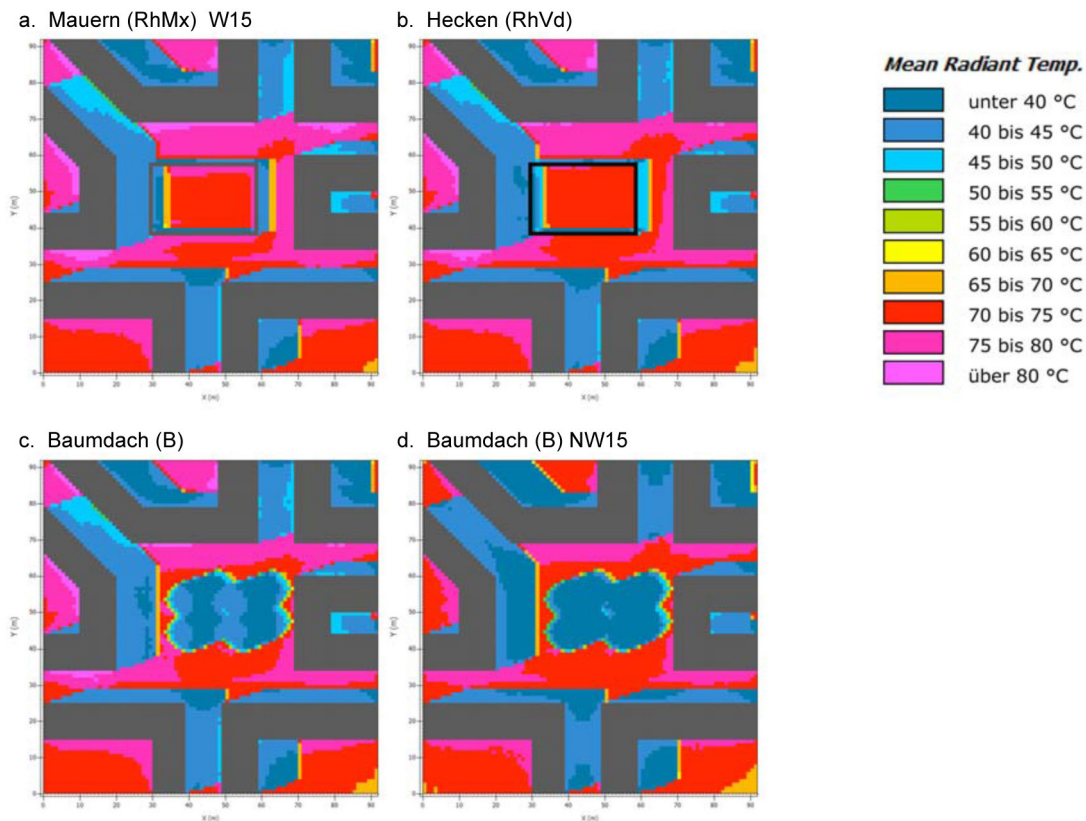


Abb. 6.33 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur für die offene Platzsituation bei Westwind (Ko_W15) und Nordwestwind (Ko_NW15)

T_{mrt}	Ko_W15	RhMx	RhVd	B
Mittelwerte °C	71,96	68,30	68,21	46,95
Differenz °C	0	- 3,66	- 3,75	- 25,01

Tab. 6.24 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für Ko_W15 ($z=1$)

6.5.2.4. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur (T_{pot})

Die Werte der potentiellen Lufttemperatur variieren bei offener Platzsituation etwas stärker als bei geschlossener Platzsituation. Bei höheren Windgeschwindigkeiten sind lokale Unterschiede der potentiellen Lufttemperatur in den *maps* kaum noch sichtbar. Für die entsprechenden Simulationsreihen (*Ko_S15* und *Ko_W15*) wird daher nur auf die kalkulierten Mittelwerte Bezug genommen.

Nullvarianten: Für den schwachen Südwind werden auf der gesamten Platzfläche Unterschiede von ca. 0,8°C erreicht, die T_{pot} nimmt in Windrichtung ab (*Ko_S03*). Auch beim Nordwestwind nimmt die T_{pot} in Windrichtung ab, was in diesem Fall jedoch auch mit einer Zunahme der Windgeschwindigkeit übereinstimmt. Insgesamt liegen die T_{pot} -Werte deutlich höher und es werden in der Platzdiagonale Temperaturunterschiede von ca. 1,2°C erreicht (*Ko_NW15*). Die Unterschiede zwischen den einzelnen Windbedingungen erreichen laut der kalkulierten Mittelwerte über 13°C. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt die potentielle Lufttemperatur zu (s. Abb. 6.34) (s. Tab. 6.25).

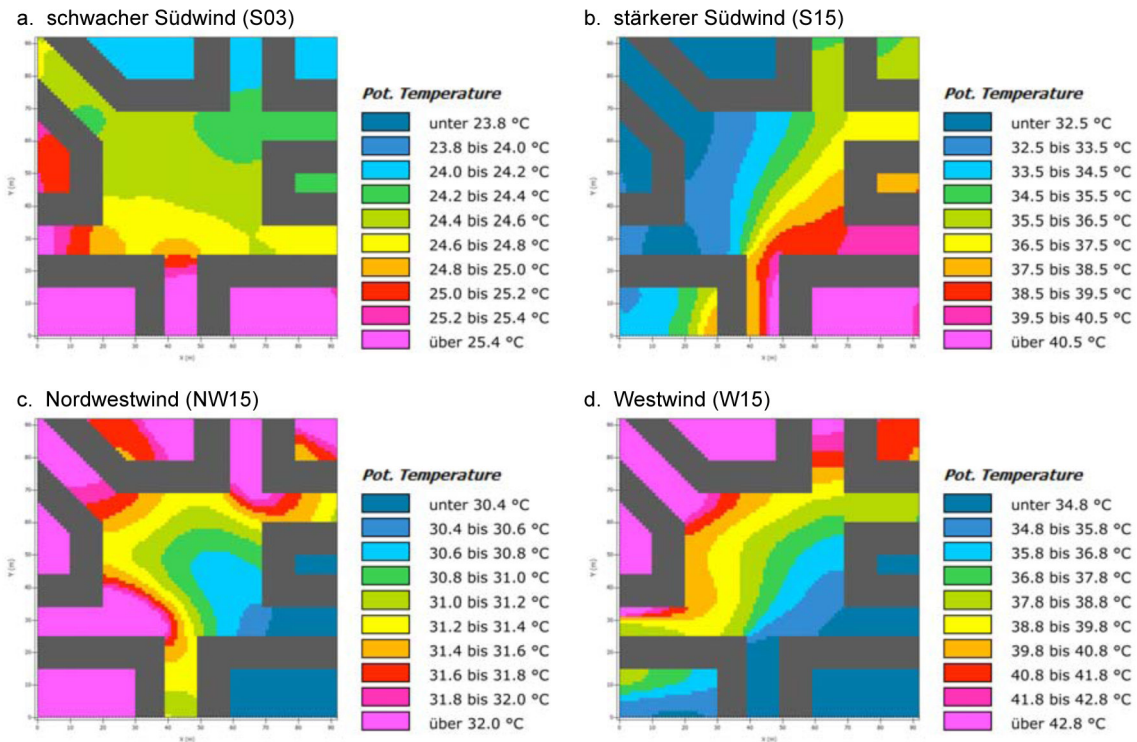


Abb. 6.34 : Potentielle Lufttemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation

T_{pot}	Ko_S03	Ko_S15	Ko_NW15	Ko_W15
Platzfläche (pf)	24,54 °C	35,10 °C	31,30 °C	38,22 °C
Raumbildung (rb)	24,51 °C	34,78 °C	30,96 °C	38,03 °C

Tab. 6.25 : Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)

Die Gestaltungsvarianten zeigen bei der offenen Platzsituation Unterschiede zur geschlossenen Platzsituation. In Bezug auf die Raumbildung wirken sich Mauern auch hier reduzierend auf die T_{pot} aus (Ko_S03_RhM und Ko_NW15_RhMx). Hecken haben einen nur geringfügigen Einfluss und bewirken bei stärkerem Wind sogar eine leichte Erhöhung des T_{pot} -Wertes innerhalb der Raumbildung (Ko_NW15_RhVd). Unter Bäumen wird bei der offenen Platzsituation die potentielle Lufttemperatur im Gegensatz zu der geschlossenen Platzsituation angehoben (Ko_S03_B und Ko_NW15_B). Bei stärkerem Nordwestwind wird diese Erhöhung bei einer zusätzlichen Raumbildung durch Hecken noch verstärkt (Ko_NW15_RhVdB). Bei horizontalem Abschluss mit einem Vegetationsdach tritt dieser Effekt nicht auf. Hier werden sogar etwas geringere T_{pot} -Werte erreicht als durch eine Raumbildung nur mit Hecken (Ko_NW15_RhVdD). Die stärkste Reduzierung der T_{pot} wird durch eine Raumbildung mit Mauern in Kombination mit einem Vegetationsdach erreicht (s. Abb. 6.35) (s. Abb. 6.36) (s. Tab. 6.26) (s. Tab. 6.27).

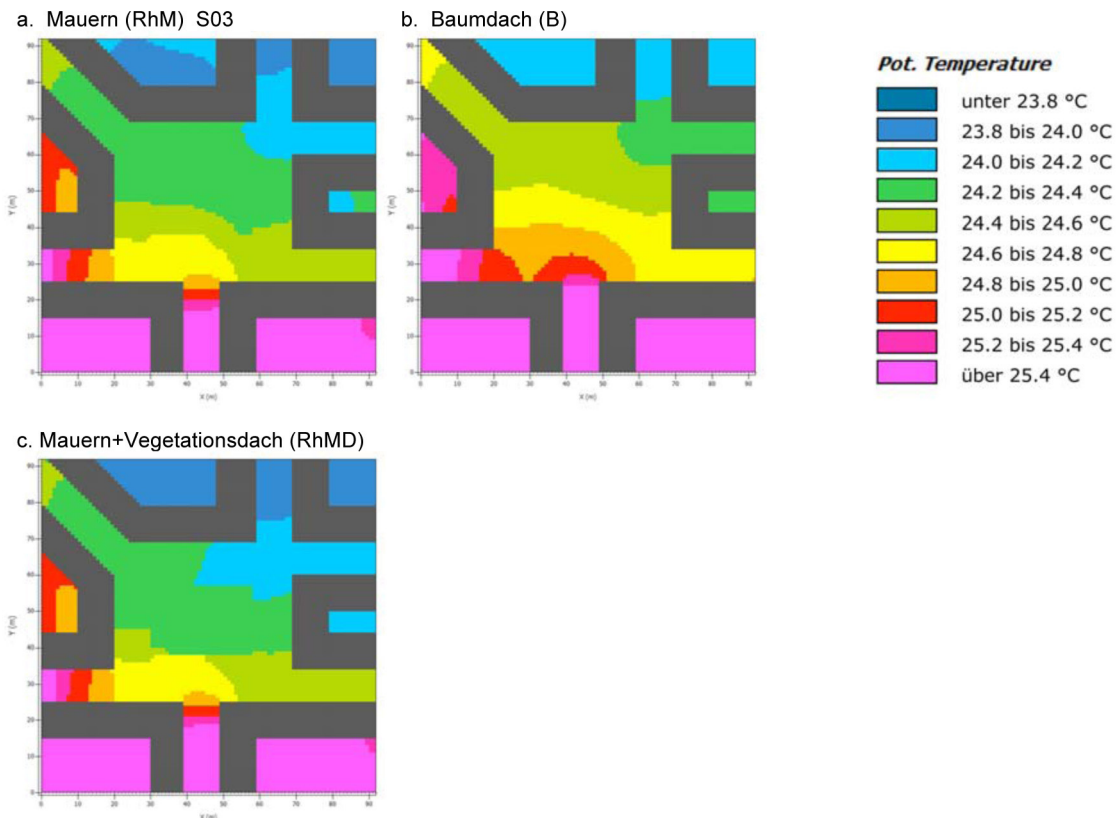


Abb. 6.35 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)

T_{pot}	Ko_S03	RhM	B	RhMD
Mittelwerte °C	24,51	24,37	24,62	24,30
Differenz °C	0	- 0,14	+ 0,11	- 0,21

Tab. 6.26 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Ko_S03 ($z=1$)

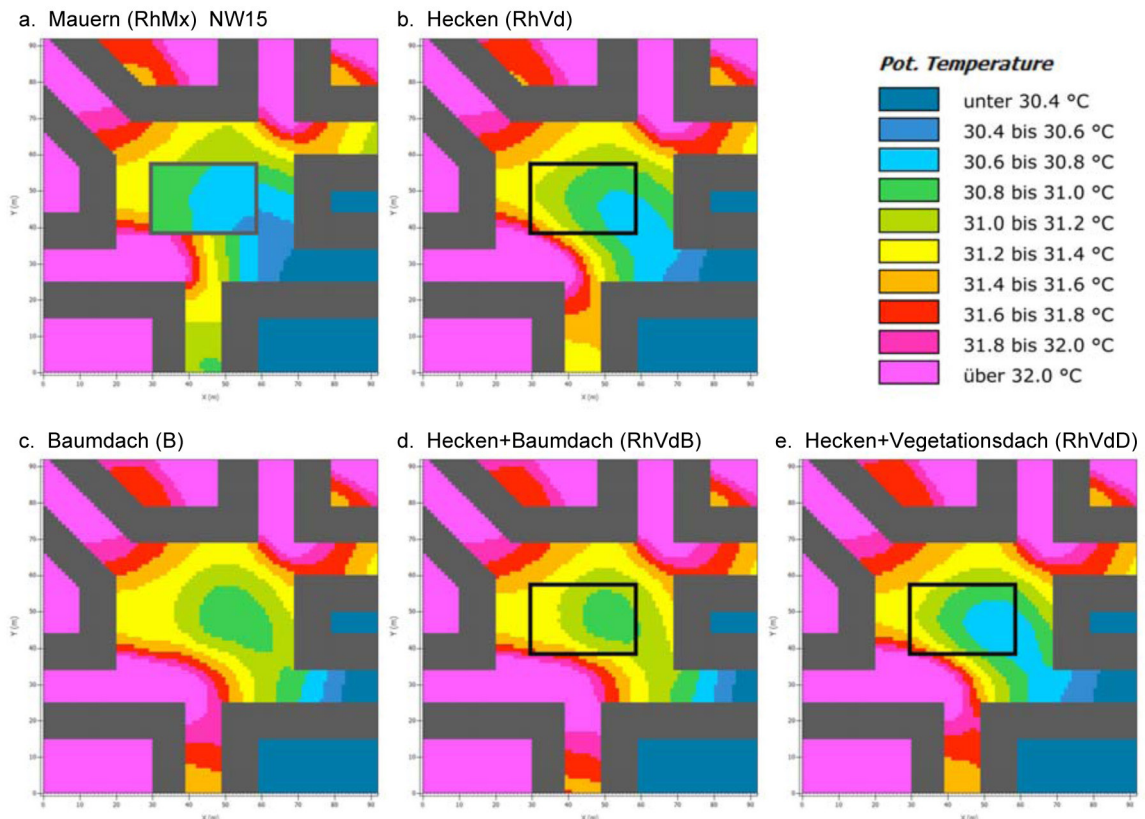


Abb. 6.36 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)

T_{pot}	Ko_NW15	RhMx	RhVd	B	RhVdB	RhVdD
Mittelwerte °C	30,96	30,78	30,99	31,09	31,12	30,95
Differenz °C	0	- 0,18	+ 0,03	+ 0,13	+ 0,16	- 0,01

Tab. 6.27 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Ko_NW15 (z=1)

Beim wesentlich stärkeren Westwind (Mittelwert der Windgeschwindigkeit für die Nullvariante 1,14 m/s) sind die *maps* kaum noch aussagefähig. Es lassen sich aber trotzdem Tendenzen erkennen, die von der Interpretation der Mittelwerte angenommen werden können. Auffällig ist hier eine deutliche Erhöhung der T_{pot} innerhalb der Raumbildung durch Mauern und eine Reduzierung durch Hecken. Die geringsten T_{pot} -Werte werden hier bei Hecken in Kombination mit einem Vegetationsdach erreicht, durch eine Kombination mit Bäumen wird die T_{pot} dagegen erhöht (s. Tab. 6.28).

T_{pot}	Ko_W15	RhMx	RhVd	B	RhVdB	RhVdD
Mittelwerte °C	38,03	39,78	37,87	38,06	38,13	37,79
Differenz °C	0	+ 1,75	- 0,16	+ 0,03	+ 0,10	- 0,24

Tab. 6.28 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Ko_W15 (z=1)

6.5.2.5. Einfluss der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit

Nullvarianten: Bei der offenen Platzsituation verläuft die Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit bei allen Windbedingungen grundsätzlich spiegelbildlich zur potentiellen Lufttemperatur. Bei schwachem Südwind ist die relative Luftfeuchtigkeit sehr ausgeglichen (Ko_S03). Mit zunehmendem Wind variieren die Werte stärker. Bei stärkerem Südwind liegen die Werte insgesamt am niedrigsten und bei Nordwestwind am höchsten (Ko_S15 und _NW15) (s. Abb. 6.37) (s. Tab. 6.29).

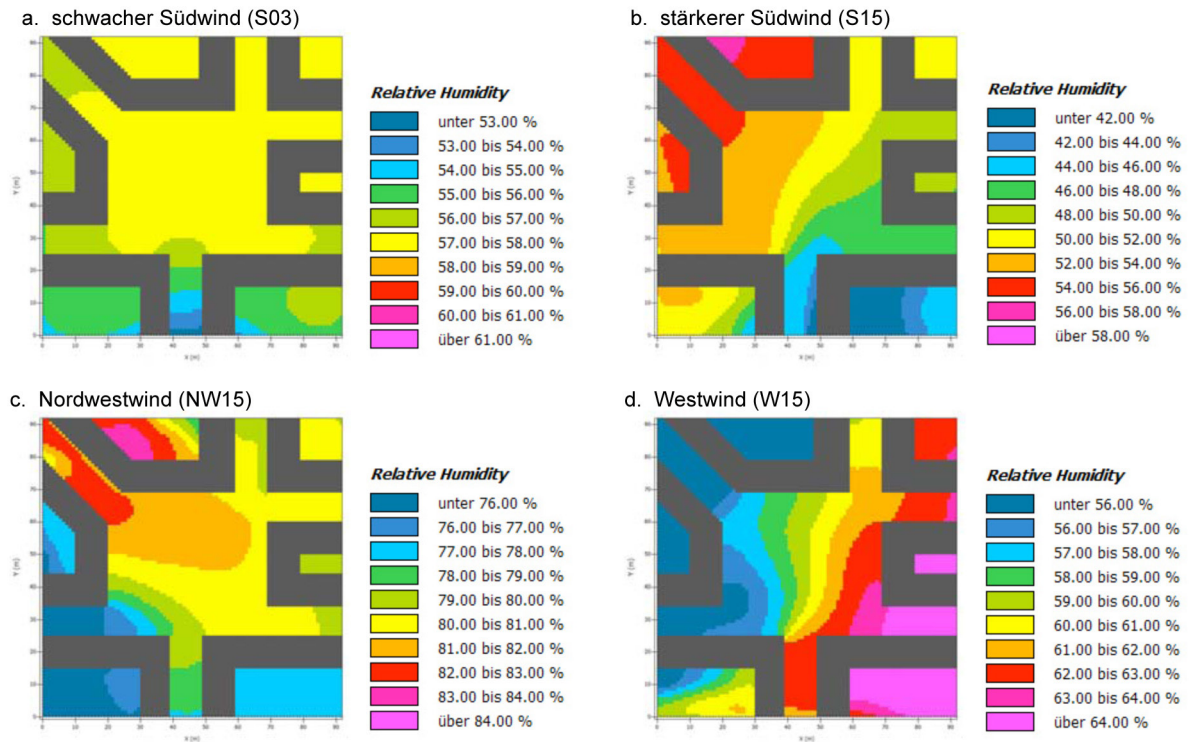


Abb. 6.37 : Relative Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation

relHum	Ko_S03	Ko_S15	Ko_NW15	Ko_W15
Platzfläche (pf)	57,39 %	50,82 %	80,57 %	59,60 %
Raumbildung (rb)	57,48 %	51,16 %	81,02 %	59,50 %

Tab. 6.29 : Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)

Die Gestaltungsvarianten haben bei offener Platzsituation ebenso wie bei der geschlossenen Platzsituation durchgängig einen erhöhenden Effekt auf die relative Luftfeuchtigkeit der gesamten Platzfläche. Die Mittelwerte zeigen, dass bei schwachem Südwind auch hier Mauern einen etwas stärkeren Effekt als Hecken haben, der Unterschied fällt aber deutlich geringer aus als bei der geschlossenen Platzsituation (Ko_S03_RhM und _RhVd). In Kombination mit einem horizontalen Abschluss liegen die Werte dagegen bei Hecken höher als bei Mauern. In den maps ist die Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit in Windrichtung auffällig, in diesem Fall also nördlich der Raumbildung (Ko_S03_RhVdB und _RhMB) (s. Abb. 6.38) (s. Tab. 6.30).

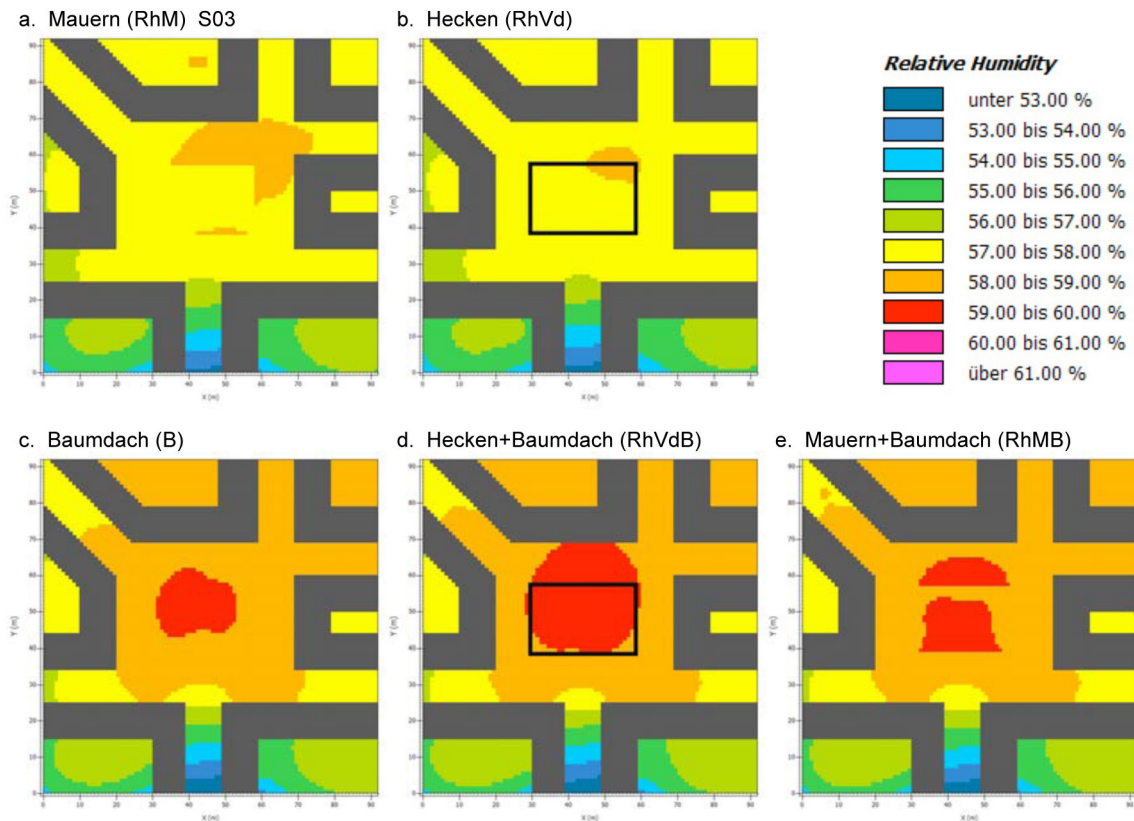


Abb. 6.38 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)

relHum	Ko_S03	RhM	RhVd	B	RhVdB	RhMB
Mittelwerte %	57,48	57,92	57,88	58,99	59,17	58,43
Differenz %	0	+ 0,44	+ 0,40	+ 1,51	+ 1,69	+ 1,51

Tab. 6.30 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Ko_S03 (z=1)

Die Auswirkungen der Gestaltungsvarianten bei stärkerem Wind stimmen weitgehend mit denen der geschlossenen Platzsituation überein (s. 6.5.1.5). Der jeweilige Bereich mit den höchsten Werten wird im Fall der offenen Platzsituation in Windrichtung verschoben und wirkt sich somit auch stärker auf die angrenzende Umgebung aus. Hecken und insbesondere Bäume haben dabei eine deutlich größere Auswirkung als Mauern (Ko_NW15_RhMx, _RhVd und _B). Bäume haben einen stärkeren Einfluss als ein Vegetationsdach (Ko_NW15_RhVdB und _RhVdD). Bei stärkerem Südwind schieben sich die höchsten Luftfeuchtigkeitswerte sogar in den nördlich der Raumbildung gelegenen Bereich zwischen Hecken und Nordfassade. Bäume haben hier aufgrund der erzeugten Windverwirbelungen in westlicher Richtung zusätzlich einen deutlichen Einfluss auf den Bereich vor der Westfassade (Ko_S15_B und _RhVdB) (s. Abb. 6.39) (s. Tab. 6.31).

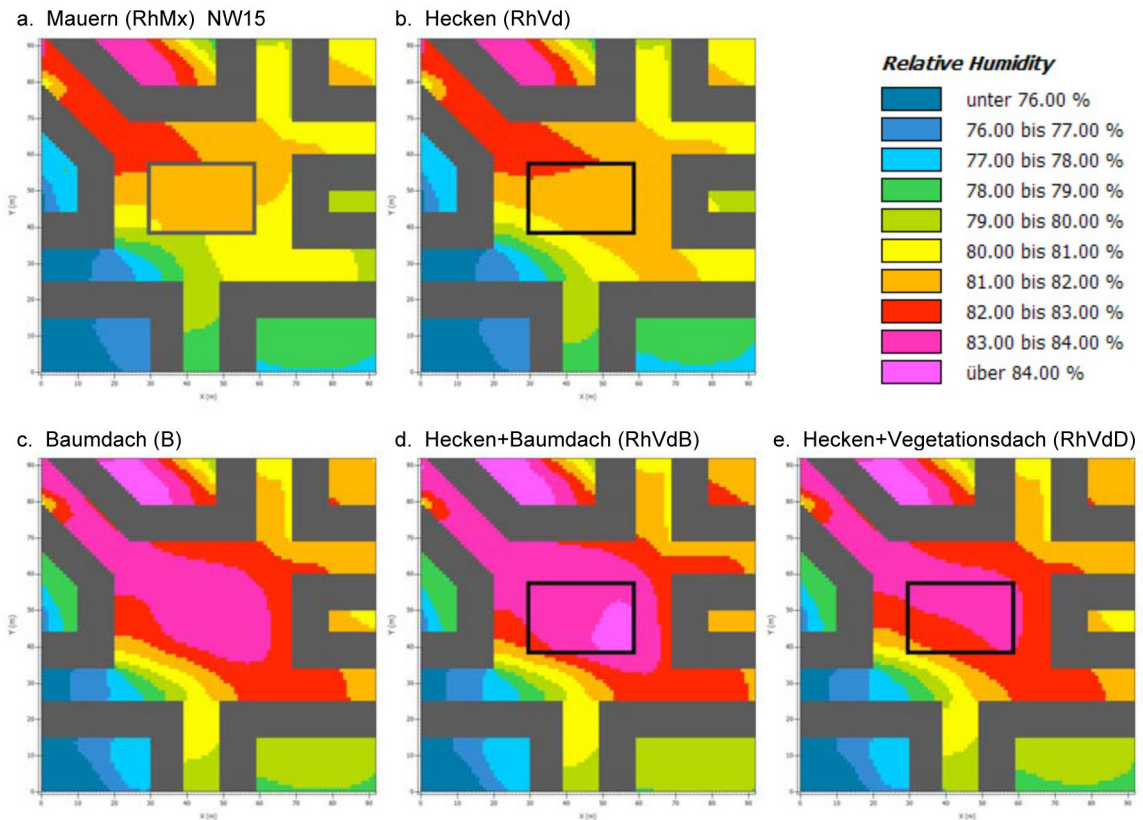


Abb. 6.39 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)

relHum	Ko_NW15	RhMx	RhVd	B	RhVdB	RhVdD
Mittelwerte %	81,02	81,30	81,61	83,41	83,79	82,99
Differenz %	0	+ 0,28	+ 0,59	+ 2,39	+ 2,77	+ 1,97

Tab. 6.31 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Ko_NW15 (z=1)

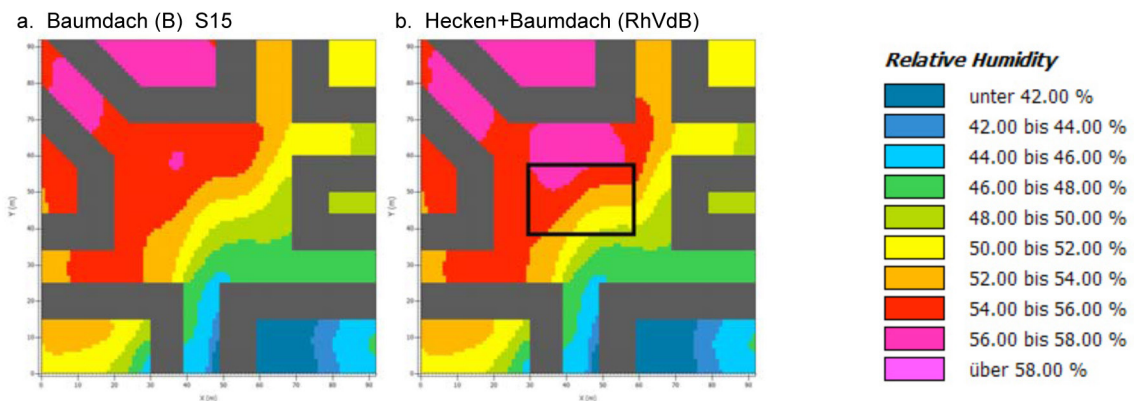


Abb. 6.40 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die offene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Ko_S15)

6.6 Ergebnisse zum thermischen Wohlbefinden (PET)

Der PET-Wert wird aus den Daten der Windgeschwindigkeit, der mittleren Strahlungstemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der potentiellen Lufttemperatur berechnet und ebenfalls in Form von *maps* dargestellt. Die Zusammenhänge zwischen dem PET-Wert und den einzelnen klimatischen Faktoren werden anschließend (in Kapitel 6.7) aufgezeigt und diskutiert.

6.6.1. Geschlossene Platzsituation

Die PET-Werte liegen insgesamt in einem hohen Bereich. Die niedrigsten Werte betragen im Schatten ca. 30-34°C, was bereits als 'mäßige Wärmebelastung' einzustufen ist (s. Tab. 3.4, S. 59). Dennoch lassen sich auch bei zum Teil extrem hohen Werten Tendenzen zu positiven oder negativen Auswirkungen der verschiedenen Gestaltungsvarianten ablesen. Bei der Betrachtung der Ergebnisse zu den unterschiedlichen Platzsituationen ist zu bedenken, dass eine Versiegelung der Bodenoberfläche zu einer deutlichen Erhöhung des PET-Wertes führt (s. Tab. 6.40, S. 162). Die Skala wurde dennoch für alle *maps* einheitlich festgelegt und zur leichteren Orientierung auf Empfindungsgrade abgestimmt. Der PET-Wert wird in den jeweiligen *maps* für eine Höhe von 1,50 m über Bodenniveau dargestellt.

Nullvarianten: Die mit Abstand höchste Wärmebelastung ist bei schwachem Wind aus Süden zu beobachten (*Kg_S03*). Beim stärkeren Südwind ist deutlich ein Zusammenhang zwischen zunehmender Windgeschwindigkeit und einer Reduzierung des PET-Wertes erkennbar. Das trifft sowohl in den besonnten als auch in den beschatteten Platzbereichen zu. Die Werte variieren zwischen Sonne und Gebäudeschatten um bis zu ca. 30 °C (*Kg_S15*). Beim Nordwestwind zeigt sich eine deutliche Reduzierung des PET-Wertes im Bereich der Verwirbelung im südöstlichen Platzbereich und im anschließenden Straßenraum (*Kg_NW15*). Auf der *map* zum Westwind tritt neben dem windausgerichteten Straßenraum auch ein an die Nordfassade reichender Windschlauch mit geringeren Werten auf (*Kg_W15*). Die Mittelwerte bestätigen eine Abnahme der PET-Werte bei zunehmender mittlerer Windgeschwindigkeit (s. Abb. 6.41) (s. Tab. 6.32).

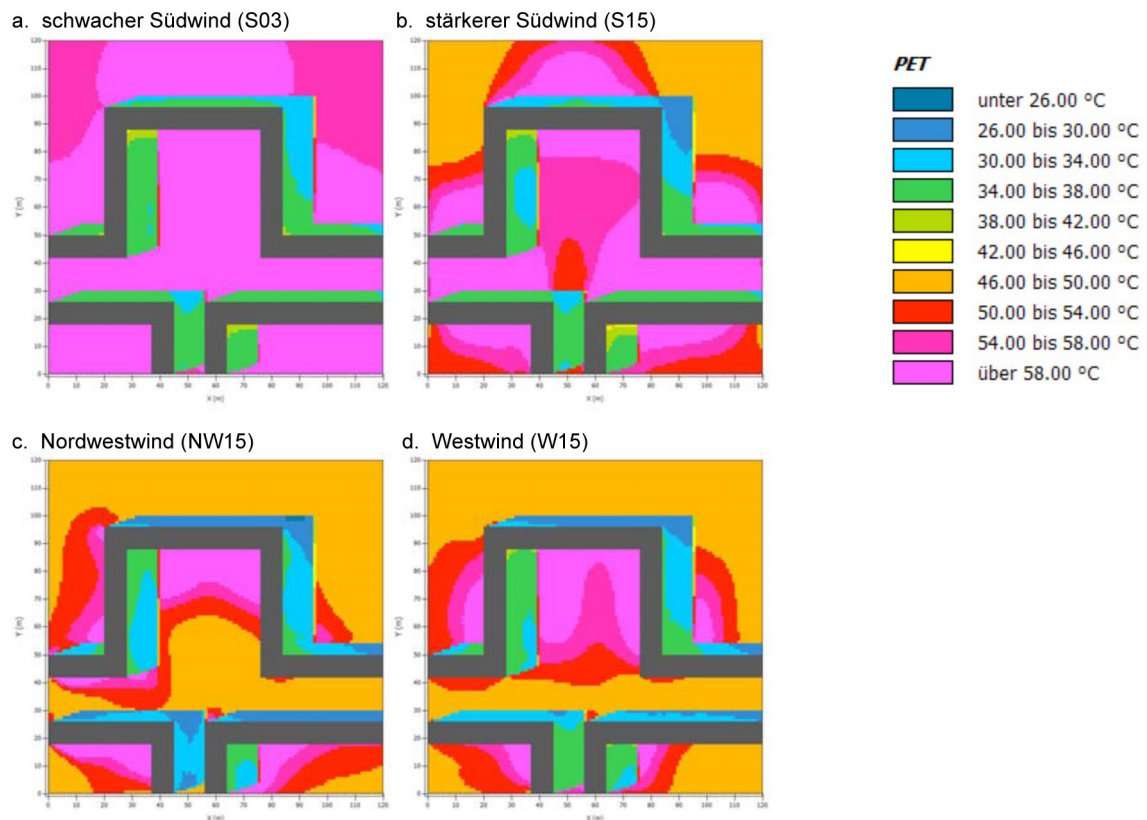


Abb. 6.41 : PET-Werte für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation

PET	Kg_S03	Kg_S15	Kg_NW15	Kg_W15
Platzfläche (pf)	57,81	53,75	49,48	51,63
Raumbildung (rb)	60,57	52,75	51,97	58,31

Tab. 6.32 : Mittelwerte des PET für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)

In den Gestaltungsvarianten lässt sich bei allen Windbedingungen beobachten, dass Mauern den PET-Wert grundsätzlich erhöhen, während Hecken den Wert absenken. Die Erhöhung des PET durch Mauern betrifft sowohl die innere Raumbildung als auch die angrenzende Platzfläche. Den größten Einfluss auf den PET-Wert hat ein horizontaler Abschluss, was durch eine zusätzliche Raumbildung deutlich verstärkt wird. Dabei wird unter Bäumen ein niedrigerer PET-Wert erreicht als unter einem Vegetationsdach, und in Kombination mit einer Raumbildung wirken sich Hecken stärker aus als Mauern. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gestaltungsvarianten fallen beim schwachen Südwind höher aus als beim stärkeren Wind. Die *maps* lassen hier unter Bäumen besonders deutlich den 'rundum' wärmeren Effekt von Mauern erkennen (*Kg_S03_B*, *_RhVdB* und *_RhMB*) (s. Abb. 6.42) (s. Tab. 6.33).

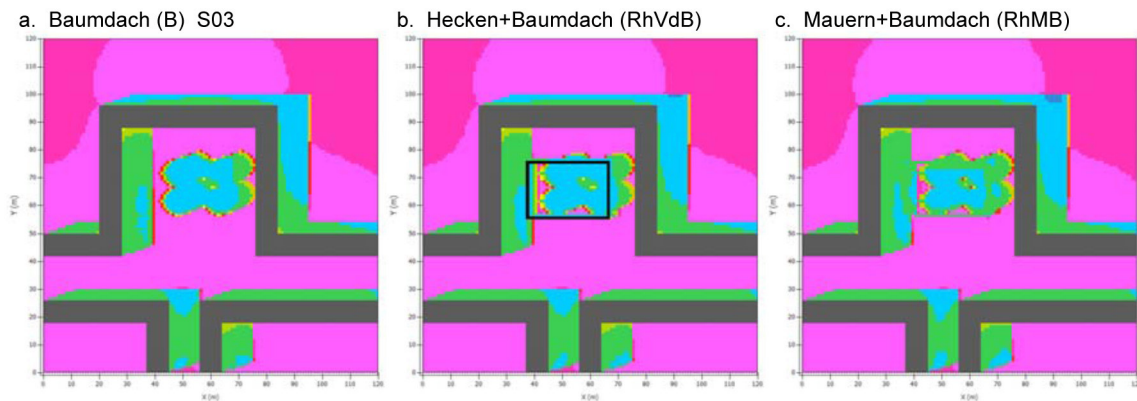


Abb. 6.42 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)

PET	Kg_S03	RhM	RhVd	B	RhVdB	RhMB
Mittelwerte °C	60,57	64,06	57,66	39,31	36,47	36,89
Differenz °C	0	+ 3,49	- 2,91	- 21,26	- 24,10	- 23,68

Tab. 6.33 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Kg_S03 (z=1)

Am Beispiel des Nordwestwindes wird gleichermaßen deutlich, dass durch Mauern sowohl innerhalb der Raumbildung als auch in der äußeren Umgebung eine Erhöhung des PET-Wertes zu beobachten ist. Lediglich im direkten Schattenbereich wird hier der PET-Wert deutlich gesenkt. Bei Hecken lässt sich anhand der *maps* innerhalb der Raumbildung eine leichte Erhöhung des PET-Wertes annehmen (*Kg_NW15_RhMx* und *_RhVd*). Die Mittelwerte zeigen jedoch, dass der PET-Wert in diesem Bereich insgesamt abgesenkt wird. Der Einfluss von Hecken auf die umgebende Platzfläche fällt eher gering aus. Auffällig ist dagegen die Erhöhung des PET-Wertes durch Bäume im südlich angrenzenden Platzbereich, was durch zusätzliche Hecken noch geringfügig verstärkt wird (*Ko_NW15_B* und *_RhVdB*). Im Fall eines Vegetationsdaches tritt dieser Effekt etwas schwächer auf (*Ko_NW15_RhVdD*) und beim stärkeren Süd- und Westwind ist er nicht zu beobachten. Unter den Bäumen wird der PET-Wert beim stärkeren Wind deutlicher abgesenkt als beim Schwachwind (s. Abb. 6.43) (s. Tab. 6.34). Es werden hier Werte unter 30°C erreicht, was laut Tabelle als 'leicht warm' und somit als nur 'schwache Wärmebelastung' einzustufen ist (s. Tab. 3.4, S. 59).

Auf den Straßenraum haben die verschiedenen Gestaltungsvarianten keinen signifikanten Einfluss.

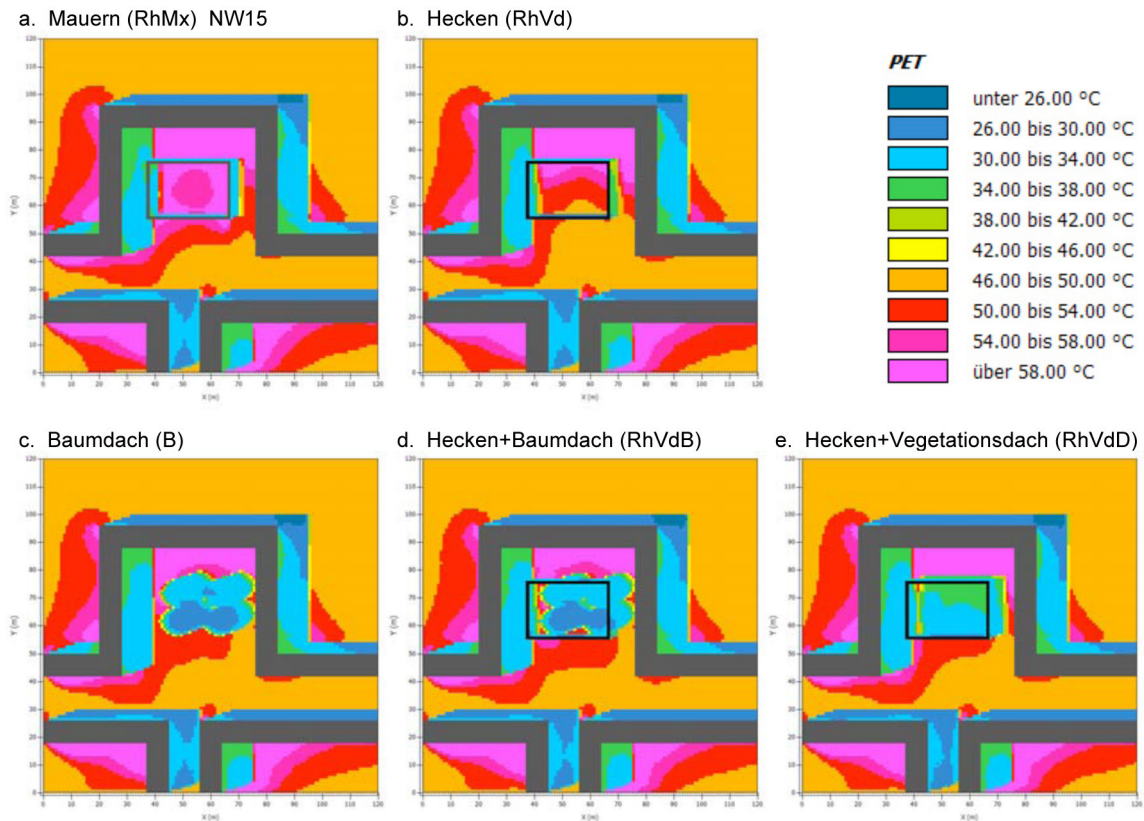


Abb. 6.43 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (Kg_NW15)

PET	Kg_NW15	RhMx	RhVd	B	RhVdB	RhVdD
Mittelwerte °C	51,97	54,70	50,28	35,37	33,28	34,02
Differenz °C	0	+ 2,73	- 1,69	- 16,60	- 18,69	- 17,95

Tab. 6.34 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Kg_NW15 (z=1)

6.6.2. Offene Platzsituation

Nullvarianten: Beim Südwind zeichnet sich in den *maps* zum PET die Windbewegung deutlich ab. Der PET-Wert sinkt mit zunehmender Windgeschwindigkeit. Auffällig sind die niedrigeren Werte im Schatten beim schwachen Südwind im Vergleich zu denen bei stärkeren Windbedingungen. Die berechneten Mittelwerte für die unterschiedlichen Windbedingungen weichen weniger voneinander ab als für die geschlossene Platzsituation. Die höchsten PET-Werte werden beim Nordwestwind erreicht, die geringsten Werte beim - relativ gesehen - starken Südwind (s. Abb. 6.44) (s. Tab. 6.35).

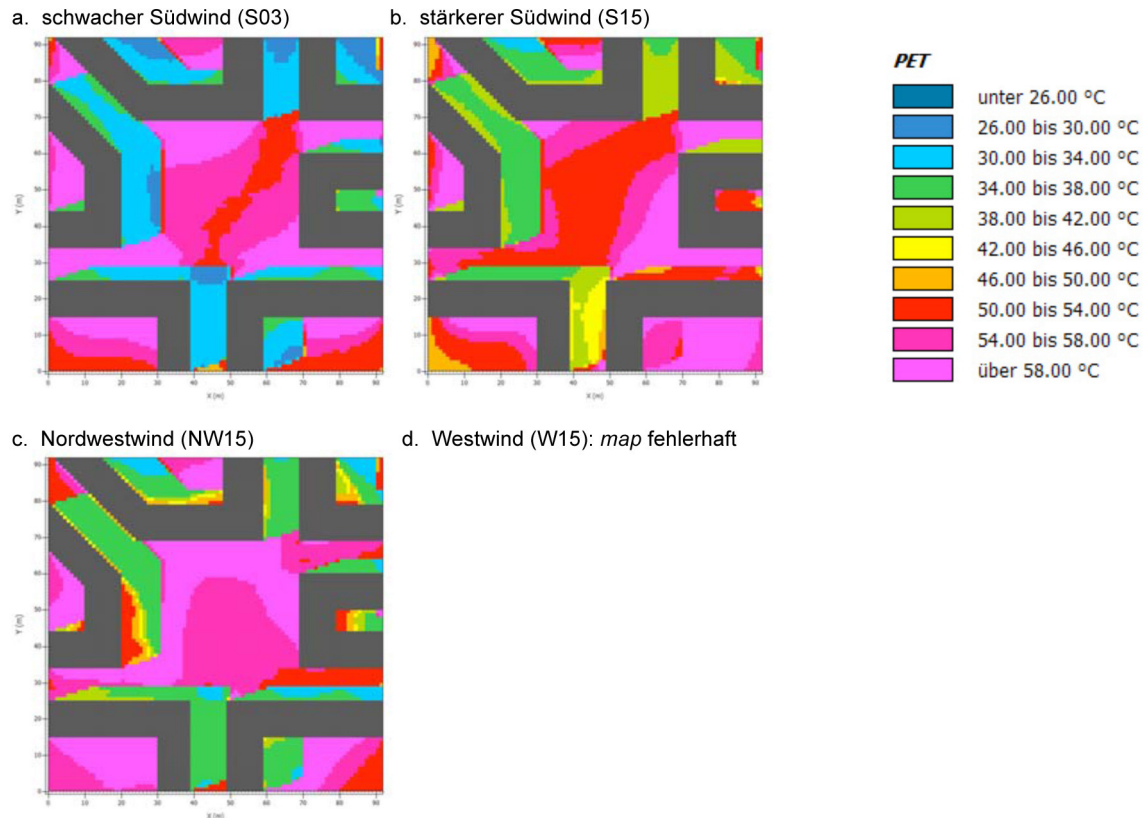


Abb. 6.44 : PET-Werte für die Nullvarianten der offenen Platzsituation

PET	Ko_S03	Ko_S15	Ko_NW15	Ko_W15
Platzfläche (pf)	50,72	51,30	53,48	51,63
Raubildung (rb)	54,00	52,58	56,31	58,31

Tab. 6.35 : Mittelwerte des PET für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)

Bei der offenen Platzsituation haben die Gestaltungsvarianten grundsätzlich vergleichbare Auswirkungen auf den PET-Wert wie bei der geschlossenen Platzsituation (s. 6.6.1).

Beim schwachen Südwind ist bei einer Raumbildung durch Hecken eine leichte Verminderung des PET-Wertes in Windrichtung erkennbar. Mauern bewirken dagegen eine Erwärmung, sowohl auf der südlich angrenzenden Platzfläche als auch innerhalb der Raumbildung entlang der Mauern. In den *maps* zur Raumbildung wird das in Kombination mit einem horizontalen Abschluss besonders deutlich sichtbar (*Ko_S03_RhMD* und *_RhVdD*) (s. Abb. 6.45) (s. Tab. 6.36).

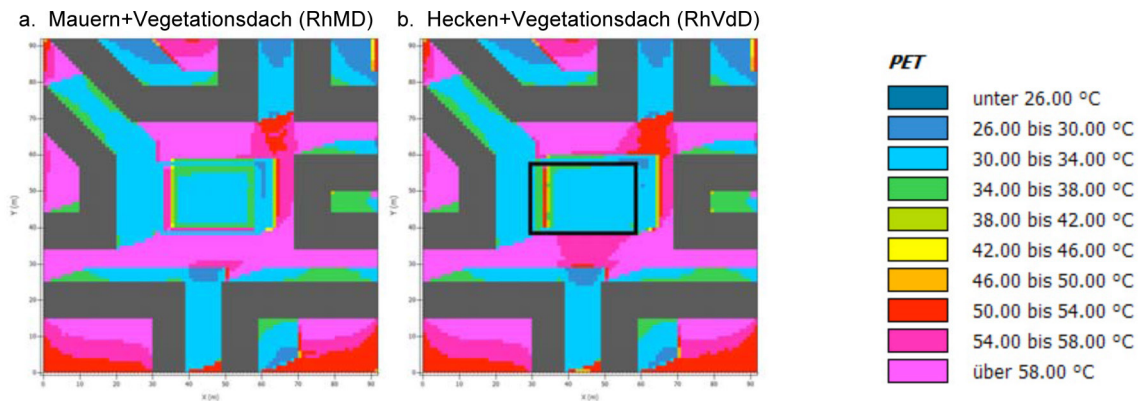


Abb. 6.45 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)

PET	Ko_S03	RhM	RhVd	RhMD	RhVdD
Mittelwerte °C	54,00	56,89	51,43	36,43	34,56
Differenz °C	0	+ 2,89	- 2,57	- 17,57	- 19,71

Tab. 6.36 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Ko_S03 (z=1)

Bei stärkerem Wind wird der PET-Wert durch eine Raumbildung mit Mauern auf der gesamten Platzfläche erhöht (Ko_S15_RhMx). Für die Raumbildung mit Hecken lässt die entsprechende map kaum einen Einfluss erkennen (Ko_S15_RhVd), die Mittelwerte zeigen hier jedoch insgesamt eine Absenkung des PET innerhalb der Raumbildung an. Bäume senken den PET-Wert in der nördlich angrenzenden Platzfläche (Ko_S15_B) (s. Abb. 6.46) (s. Tab. 6.37).

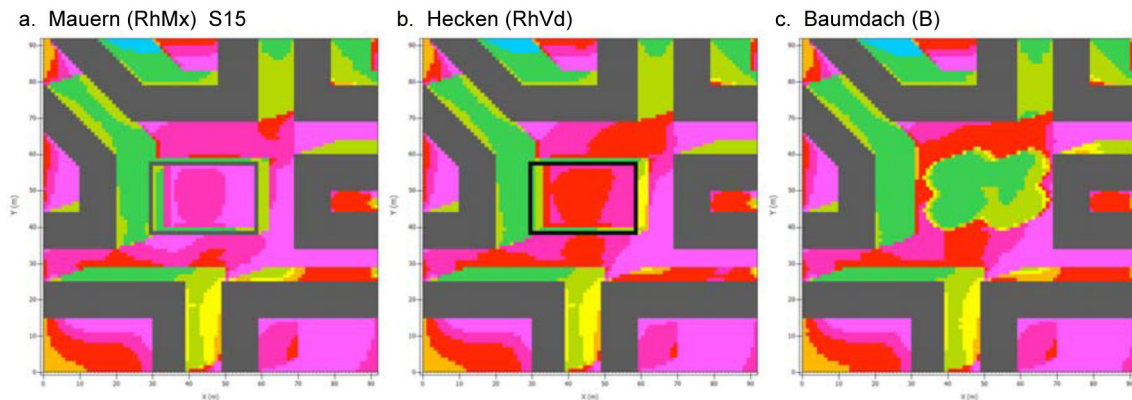


Abb. 6.46 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei stärkeren Südwind (Ko_S15)

PET	Ko_S15	RhMx	RhVd	B
Mittelwerte °C	52,58	55,38	51,46	40,18
Differenz °C	0	+ 2,80	- 1,12	- 12,40

Tab. 6.37 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Ko_S15 (z=1)

Beim Nordwestwind wird der PET durch Bäume im südlich angrenzenden Platzbereich leicht erhöht. Verstärkt wird dieser Effekt in Kombination mit einer Raumbildung. Im Norden wirken sich die Bäume dagegen leicht reduzierend auf den PET aus (Ko_NW15_B und $_RhVdB$) (s. Abb. 6.47).

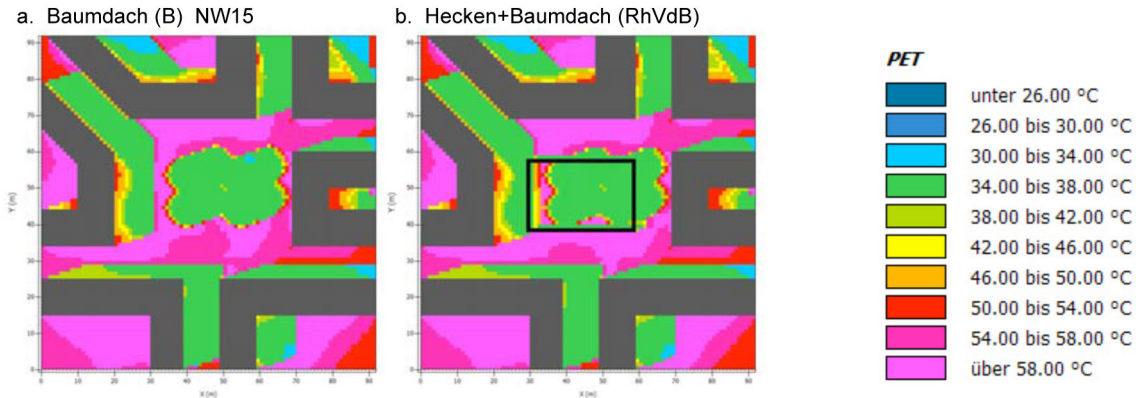


Abb. 6.47 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)

6.7 Diskussion der Zusammenhänge zwischen dem PET und den einzelnen klimatischen Faktoren

Bei Betrachtung aller Ergebnisse für die einzelnen Simulationsreihen fällt auf, dass die deutlichsten Unterschiede bei den Auswirkungen der Gestaltungsvarianten bei der Windgeschwindigkeit und der mittleren Strahlungstemperatur (T_{mrt}) zu verzeichnen sind. Die mittlere Strahlungstemperatur steht dabei in engem Zusammenhang mit der Oberflächentemperatur (T_{sur}), weist aber aufgrund der zusätzlichen Strahlungseinflüsse insgesamt deutlich höhere Werte und stärkere Kontraste innerhalb der Platzfläche auf. Die potentielle Lufttemperatur (T_{pot}) und die relative Luftfeuchtigkeit variieren im Vergleich zu den anderen Werten nur geringfügig. Trotzdem lassen sich auch hier interessante Tendenzen erkennen. Beim PET - als Wert für das thermische Wohlbefinden - spielen die T_{pot} und die relative Luftfeuchtigkeit jedoch eine eher untergeordnete Rolle. Die Zusammenstellung der verschiedenen für den PET-Wert herangezogenen Werte bestätigt, dass dieser in erster Linie von der mittleren Strahlungstemperatur beeinflusst wird. Als nächster entscheidender Wert tritt die Windgeschwindigkeit in Erscheinung. Am Beispiel des Nordwestwindes bei der offenen Platzsituation werden diese Zusammenhänge besonders deutlich: Der PET sinkt immer mit sinkendem T_{mrt} -Wert. Bei der Raumbildung mit Mauern kommt die starke Reduzierung der Windgeschwindigkeit zum Tragen. Hier wird der PET-Wert angehoben, obwohl der T_{mrt} -Wert insgesamt unter dem bei einer Raumbildung durch Hecken liegt. Ein ähnlicher Effekt zeichnet sich bei der Raumbildung durch Hecken in Kombination mit einem Vegetationsdach ab. Obwohl der T_{mrt} -Wert hier unter dem Wert für den Fall eines Baumdachs liegt, fällt die Absenkung des PET etwas geringer aus. Auch hier lässt sich ein Zusammenhang mit einer geringeren Windgeschwindigkeit erkennen (s. Tab. 6.38) (s. Abb. 6.48).

Ko_NW15	windspeed	T_{mrt}	T_{pot}	relHum	PET
Nullvariante	0,54 m/s	71,18 °C	30,96 °C	81,02 %	56,31 °C
RhMx	- 0,31	- 4,94	- 0,18	+ 0,28	+ 3,17
RhVd	- 0,02	- 3,84	+ 0,03	+ 0,59	- 0,71
B	0,05	- 26,21	+ 0,13	+ 2,39	- 16,07
RhVdB	- 0,04	- 29,12	+ 0,16	+ 2,77	- 17,37
RhVdD	- 0,12	- 26,60	- 0,01	+ 1,97	- 15,42

Tab. 6.38 : Zusammenstellung der für den PET-Wert relevanten Daten am Beispiel Ko_NW15

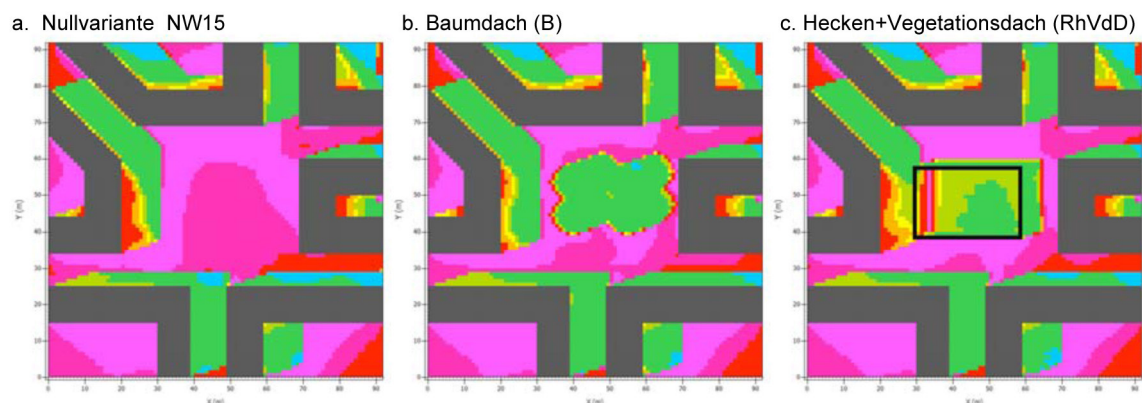


Abb. 6.48 : Gegenüberstellung der maps zu den Auswirkungen einer vegetativen Raumbildung auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei Nordwestwind

Bei zunehmender Stärke der allgemeinen Windbedingungen scheint eine Abbremsung der Windgeschwindigkeit größeren Einfluss auf den PET-Wert zu nehmen. Am Beispiel des starken Westwindes bei der offenen Platzsituation wird die Windgeschwindigkeit innerhalb der Raumbildung durch Mauern um beinahe 0,8 m/s reduziert, der PET-Wert erhöht sich dabei um ca. 10°C. Eine Raumbildung durch Hecken hat kaum Einfluss auf die Windgeschwindigkeit, der PET-Wert wird hier um 1°C abgesenkt. Obwohl die mittlere Strahlungstemperatur in beiden Fällen ähnliche Werte aufweist, wird aufgrund der unterschiedlichen Windbedingungen eine vergleichbare Differenz wie zwischen Hecken und einer hohen Verschattung durch Bäume erreicht (s. Tab. 6.39).

Ko_W15	windspeed	T_{mrt}	T_{pot}	relHum	PET
Nullvariante	1,14 m/s	71,96 °C	38,03 °C	59,50 %	58,17 °C
RhMx	- 0,79	- 3,66	+ 1,75	+ 2,75	+ 9,79
RhVd	+ 0,01	- 3,75	- 0,16	+ 0,11	- 0,94
B	+ 0,12	- 25,01	+ 0,03	+ 1,09	- 10,98

Tab. 6.39 : Zusammenstellung der für den PET-Wert relevanten Daten am Beispiel Ko_W15

Beim Schwachwind ist die zusätzliche Abschwächung durch die verschiedenen Gestaltungsvarianten äußerst gering. Jedoch haben bereits minimale Unterschiede der Windgeschwindigkeit Einfluss auf den PET. Ausschlaggebend ist beim Schwachwind aber eindeutig die T_{mrt} , was in den vergleichsweise hohen Differenzen des PET bei einem horizontalen Abschluss deutlich wird (s. Tab. 6.40) (s. Abb. 6.49).

Der Gesamttabelle zum schwachen Südwind für die geschlossene Platzsituation ist auch der Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf die verschiedenen mikroklimatischen Werte zu entnehmen. Bei identischen Oberflächeneigenschaften (Betonplatten) treten aufgrund der geringen Versickerungsfähigkeit große Unterschiede sowohl in der mittleren Strahlungstemperatur (ca. 10°C) und der potentiellen Lufttemperatur (ca. 2,5 °C) als auch in der relativen Luftfeuchtigkeit (ca. 10%) auf. Dies hat deutliche Auswirkungen auf den PET, dessen Wert bei einer unversiegelten Oberfläche fast 8°C unter dem einer versiegelten Oberfläche liegt (s. Tab. 6.40).

Aus der Tabelle lässt sich lesen, dass bei einer Raumbildung durch Hecken in Kombination mit einem Baum- oder flachen Vegetationsdach und bei gleichzeitiger Entsiegelung der Platzoberfläche eine Reduzierung des PET-Wertes von ca. 30°C erreicht werden kann. Das bedeutet eine Veränderung von einer 'extremen Wärmebelastung' (> 41 °C = 'sehr heiß') zu einer 'schwachen Wärmebelastung' (< 29°C = 'warm') (s. Tab. 3.4, S. 59).

Kg_S03	windspeed	T_{mrt}	T_{pot}	relHum	PET
unversiegelt	- 0,01	- 10,32	- 2,65	+ 9,95	- 7,70
Nullvariante	0,24 m/s	79,77 °C	27,75 °C	63,55 %	60,57 °C
RhM	- 0,15	- 4,00	- 0,32	+ 0,83	+ 3,49
RhVd	- 0,02	- 4,93	- 0,16	+ 0,68	- 2,91
B	- 0,03	- 32,89	- 0,26	+ 1,95	- 21,26
RhVdB	- 0,05	- 37,21	- 0,36	+ 2,57	- 24,10
RhVdD	- 0,04	- 35,96	- 0,52	+ 2,11	- 24,04

Tab. 6.40 : Zusammenstellung der für den PET-Wert relevanten Daten am Beispiel Kg_S03

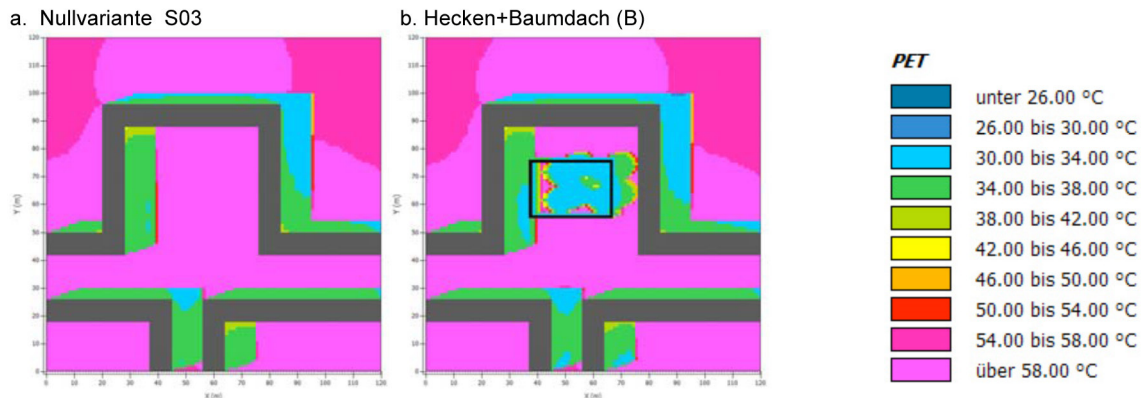


Abb. 6.49 : Gegenüberstellung der maps zu den Auswirkungen einer vegetativen Raumbildung auf den PET-Wert für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind

Die Kontrolluntersuchungen zu den unterschiedlichen Blattdichten bei Hecken haben keine signifikanten Unterschiede gezeigt. Es lassen sich Tendenzen wie ansteigende Windgeschwindigkeits- und T_{mrt} -Werte sowie sinkende relative Luftfeuchtigkeit bei abnehmender Dichte der Hecken erkennen. Die Differenzen fallen jedoch äußerst gering aus und haben kaum Auswirkung auf den PET-Wert (s. Tab. 6.41) (s. Tab. 6.42).

Ko_S03	wind m/s	T_{mrt} °C	T_{pot} °C	relHum %	PET °C
RhVd (dicht)	0,11	65,27	24,48	57,88	51,43
RhVI	0,11	66,20	24,48	57,76	51,88
RhVII (licht)	0,11	66,72	24,48	57,71	52,16

Tab. 6.41 : Auswirkung der Blattdichte auf das Mikroklima bei schwachem Wind am Beispiel Ko_S03

Ko_NW15	wind m/s	T_{mrt} °C	T_{pot} °C	relHum %	PET °C
RhVd (dicht)	0,52	67,34	30,99	81,61	55,60
RhVI	0,57	68,21	30,97	81,47	55,62
RhVII (licht)	0,59	68,67	30,97	81,40	55,61

Tab. 6.42 : Auswirkung der Blattdichte auf das Mikroklima bei stärkerem Wind am Beispiel Ko_NW15

Das Hauptaugenmerk richtet sich daher im Folgenden auf die Auswirkung der verschiedenen Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit und auf die mittlere Strahlungstemperatur. Die Schlussfolgerungen beziehen sich, auf Basis der Auswirkungen der Gestaltungsvarianten, auf das thermische Wohlbefinden, also auf den PET-Wert.

6.7.1. Windgeschwindigkeit

Grundsätzlich wird der Wind am stärksten durch Mauern abgebremst. Innerhalb der Raumbildung kann dies bis zu einer annähernden Windruhe führen. Unter Berücksichtigung des PET wird deutlich, dass sich eine solch starke Verminderung der Windgeschwindigkeit an warmen Sommertagen negativ auf das thermische Empfinden auswirkt, d.h. dass bereits hohe PET-Werte noch weiter angehoben werden. Zusätzlich ist zu beobachten, dass es bei Mauern außerhalb der Raumbildung seitlich zu erhöhten Windgeschwindigkeiten kommt, der Wind also abgelenkt und zwischen Fassade und Mauer kanalisiert wird. Deutlich wird dies z.B. beim stärkeren Südwind für die geschlossene (*Kg_S15*) und beim Nordwestwind für die offene Platzsituation (*Ko_NW15*). Hierbei kann es auch zu als unangenehm wahrgenommenen hohen Windgeschwindigkeiten auf der Platzfläche kommen. Bei den *maps* zu der Raumbildung durch Hecken wird deutlich, dass diese Starkwind abbremsen, Schwachwinde jedoch hindurch lassen und somit grundsätzlich eine Windbewegung innerhalb der Raumbildung ermöglichen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der seitliche Windkanalisierungseffekt dadurch deutlich verringert wird und somit unangenehm hohe Windgeschwindigkeiten in diesem Bereich vermieden werden können. Hecken sind Mauern daher grundsätzlich vorzuziehen. Dies betrifft insbesondere

Platzsituationen, die durch starke Durchzugswinde aufgrund von städtebaulichen Kanalisierungseffekten geprägt sind.

Bäume wirken sich unter verschiedenen Wind- und Standortbedingungen unterschiedlich auf die Windgeschwindigkeit aus. Einerseits können sie eine ausgleichende Wirkung auf die gesamte Platzfläche haben, andererseits können sie aber auch zu starken Verwirbelungen auf der Platzfläche führen und dadurch lokal zu einer Anhebung der Windgeschwindigkeit. Besonders stark tritt dieser Effekt bei geschlossenen Platzsituationen und direkt auftreffendem und zurück stauendem Wind auf (Kg_S15), aber auch bei offener Platzsituation im Fall von bestehenden Windkanälen (Ko_S15 und Ko_W15). Gerade bei letzteren kann eine Verstärkung der bereits hohen Windgeschwindigkeiten als unangenehm empfunden werden. Grundsätzlich sind Bäume jedoch als eine sinnvolle Gestaltungsmaßnahme anzusehen, da sie den Wind allgemein auf unterschiedlichen Höhen 'filtern' und somit entkräften (ausgleichender Effekt). Sie wirken sich damit auch auf den angrenzenden Stadtraum positiv aus. Die bei bestimmten Windbedingungen lokal auftretenden Verwirbelungen auf der Platzfläche können durch eine Kombination mit Hecken weitgehend aufgefangen bzw. ausgeglichen werden.

Ein Vegetationsdach verursacht aufgrund der flächigen Ausformung deutlich weniger Verwirbelungen auf der Platzfläche. Vermutlich wird allerdings die Auswirkung eines Vegetationsdaches auf den angrenzenden Stadtraum weniger positiv als die Auswirkung von Bäumen ausfallen.

6.7.2. Oberflächentemperatur und mittlere Strahlungstemperatur

Die mittlere Strahlungstemperatur wird stark von der Oberflächentemperatur beeinflusst. Dabei ist einerseits zu bedenken, dass bei der T_{mrt} weitere Strahlungseinflüsse hinzukommen und somit die Werte insgesamt sehr viel höher liegen. Andererseits werden die T_{sur} -Werte direkt an der Oberfläche gemessen, während die T_{mrt} in einer bestimmten Höhe – im Fall der vorliegenden Arbeit auf 1,50 m – gemessen wird, wobei der Grad an Luftaustausch grundsätzlich mit der Höhe zunimmt. Dadurch ergeben sich bei der T_{mrt} stärkere Kontraste bzw. eine höhere Ausgeglichenheit innerhalb der heißen oder kühleren Bereiche.

Die Kontrolluntersuchungen zur Oberflächenbeschaffenheit haben ergeben, dass ein wesentlicher Unterschied zwischen versiegelter und unversiegelter Bodenoberfläche besteht. Dabei liegen sowohl Oberflächentemperatur als auch mittlere Strahlungstemperatur einer unversiegelten deutlich unter denen einer versiegelten Oberfläche. Es wird im Folgenden daher nicht über die absoluten Unterschiede zwischen der offenen und geschlossenen Platzsituation diskutiert, sondern es werden Beobachtungen aus den jeweils identischen Simulationsbedingungen in Relation zueinander gesetzt und grundsätzlich ähnliche Muster aufgezeigt.

Den größten Einfluss auf die Oberflächentemperatur hat die Verschattung. Dabei ist sowohl das Ausmaß der Beschattung als auch der Grad der Beschattungstiefe ausschlaggebend. Unterschiedliche Gestaltungsvarianten wirken sich in erster Linie durch die Addition der verschatteten Oberflächen aus. D.h. dass Bäume in ihrer Vielschichtigkeit einen

größeren Einfluss auf die T_{sur} und die T_{mrt} haben als das flache Vegetationsdach, und dass Mauern einen größeren Einfluss haben als Hecken. Hier wird der entscheidende Unterschied zur mittleren Strahlungstemperatur deutlich. Mauern geben mehr Strahlung ab als Hecken, und somit liegt der T_{mrt} -Wert im angrenzenden Bereich von Mauern im direkten Vergleich deutlich höher. Die Mittelwerte verdeutlichen, dass sich Mauern trotzdem insgesamt – aufgrund der Oberflächenbeschattung - reduzierend auf die mittlere Strahlungstemperatur auswirken. Für die T_{mrt} ist also grundsätzlich - wie bei der Oberflächentemperatur - gültig, dass Ausmaß und Grad an Verschattung ausschlaggebend sind, zusätzlich spielt hier jedoch auch das Material (mit seinen spezifischen thermischen Eigenschaften) aller im Raum verwendeten Oberflächen eine entscheidende Rolle.

In Bezug auf die unterschiedlichen Windbedingungen sind die beiden Temperaturwerte etwas differenzierter zu betrachten. Die *maps* und vor allem die Mittelwerte lassen erkennen, dass die Oberflächentemperatur nicht im direkten Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit steht. Sie steht aber sehr wohl im Zusammenhang mit der Windbewegung, also mit der Richtung der Windbewegung und dem Grad an Verwirbelung. Bei der geschlossenen Platzsituation wird deutlich, dass eine (auf)stauende Luftbewegung zu höheren Oberflächentemperaturen führt. Obwohl gerade beim stärkeren Südwind hier höhere Windgeschwindigkeiten als beim Nordwestwind erreicht werden, liegen die T_{sur} -Werte beim Nordwestwind im Bereich der Verwirbelung unter denen des Südwindes. Im Fall des Nordwestwindes wird im Bereich der Verwirbelung eine freiere Windbewegung durch den im Osten angrenzenden Straßenraum ermöglicht. Die ebenfalls stauende Luftbewegung des Windschlauchs beim Westwind zeigt wieder ähnliche Auswirkungen auf die T_{sur} wie die Südwinde. Die Wärme wird offensichtlich auf der Platzfläche gehalten; sie kann nicht fortgeführt werden.

Bei der offenen Platzsituation gilt grundsätzlich, dass sich die T_{sur} bei zunehmendem Wind verringert. Die Windbewegung ist durch die offene städtebauliche Struktur freier und wird somit weniger gestaut. Bei den Gestaltungsvarianten liegen T_{sur} -Werte im windberuhigten Bereich innerhalb von Mauern höher als innerhalb der winddurchlässigen Hecken. Die umgekehrte Beobachtung - z.B. beim schwachen Südwind - scheint eher ein Phänomen bei Schwachwind zu sein. Diesem Effekt kann durch eine verstärkte Beschattung entgegengewirkt werden.

Für die mittlere Strahlungstemperatur gilt grundsätzlich, dass der Wert mit zunehmendem Wind abgesenkt wird. Das ist einerseits an den niedrigeren Werten der offenen Platzsituation und andererseits an den Unterschieden der T_{mrt} durch direkten und indirekten Wind - sowohl auf der besonnten Platzfläche als auch in den verschatteten Bereichen - erkennbar. Bei einer Entwicklung von starken Windkanälen liegen die T_{mrt} -Werte jedoch besonders hoch. Auffällig sind hier vor allem die beim stärkeren Südwind in den *maps* ersichtlichen hohen T_{mrt} -Werte im Platzbereich vor den Fassaden.

An dieser Stelle scheint es sinnvoll, auf die Diskussion vorzugreifen: Zu den *maps* ist grundsätzlich anzumerken, dass es häufig zu 'irritierenden' Darstellungen kommt, die durch die berechneten Mittelwerte zum Teil relativiert bzw. widerlegt werden können. Dabei ist zu bedenken, dass sich die *maps* in Form von Bandbreiten ausdrücken, dass also die Einstellung der jeweiligen Skala die Genauigkeit der Darstellung stark beeinflusst. Durch die besonders starken Kontraste gerade innerhalb der T_{mrt} -Werte wurde die Skalen-

abstufung mit 5°C hier auf eine relativ große Bandbreite festgelegt. Das kann dazu führen, dass im Übergangsbereich von zwei Abstufungen geringe Abweichungen als deutliche Unterschiede dargestellt werden, während gleichwertige Unterschiede in anderen *maps* weniger ersichtlich sind.

6.7.3. Potentielle Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Sowohl die potentielle Lufttemperatur als auch die relative Luftfeuchtigkeit werden stark von der allgemeinen Luftdurchmischung beeinflusst. Lokale Unterschiede fallen daher grundsätzlich äußerst gering aus und werden nur in isolierten Bereichen mit annähernder Windruhe und bei einer sehr geringen Skalenabstufung ersichtlich. An dieser Stelle sollen gewisse Tendenzen aufgezeigt werden. Ihr Einfluss auf das thermische Wohlbefinden ist jedoch eher als gering zu erachten.

Bei der Berechnung der potentiellen Lufttemperatur wird die Notwendigkeit von Windruhe für lokale Unterschiede besonders deutlich. Die winddurchlässigen Hecken zeigen kaum Auswirkung auf die T_{pot} , aber innerhalb der durch Mauern windberuhigten Raumbildung ist eine leichte Absenkung der T_{pot} erkennbar. Unter Bäumen ist bei wenig Windbewegung eine leichte Reduzierung, bei zunehmender Windbewegung dagegen sogar eine leichte Erhöhung der T_{pot} zu erkennen. Beim Vegetationsdach ist dieser Effekt nicht zu beobachten, wodurch die geringsten T_{pot} -Werte tendenziell durch eine Kombination von Mauern mit einem Vegetationsdach erreicht werden.

Die relative Luftfeuchtigkeit verhält sich grundsätzlich spiegelbildlich zur potentiellen Lufttemperatur. Bei den Gestaltungsvarianten ist darüber hinaus ein deutlicher Zusammenhang mit der Verwendung von Vegetation zu erkennen. Eine Raumbildung mit Hecken erhöht die relative Luftfeuchtigkeit. Dieser Effekt wird durch eine Kombination mit Bäumen oder einem Vegetationsdach verstärkt. Mit zunehmendem Wind wirkt sich die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit auf die in Windrichtung angrenzenden Platzbereiche aus bzw. wird der Bereich der Maximalwerte in diese Richtung verschoben. Beim Schwachwind wird die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der Raumbildung durch Mauern stärker angehoben, was im Hinblick auf die geringe Windbewegung unter Umständen als Schwüle empfunden wird und somit das Wohlbefinden unangenehm beeinträchtigen kann.

6.8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Fokus der Simulationen liegt auf dem Aspekt des thermischen Wohlbefindens. Untersucht wurde ein heißer Sommertag, das Hauptaugenmerk lag demnach auf einer Absenkung des PET-Wertes. Es lassen sich aus den *maps* für den PET-Wert vor allem Zusammenhänge mit der Oberflächentemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur ablesen. Ebenso ist in den *maps* zum PET die Verteilung der Windgeschwindigkeiten erkennbar. Dabei wird deutlich, dass Windgeschwindigkeiten nicht aufgehoben, sondern lediglich umgelenkt bzw. kanalisiert oder im Raum verteilt und somit, auf die gesamte Platzfläche gesehen, ausgeglichen werden. Es könnte daher durch gestalterische Interventionen auch zu unangenehmen lokalen Verwirbelungen kommen.

Die **wichtigsten Kriterien für das thermische Wohlbefinden** sind:

1. Die **Reduzierung der mittleren Strahlungstemperatur**

a. durch eine möglichst **hohe Verschattung** der Freiraumoberfläche

In Bezug auf eine Beschattung wird die größte Reduzierung der mittleren Strahlungstemperatur durch eine Überdachung erreicht, wobei Bäume sich als etwas effektiver herausstellen als ein alternatives Vegetationsdach. Bei aufstauendem Wind kann durch Bäume jedoch die potentielle Lufttemperatur angehoben werden. Dieser Effekt tritt bei einem Vegetationsdach nicht auf. Besonders wichtig ist eine Beschattung bei geringer Luftbewegung (Schwachwind).

b. durch Verwendung von **Oberflächenmaterialien mit geringer Wärmespeicherung und -abstrahlung**

In Bezug auf die Eigenschaften der Oberflächen verdeutlichen die Ergebnisse, dass sich eine Versiegelung der Bodenoberfläche äußerst negativ auf die Temperaturwerte auswirkt, und dass durch Mauern eine deutlich höhere mittlere Strahlungstemperatur als durch Hecken bewirkt wird. Das bestätigt den Vorteil von versickerungsfähigen Oberflächen und von Vegetation, die einer Überhitzung ihrer Oberflächen durch natürliche Prozesse entgegenwirkt.

2. Die **Einflussnahme auf die Windbedingungen** im Hinblick auf

a. eine **ausreichende Ventilation** bei

b. gleichzeitiger **Vermeidung von unangenehmen Böen und Kanalisierungseffekten**

Bei der Zielsetzung, den Starkwind abzubremsen, dabei jedoch noch ausreichend Luftbewegung zuzulassen, zeigen sich deutlich die Vorteile von Hecken gegenüber Mauern. Bäume unterstützen grundsätzlich eine Beruhigung bzw. bewirken den Ausgleich von Windgeschwindigkeiten auf einer Platzfläche. Unter bestimmten Bedingungen können sie jedoch auch unangenehme Verwir-

belungen erzeugen. Dieser Effekt tritt beim Vegetationsdach nicht auf, dafür fällt hier die Wind ausgleichende Wirkung geringer aus. Bei den Ergebnissen zu den Windsimulationen wird zudem deutlich, dass sich die Gestaltungsvarianten nicht nur lokal auswirken, sondern im Zusammenhang mit der gesamten Platzfläche zu betrachten sind. Es ist also immer mit zu bedenken, welche weitreichenden Auswirkungen die jeweiligen Gestaltungsvarianten haben können.

Unter den untersuchten Aspekten stellen sich die Gestaltungsvarianten einer Raumbildung durch Hecken in Kombination mit einem Baumdach oder einem Vegetationsdach für die Senkung des PET-Wertes als am effektivsten und daher als am sinnvollsten heraus.

Hier wird, neben einem hohen Ausmaß an Verschattung, ein Ausgleich von Windverwirbelungen bei gleichzeitigem Zulassen von ausreichender Ventilation erreicht. Bei einem Vegetationsdach ist die Gefahr von lokalen Verwirbelungen geringer, dafür liegen die Werte für die mittlere Strahlungstemperatur hier etwas höher als bei einem Baumdach. Bäume haben den Vorteil, dass sie - aufgrund ihrer Höhe und ihrer Ausformung - eine weiterreichende Auswirkung auf den angrenzenden Stadtraum haben.

7. Mikroklimatische Betrachtung zeitgenössischer urbaner Landschaftsarchitektur

7.1 Einführung

Eine zentrale Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit ist die nach der Relevanz der angewandten Methoden und der Ergebnisse aus den verschiedenen Untersuchungen für konkrete Planungsprozesse, also die Frage, wie die Ergebnisse aus den klimatologischen Grundlagen, der Untersuchung zu den maurischen Gärten und aus den Simulationen ergänzt werden können, so dass sie eine effektive Hilfestellung für Planungsentscheidungen anbieten können.

Es geht hier um das Aufzeigen einer möglichen Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in eine zeitgenössische und an den mitteleuropäischen urbanen Raum angepasste Gestaltungssprache und nicht um die Implementierung einzelner Gestaltungselemente. Im Fokus stehen dabei die Gestaltungsprinzipien maurischer Gärten: Welche Beispiele zeitgenössischer Landschaftsarchitektur zeigen gestalterische Parallelen oder sogar Analogien zu den dort geltenden Grundaspekten?

Aus den Ergebnissen der vorausgegangenen Untersuchungen wurden die wesentlichen Kriterien verdichtet und daraus das Muster für ein Datenblatt entwickelt. Dieses Datenblatt soll in der Folge als Erhebungsbogen herangezogen und dazu benutzt werden können, zeitgenössische Projekte im Hinblick auf ihre mikroklimatischen Aspekte zu analysieren und zu dokumentieren. Ziel war es, eine Methode zu finden, die diesbezüglich eine schnelle, wenig umständliche und dabei möglichst effektive Einschätzung von Gestaltungsbeispielen auf der Wissensbasis der vorliegenden Ergebnisse erlaubt. Das hier entwickelte Datenblatt ist als eine erste Annäherung zu betrachten; zu einem späteren Zeitpunkt kann darauf aufgebaut werden, z.B. in Form eines umfassenderen digitalen Beispielkatalogs als Ideensammlung und konkrete Planungshilfe.

Die Anwendbarkeit dieser Methode für konkrete Planungsprozesse soll anhand exemplarischer Datenblätter für ausgewählte Projekte verdeutlicht werden.

Dabei wurden Beispiele gesucht, die nicht nur in ihrer Gestaltungssprache, sondern auch bezogen auf ihre technischen Aspekte sowie ihre Umsetzungsmethoden bei jeweils unterschiedlichen Rahmenbedingungen innovative Lösungsansätze und Anregungen bieten könnten. Der Fokus liegt auf zwei mitteleuropäischen Gestaltungsbeispielen, die auf unterschiedliche Weise mit einer (Frei-)Raumbildung arbeiten: der MFO-Park in Zürich durch das 'Hochziehen' von Vegetationswänden und der 'Gartenhof' der Fondation Louis-Jeantet in Genf durch eine 'Absenkung' des Freiraums. Diese beiden Beispiele sollen einzeln auf ihre mikroklimatischen Effekte hin betrachtet und in der Zusammenfassung gegebenenfalls als Inspiration für zukünftige Ansätze diskutiert werden. Als Quellen dienen die Informationen der Planungsbüros, Veröffentlichungen zu zeitgenössischer Landschaftsarchitektur sowie eigene Beobachtungen vor Ort.

7.2 Entwurf Datenblatt

7.2.1. Kriterien

Das Datenblatt soll dazu dienen, das mikroklimatische Potential von zeitgenössischen Gestaltungsbeispielen aufzuzeigen und somit Anregungen für neue Projekte anzubieten. Die Kriterien konzentrieren sich daher auf die Ergebnisse aus den vorangegangenen Untersuchungen, also auf die Gestaltungsprinzipien maurischer Gärten und auf den mikroklimatischen Effekt der jeweiligen Gestaltungselemente – und hier insbesondere auf die für das thermische Wohlbefinden wichtigsten Faktoren:

- Raumbildung
- (Strukturelle) Verwendung von mikroklimatisch wirksamen Materialien wie Vegetation und Wasser
- Reduktion der Oberflächentemperatur (T_{sur}) und der mittleren Strahlungstemperatur (T_{mrt}) durch Beschattung und Oberflächeneigenschaften
- Windschutz bei ausreichender Ventilation
- Versickerungs- und Verdunstungsfähigkeit der Bodenoberfläche

7.2.2. Kategorien

Die für das Datenblatt relevanten Informationen wurden in den folgenden Kategorien zusammengefasst. Die mikroklimatischen Kriterien wurden dabei berücksichtigt und in die jeweiligen Kategorien integriert.

7.2.2.1. Projektdaten

Unter dieser Kategorie sollen a) die wichtigsten allgemeinen Projektdaten zusammengefasst, b) der städtebauliche Kontext und c) ein gestalterischer Eindruck vermittelt werden.

Unter den allgemeinen Projektdaten werden dabei Ort, Auftraggeber/in, beteiligte Planungsbüros, Jahr der Fertigstellung, die Gesamtfläche und die ungefähren Baukosten angeführt.

Die städtebauliche Einordnung soll eine Einschätzung der Rahmenbedingungen ermöglichen, also ob es sich z.B. um eine innerstädtische dichte Blockstruktur, eine lockere Wohnbebauung am Stadtrand oder einen landschaftlich-gärtnerischen Kontext handelt.

Der optische Eindruck der jeweiligen Gestaltung soll über die Auswahl eines aussagekräftigen Fotos erfolgen. Weitere Abbildungen können bei Bedarf unter der letzten Kategorie angefügt werden.

7.2.2.2. Raumbildung

Unter diese Kategorie fallen einerseits a) unterschiedliche Methoden zur Raumbildung und andererseits b) Teilaspekte, die weitere Anregungen bieten.

Die Methoden zur Raumbildung orientieren sich an den aus der Untersuchung zu den maurischen Palastgärten gewonnenen Prinzipien, also Raumbildung durch Architektur, Raumbildung durch das 'Hochziehen' von Vegetation und Raumbildung durch Absenkung der Freiraumfläche (s. 5.5).

Unter Teilaspekten können z.B. zusätzliche Methoden zur Integration von vertikalen Vegetations- und Wasserelementen, Beispiele von flexiblen und/oder temporären Gestaltungsinterventionen hinsichtlich Beschattung oder Windschutz, sowie Ansätze zur Entsiegelung von Oberflächen und zur Speicherung bzw. gestalterischen Integration von anfallendem Oberflächenwasser angeführt werden (s. 4.3.2).

Das Datenblatt soll hier in Stichworten über Technik bzw. Struktur der Raumbildung, über ihre Dimensionen und ihren jeweiligen Charakter und über die Funktion des entsprechenden Freiraums informieren.

RAUMBILDUNG	
Raumbildung durch	
<input type="checkbox"/> Architektur	<input type="checkbox"/> Vegetation
<input type="checkbox"/> Absenkung	<input type="checkbox"/> Teilaspekt
Kurzbeschreibung	Charakter Dimension Funktion

Abb. 7.1 : Muster für die Kategorie 'Raumbildung'

7.2.2.3. Materialien

Die Kategorie der Materialien beschränkt sich a) auf die Bodenoberfläche, b) auf die Verwendung von Vegetation und c) auf die Integration von Wasseroberflächen. Weitere Materialien, die sich bei dem jeweiligen konkreten Gestaltungsbeispiel als für das Mikroklima relevant herausstellen (z.B. Fassaden), können in der folgenden Kategorie 'Mikroklima' unter 'weitere' angeführt werden (s. 3.4.2).

Hinsichtlich der Bodenoberfläche ist vor allem entscheidend, inwieweit eine Versickerungsfähigkeit und Wasserspeicherfähigkeit gegeben ist, also grundsätzlich, ob der Boden versiegelt oder unversiegelt ist (s. 6.7).

Bei der Vegetation werden die folgenden Kriterien unterschieden: strukturell eingesetzte Vegetation, flächige Bepflanzung und/oder Bäume (s. 5.4.2). Dazu werden jeweils die verwendeten Arten und ihre Einbringung angeführt, d.h. ob die Pflanzen in das Erdreich oder aber bodenunabhängig - z.B. in Pflanztrögen - eingebracht wurden.

Beim Wasser soll ebenfalls zwischen strukturell bzw. vertikal integrierten Wasserelementen und horizontalen Wasseroberflächen unterschieden werden, wobei hier zusätzlich zu beachten ist, ob die horizontalen Wasserflächen unbewegt oder bewegt sind (s. 5.4.3).

Das Datenblatt soll auch hier in Schlüsselbegriffen die im Beispiel eingesetzten Materialien und die Art und Weise ihrer Einbringung wiedergeben.

MATERIALIEN

Boden	Vegetation	Wasser
<input type="checkbox"/> versiegelt	<input type="checkbox"/> flächig	<input type="checkbox"/> flächig
<input type="checkbox"/> unversiegelt	<input type="checkbox"/> strukturell	<input type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt
	<input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh.	<input type="checkbox"/> strukturell
	<input type="checkbox"/> Bäume	
Kurzbeschreibung		

Abb. 7.2 : Muster für die Kategorie 'Materialien'

7.2.2.4. Mikroklima

Die Datenblätter konzentrieren sich vor allem auf den mikroklimatischen Einfluss des jeweiligen Gestaltungsbeispiels im Sinne der Aufenthaltsqualität - also des thermischen Wohlbefindens. Unter diese Kategorie fallen a) die Auswirkungen auf die Oberflächen-temperatur und mittlere Strahlungstemperatur (der Fokus liegt hier auf der Beschattung, der Aspekt der Oberflächenbeschaffenheit wird bereits durch die Kategorie 'Materialien' berücksichtigt) und b) die Einflussnahme auf den Wind (Windschutz bzw. Ventilation). Es soll zudem noch Platz für weitere - für das jeweilige Beispiel mikroklimatisch relevante - Aspekte bleiben.

Im Datenblatt werden diese Einflüsse gemäß den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen - insbesondere der Simulationen - eingeschätzt (s. 6.7). Dabei werden Ausmaß und Grad der Auswirkung angesprochen. Für die Beschattung bedeutet dies den Anteil an beschatteter Fläche und die Beschattungstiefe. In Bezug auf den Wind wird hervorgehoben, inwiefern unangenehmer Starkwind abgebremst, eine ausreichende Ventilation dagegen zugelassen werden kann (s. 6.8). Sowohl für die Beschattung als auch für den Wind ist die Betrachtung der jahreszeitlichen Aspekte sinnvoll, diese werden ebenfalls im Datenblatt in Stichworten angeführt.

Als weitere mikroklimatische Kriterien können in dieser Kategorie z.B. auch Angaben zu Oberflächenerwärmung und Feuchtigkeit oder aber zu Standortwahl und flexiblen Gestaltungselementen integriert werden.

MIKROKLIMA

Beschattung durch	Einflussnahme auf Wind	Weitere **
<input type="checkbox"/> Wände	<input type="checkbox"/> Windschutz	
<input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter	<input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter	
<input type="checkbox"/> Überdachung	<input type="checkbox"/> Ventilation	
<input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter		
Kurzbeschreibung		

Abb. 7.3 : Muster für die Kategorie 'Mikroklima'

7.2.2.5. Anmerkungen / Planunterlagen

Hier bietet das Datenblatt Raum für Anmerkungen, Anregungen, Assoziationen zu mikro-klimatischen Aspekten der Gestaltungsbeispiele bzw. Gedanken zu einer möglichen Steigerung der Effekte. Hier können auch Grundrisspläne, Schnitte, Ansichten, etc. aufgenommen werden.

7.2.3. Muster Datenblatt

Das Muster für das Datenblatt wurde im Programm Adobe InDesign CS5 erstellt und ist im elektronischen Anhang (DVD) als Dokument zu finden.

	TITEL			
PROJEKTDATEN				
Ort städtebaulicher Kontext Auftraggeber/innen Planer/innen Fertigstellung Gesamtfläche Baukosten in Euro ca.				
<small>Foto:</small>				
RAUMBILDUNG				
Raumbildung durch <input type="checkbox"/> Architektur <input type="checkbox"/> Vegetation <input type="checkbox"/> Absenkung <input type="checkbox"/> Teilaspekt *				
Kurzbeschreibung <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> Charakter Dimension Funktion </div>				
<small>* z.B. vertikale Vegetations- oder Wasserelemente</small>				
MATERIALIEN				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Boden <input type="checkbox"/> versiegelt <input type="checkbox"/> unversiegelt Kurzbeschreibung </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Vegetation <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> strukturell <input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh. <input type="checkbox"/> Bäume </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Wasser <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt <input type="checkbox"/> strukturell </td> </tr> </table>		Boden <input type="checkbox"/> versiegelt <input type="checkbox"/> unversiegelt Kurzbeschreibung	Vegetation <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> strukturell <input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh. <input type="checkbox"/> Bäume	Wasser <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt <input type="checkbox"/> strukturell
Boden <input type="checkbox"/> versiegelt <input type="checkbox"/> unversiegelt Kurzbeschreibung	Vegetation <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> strukturell <input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh. <input type="checkbox"/> Bäume	Wasser <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt <input type="checkbox"/> strukturell		
MIKROKLIMA				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Beschattung durch <input type="checkbox"/> Wände <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Überdachung <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter Kurzbeschreibung </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Einflussnahme auf Wind <input type="checkbox"/> Windschutz <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Ventilation </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Weitere ** </td> </tr> </table>		Beschattung durch <input type="checkbox"/> Wände <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Überdachung <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter Kurzbeschreibung	Einflussnahme auf Wind <input type="checkbox"/> Windschutz <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Ventilation	Weitere **
Beschattung durch <input type="checkbox"/> Wände <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Überdachung <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter Kurzbeschreibung	Einflussnahme auf Wind <input type="checkbox"/> Windschutz <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Ventilation	Weitere **		
<small>** z.B. bes. thermische Eigenschaften / Feuchtigkeit</small>				
ANMERKUNGEN	PLANUNTERLAGEN			
<small>Pläne:</small>				

Abb. 7.4 : Muster für das Datenblatt

7.3 Gestaltungsbeispiele

7.3.1. Raumbildung durch Vegetation

7.3.1.1. Der MFO-Park in Zürich

Das erste hier untersuchte Gestaltungsbeispiel ist mit einer gebäudeunabhängigen Raumbildung durch Vegetation befasst. Diese Methode der Raumbildung ist als Analogie zu den maurischen *bailarinas* (s. Abb. 5.9, S. 105) zu verstehen und wird in den Simulationen durch die unterschiedlichen (stark vereinfachten) Gestaltungsvarianten zur Raumbildung mit Hecken abgedeckt (s. Abb. 6.9, S. 124).

Der im Planungsgebiet Zürich Nord (Oerlikon) gelegene MFO-Park wurde von der Planungsgemeinschaft Burckhardt + Partner und Raderschall Architekten im Auftrag der Stadt Zürich entworfen und im Jahr 2002 fertig gestellt (s. Abb. 7.5). Das Quartier ist von großen Industriegebäuden geprägt, deren überwiegender Teil ganze Baublöcke einnimmt. Die neue Stadtentwicklung sieht eine gemischte Nutzung aus Wohnen, Arbeiten und Freizeit vor. Die Planer reagierten mit dem Entwurf des MFO-Parks „*massstäblich* (sic!) *und inhaltlich auf die angrenzende Bebauung und deren Nutzungsstrukturen*“ (Zitat Raderschall).

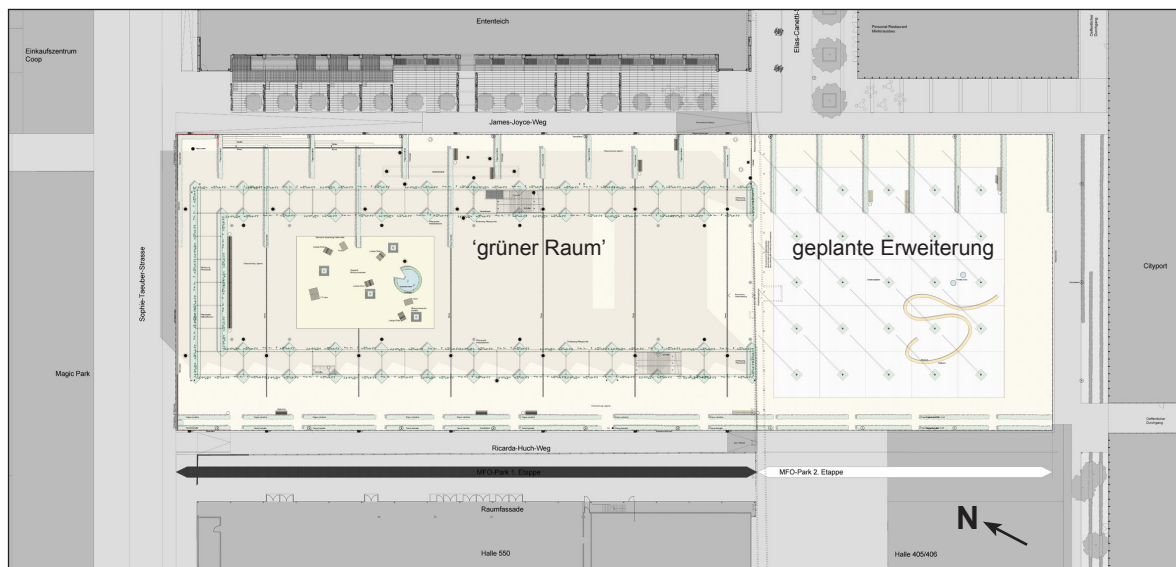


Abb. 7.5 : Grundrissplan vom MFO-Park (Burckhardt + Partner)

Der MFO-Park nimmt die Fläche der ehemaligen ›Maschinen Fabrik Oerlikon‹ ein, die dem Park seinen Namen gab. Ein wichtiger Aspekt war die Schaffung eines Freiraumes, der sowohl für individuelle Betätigungen als auch für gemeinschaftliche Ereignisse nutzungs offen bleibt und dabei auch unterschiedliche Räume mit eigenen Stimmungen ausbildet. Das Konzept des Entwurfs nimmt die ursprüngliche Volumetrie der Industriehalle auf, setzt diese jedoch nicht als gebauten, sondern als 'grünen Raum' um (s. Abb. 7.6). Das Ziel war die Schaffung einer „*transluzenten Halle*“ mit „*zeitgemäsem* (sic!)

(garten-)architektonischem Ausdruck“, also die Entwicklung einer Art 'Park-Haus'. Sinnliche Aspekte wie das Spiel von Licht und Schatten, die Geräusche des Regens im Blätterdach, jahreszeitliche Farbverschiebungen und Aromen werden von den Planungsbüros in ihrem Konzept hervorgehoben: „Es entsteht ein hochpräziser Körper, gebildet von filigranem Blattwerk, erfüllt von grünem Lichtspiel und flüchtigen Düften, frei von Zweck und allen Sinnen offenstehend“ (Zitat Raderschall).

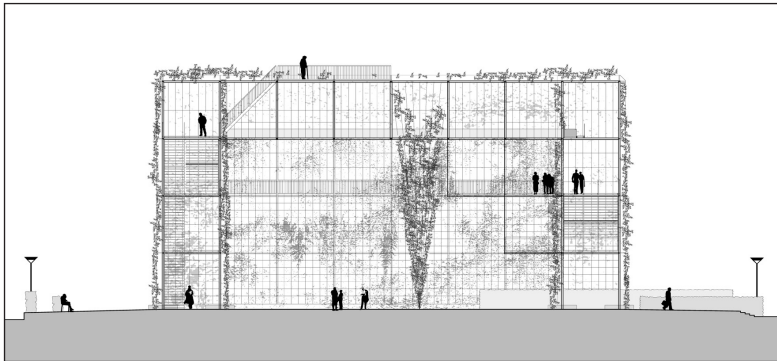


Abb. 7.6 : Schnitt durch den MFO-Park (Burckhardt + Partner)

Den Rahmen des Parks bildet eine doppelwandig orthogonale Stahl-Konstruktion mit vorgelagerten Rankhilfen aus gekreuzten Edelstahl-Drahtseilen. Die Gesamtstruktur nimmt einen Raum von 100 m x 34 m x 17 m ein und ist rundum durch Kletterpflanzen begrünt. Die Auswahl der Kletterpflanzen orientierte sich einerseits an schnellwüchsigen, kräftigen Arten, die für architektonische Raumbildung sorgen (z.B. *Wisteria*, *Vitis* und *Parthenocissus*) und andererseits an Arten, die durch ihren speziellen Duft, ihre Formen und Farben eine besondere Atmosphäre ermöglichen (z.B. *Lonicera japonica*, *Actinidia*, *Clematis*, *Aristolochia*). Die insgesamt 1200 Pflanzen wurden mehrstufig eingebracht. Ein großer Teil ist in den Erdboden gepflanzt, zusätzlich wurden in den oberen Ebenen bewässerte Pflanztröge in die Stahlkonstruktion integriert.

Innerhalb des so gebildeten (Frei-)Raums wurden vier Drahtkelche installiert, die ebenfalls durch Bewuchs mit Kletterpflanzen eine hainartige Situation innerhalb des grünen Raumes verstärken sollen. Das Stahlgerüst ist begehbar und bietet auf verschiedenen Ebenen Aufenthaltsbereiche in Form von heraus ragenden Balkonen (s. Abb. 7.7). Die Bewässerung der Vegetation erfolgt größtenteils durch eine Entwässerung der Platzfläche in Richtung der Beete. Die Speicherung des überflüssigen Oberflächenwassers in einem unterirdischen Kanal sorgt für eine ausreichende Bewässerung auch während der Trockenperioden.



Abb. 7.7 : Innenansicht vom MFO-Park (Freisager)

Die wassergebundene Oberfläche ist überwiegend freigehalten. Es befindet sich lediglich ein kleines Wasserbecken innerhalb eines leicht abgesenkten und mit grünem Glassplitt belegten Bereichs.

An der östlichen und westlichen Seite sind die Eingänge zum 'grünen Raum' sehr offen gehalten. Hier sind versetzte Hecken (*Fagus silvatica* und *Taxus baccata*) als Übergang zu den angrenzenden Freiraumflächen vorgelagert (s. Abb. 7.8). Nach Norden wird der Park durch eine doppelte Grünwand zur Straße hin abgeschlossen (s. Abb. 7.9). Der Park soll nach dem geplanten Abriss des südlich angrenzenden Gebäudes in einer späteren Bauphase fortgeführt werden. Daher fehlt hier (noch) der gestalterische Abschluss.



Abb. 7.8 : Ansicht vom MFO-Park (Burckhardt + Partner)



Abb. 7.9 : Doppelwand beim nördlichen Abschluss (2010)

7.3.1.2. Mikroklimatische Betrachtung

Beim Entwurf des MFO-Parks haben nach Angabe der Planungsbüros mikroklimatische Aspekte keine explizite Rolle gespielt. Es lassen sich dennoch interessante Parallelen zu den maurischen Gärten erkennen.

Der MFO-Park lässt in seiner belaubten Zeit an die *bailarinas* von Granada denken. Dabei ist natürlich zu beachten, dass es sich um ganz andere Rahmenbedingungen handelt. Während die *bailarinas* relativ kleine und intime gärtnerische Elemente darstellen, steht der MFO-Park in enger Beziehung zu seinem städtebaulichen Kontext und hat somit sehr viel größere Dimensionen. Gemeinsam ist beiden der landschaftsarchitektonische Ansatz zur Bildung eines 'grünen Raums' und somit die Integration der mikroklimatischen Effekte von Vegetation in der Vertikalen: Beschattung, Feuchtigkeit und Verdunstungskühle durch Evapotranspiration und das Zulassen von Ventilation.

Die Gestalt des MFO-Parks berücksichtigt dabei auch jahreszeitliche Aspekte: Während der Wintermonate gelangt die wärmende Sonnenstrahlung mehr oder weniger ungehindert in den umfassten Freiraum, im Laufe des Sommers schützt die Vegetation zunehmend vor der heißen Sonnenstrahlung. Die offen gehaltenen vegetativen Raumwände lassen Windbewegungen auch innerhalb des gebildeten Freiraums zu. Unangenehme bodennahe Windgeschwindigkeiten können seitlich durch die vorgesetzten (zum Teil immergrünen) Hecken abgebremst werden. Im Norden ist durch die Doppelwand von Kletterpflanzen trotz relativ geringer Blattdichte sogar im unbelaubten Zustand ein gewisser Windschutz gegeben. Das Wasserbecken erfüllt vorrangig ästhetische Aspekte wie z.B. die Spiegelung des Lichtes. Für einen spürbaren Einfluss auf das Mikroklima ist es zu klein und zu flach dimensioniert.

In Bezug auf einen solchen mikroklimatischen Effekt der Gestaltung lässt sich unter Berücksichtigung der Grundlagen (s. Kapitel 3) und der Untersuchungsergebnisse aus den Simulationen (s. Kapitel 6) festhalten, dass durch die flächige (vertikale) Begrünung der Gerüststruktur einer Oberflächenerwärmung weitgehend entgegengewirkt wird und dass vor allem während der warmen Jahreszeit eine großflächige Beschattung des Freiraums gewährleistet ist. Im Zusammenspiel mit der versickerungsfähigen Bodenoberfläche wird die mittlere Strahlungstemperatur sicher deutlich unter der einer offenen und gepflasterten Platzfläche liegen. Der Windschutz kann durch die lichte 'Hallenstruktur' und die großen Öffnungen nach Westen und Osten nur gering ausfallen. Die vorgelagerten Heckenstreifen in diesem Bereich bremsen unangenehme bodennahe Windbewegungen jedoch ab. Nach Norden ist der Park durch eine doppelte begrünte Gerüstwand abgeschlossen, die für eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit entsprechend effektiver wirkt. Gerade im Zwischenbereich dieser Vegetationswände wird im Sommer der Einfluss der Pflanzen auf das Mikroklima im Sinne von Beschattung, Feuchtigkeit und Verdunstungskühle deutlich spürbar sein. Das große Angebot an unterschiedlichen Aufenthaltsbereichen - sowohl in der Fläche als auch in der Höhe - bietet grundsätzlich die Möglichkeit zur bewussten individuellen Standortwahl auch im Hinblick auf den Grad an Besonnung oder Ventilation. Für die Aufenthaltsqualität und das (thermische) Wohlbefinden spielen im MFO Park sicherlich auch sinnliche Aspekte eine große Rolle, so z.B. folgende schon angesprochene Details: die Ruhe in einem grünen und rundum geschützten Freiraum, der Duft der Vegetation und das Lichtspiel und Rauschen der Blätter.

7.3.1.3. Datenblatt MFO-Park


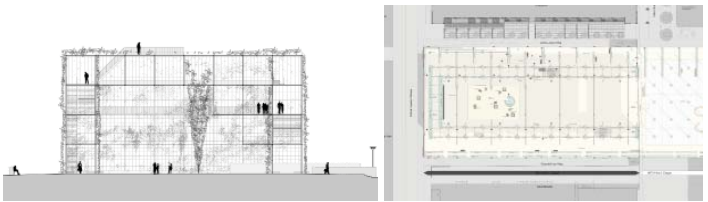
PROJEKTDATEN		MFO-PARK
Ort städtebaulicher Kontext Auftraggeber/innen Planer/innen Fertigstellung Gesamtfläche Baukosten in Euro ca.	Zürich, Neu-Oerlikon dichte Blockstruktur Grün Stadt Zürich Raderschall, Burckhardt+Partner 2002 (Phase 1) 6.300 m ² 5.000.000	
Foto: Freisager		
RAUMBILDUNG		
Raumbildung durch <input type="checkbox"/> Architektur <input checked="" type="checkbox"/> Vegetation <input type="checkbox"/> Absenkung <input type="checkbox"/> Teilaspekt *		
Kurzbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> • Volumetrie einer ehemaligen Industriehalle • doppelwandige orthogonale Stahlkonstruktion • vorgelagerte gekreuzte Drahtseile, begrünt 		
Charakter Dimension Funktion		'Park-Haus', grüner Raum 100m x 34m x 17m (LBH) Erholungsraum
* z.B. vertikale Vegetations- oder Wasserelemente		
MATERIALIEN		
Boden <input type="checkbox"/> versiegelt <input checked="" type="checkbox"/> unversiegelt Kurzbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> • wassergeb. Wegedecke heller Splitt • grüner Glassplitt 	Vegetation <input type="checkbox"/> flächig <input checked="" type="checkbox"/> strukturell <input checked="" type="checkbox"/> bodenabh. <input checked="" type="checkbox"/> unabh. <input type="checkbox"/> Bäume <ul style="list-style-type: none"> • Kletterpflanzen z.T. in bewässerten Pflanztrögen 	Wasser <input checked="" type="checkbox"/> flächig <input checked="" type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt <input type="checkbox"/> strukturell <ul style="list-style-type: none"> • kleines Wasserbecken
MIKROKLIMA		
Beschattung durch <input checked="" type="checkbox"/> Wände <input checked="" type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Überdachung <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter Kurzbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> • lichter Schatten dichter im Spätsommer z.T. Doppelwand 	Einflussnahme auf Wind <input checked="" type="checkbox"/> Windschutz <input checked="" type="checkbox"/> Sommer <input checked="" type="checkbox"/> Winter <input checked="" type="checkbox"/> Ventilation <ul style="list-style-type: none"> • Windschutz im Laufe des Sommers zunehmend • vorgelagerte Heckenstreifen ca. 1m, z.T. immergrün 	Weitere ** mögliche Standortwahl <ul style="list-style-type: none"> • Aufenthaltsräume auf verschiedenen Ebenen • exponiert oder geschützt
** z.B. bes. thermische Eigenschaften / Feuchtigkeit		
ANMERKUNGEN	PLANUNTERLAGEN	
nachhaltiges Bewässerungssystem <ul style="list-style-type: none"> • Entwässerung in Beete • unterirdische Speicherung von Oberflächenwasser 		
Pläne: Raderschall		

Abb. 7.10 : Datenblatt zum MFO-Park

7.3.2. Raumbildung durch Absenkung

7.3.2.1. Der 'Gartenhof' der Fondation Louis-Jeantet in Genf

Das zweite Beispiel bezieht sich auf eine abgesenkte Freiraumfläche und weist Parallelen zu den abgesenkten Beetflächen der maurischen Gärten in Sevilla auf. Diese Methode der Raumbildung konnte beim derzeitigen Entwicklungsstand (noch) nicht durch das Programm ENVI-met abgebildet und simuliert werden.

Die Fondation Louis-Jeantet (eine Stiftung für medizinische Forschung) befindet sich in einem in leichter Hanglage gebauten Gebäudekomplex innerhalb des Genfer Wohnviertels La Florence östlich des Stadtzentrums. Das moderne Hauptgebäude schließt ebenerdig an das hohe Straßenniveau im Westen an. Die Erdgeschosssebene schiebt sich als Sockel in den Abhang hinaus. Ein in den Sockel abgesenkter Hof verbindet das Untergeschoss des Hauptgebäudes mit dem alten Stiftungsgebäude (der 'Villa') und sorgt somit zusätzlich für eine Belichtung der angrenzenden Räume. Zudem wurde über den Hof ein neuer Eingang von der unteren Straßenebene zum Hauptgebäude geschaffen.

Der so genannte abgesenkte 'Gartenhof' (auch '*hortus conclusus*') nimmt eine quadratische Grundfläche von 15 m x 15 m ein und wird von viereinhalb Meter hohen Doppelwänden aus unverputztem Beton gefasst. Auf dem oberen Niveau wird der Hof von zwei ineinander greifenden U-förmigen Wasserbecken umrahmt. Zwei schmale Treppen führen von hier in den Hof hinab (s. Abb. 7.11) und (s. Abb. 7.12).

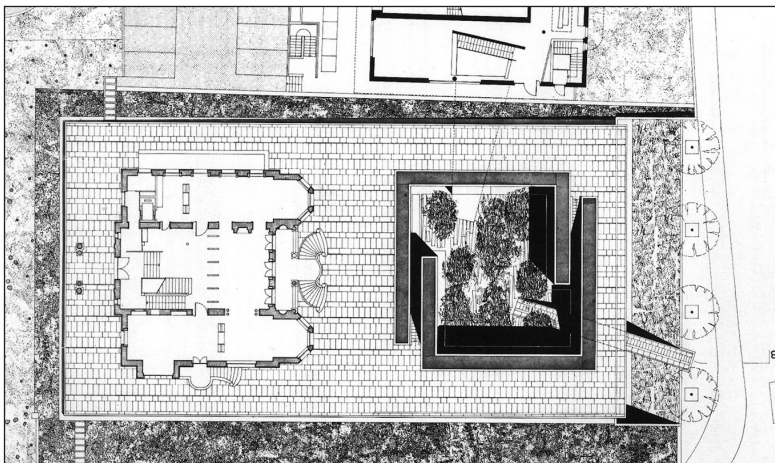


Abb. 7.11 : Grundrissplan der Fondation Louis-Jeantet (Agence Ter)

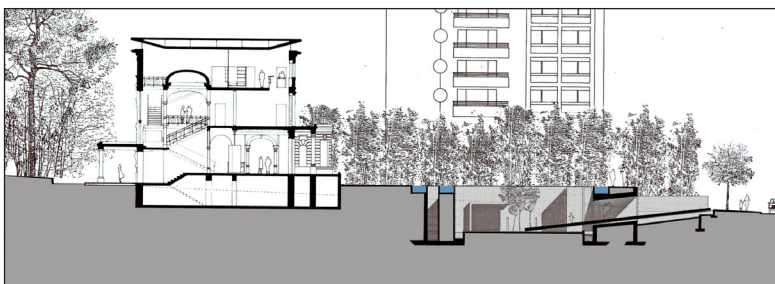


Abb. 7.12 : Schnitt durch den Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet (Agence Ter)

Das Wasser aus den beiden Wasserbecken wird von der oberen Ebene sowohl entlang der Wände als auch die Stufen begleitend in den Treppenwangen hinuntergeführt und unten in einem schmalen Kanal entlang der Mauern aufgefangen. Die Bodenoberfläche des Hofes ist mit unregelmäßigen schwarzen Schieferplatten belegt, die in einen Moosteppich (*Sagina subbulata*) eingebettet sind. Die im Hof gepflanzten Zierkirschen (*Prunus sargentii*) sind als verbindendes Element zwischen unterer und oberer Ebene gedacht. Ihr lichtetes, filigranes und hellgrünes Laub steht in starkem Kontrast zu der fast schwarzen Bodenfläche. Ein besonders reizvolles Bild ergibt sich im Frühjahr, wenn die Bäume rosa erblühen. Das Planungsbüro unterstreicht, dass die Gestaltung sowohl zwei Funktionen - 'Symbol' und 'Raum' – als auch zwei (Erlebnis-)Ebenen bietet: „Von der Terrasse aus gesehen, erscheinen die Kronen der Pflaumenbäume [sic!] wie Wolken über dem doppelten, dunklen Wasserrahmen, in dem sich der Himmel spiegelt“ (in Wirz 2001: 49). Die sinnlichen Aspekte, die dieser Gartenhof vermittelt, werden mit Begriffen wie „Ort des Friedens“ (Bava 1996: 16) und „versunkene Gartenoase“ (Weilacher 2005: 142) umschrieben (s. Abb. 7.13).

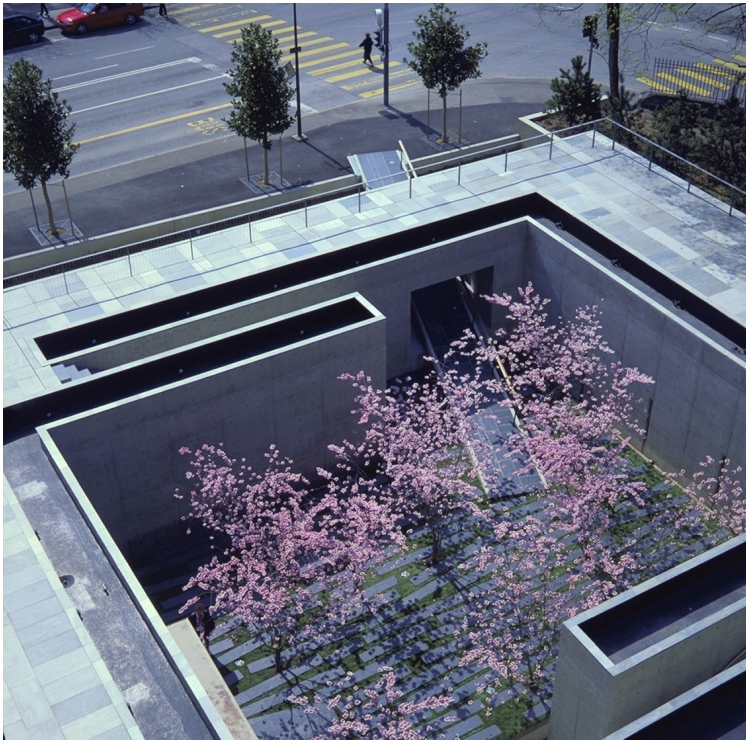


Abb. 7.13 : Blick auf den Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet (Agence Ter)

7.3.2.2. Mikroklimatische Betrachtung

Auch bei der Gestaltung des Gartenhofs der Fondation Louis Jeantet standen laut Planungsbüro mikroklimatische Aspekte nicht im Vordergrund, dennoch lassen sich überraschende Parallelen zu den Beschreibungen der maurischen abgesenkten Beete des Patio del Crucero und zum Patio de la Casa de Contratación in Sevilla (s. Abb. 5.12, S. 107) erkennen. Auch in der Gestaltung des Gartenhofs liegt die Betonung auf den zwei

Ansichts- und Nutzungsebenen, was durch folgende Beschreibung verdeutlicht wird: „Von oben betrachtet, erscheint er [der Gartenhof] als abstraktes Bild [...]. Unten angekommen, eröffnet sich einem gewissermaßen ein fließender Garten“ (Bava 1996: 16). Dabei weist der Gartenhof eine ähnliche Raumhöhe, bzw. Tiefe wie die maurischen abgesenkten Beetflächen auf. Weitere Parallelen sind in dem die Wände herab rinnenden Wasser, dem integrierten Baumdach und der Funktion der unteren Ebene als Verbindung zu erkennen (s. Abb. 7.14). Die Integration des Wassers in den Treppenwangen lässt natürlich an die Wassertreppe des Generalife in Granada denken (s. Abb. 5.16, S. 112).

Die Auswahl der Pflanzen und Materialien ist offensichtlich in erster Linie unter ästhetischen Aspekten wie Blütezeit, Farbkontraste, etc. erfolgt.



Abb. 7.14 : Abgang zum Gartenhof
(Agence Ter)

Mikroklimatische Aspekte werden hier in erster Linie auf der Basis der Erkenntnisse aus den Grundlagen betrachtet (s. Kapitel 3). Obwohl keine Simulationsergebnisse für die Absenkung einer Freiraumfläche vorliegen, kann doch auf die Ergebnisse zur Raumbildung mit Mauern zurückgegriffen werden (s. Kapitel 6). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei 'hochgezogenen' Mauern durch den außen auftreffenden Wind Verwirbelungen auftreten können, die bei einer Absenkung so nicht zu erwarten sind. Unter mikroklimatischen Aspekten ist vor allem der hohe Feuchtigkeitsanteil innerhalb des besonders isolierten Freiraums hervorzuheben. Es ist davon auszugehen, dass es innerhalb des Gartenhofs nur selten Windbewegungen gibt. Während des Sommers wird der Hof durch die Baumkronen zwar großflächig - durch die lichte Belaubung jedoch nur wenig intensiv - beschattet. Das dunkle Bodenmaterial neigt grundsätzlich zu starker Erwärmung. Das Zusammenspiel dieser Faktoren lässt befürchten, dass sich an besonders heißen Tagen Schwüle entwickeln kann. In der kühlen (unbelaubten) Jahreszeit wird sich die Oberflächenerwärmung des in sich geschlossenen Gartenhofs dagegen positiv auf das thermische Wohlbefinden auswirken.

Die Beschreibungen von Seiten des Planungsbüros betonen vor allem die sinnliche und meditative Ebene. Es wird aber deutlich, dass diese Ebenen nicht von der klimatischen Ebene zu trennen sind, da sie - ganzheitlich gesehen - ebenfalls zu den Aspekten des (thermischen) Wohlbefindens gehören. Das wird z. B. auch in der Beschreibung des Gartenhofes der Fondation Louis-Jeantet von Weilacher als „kühlen Wassergarten inmitten der Hitze der Stadt“ deutlich (2005: 143).

7.3.2.3. Datenblatt Fondation Louis-Jeantet

FONDATION LOUIS-JEANTET

PROJEKTDATEN


Ort	Genf, La Florence	
städtebaulicher Kontext	lockere Wohnhaussiedlung	
Auftraggeber/innen	Fondation Louis-Jeantet	
Planer/innen	Agence Ter, Domino	
Fertigstellung	1997	
Gesamtfläche	1.260 m ²	
Baukosten in Euro ca.	2.400.000	

Foto: Agence Ter

RAUMBILDUNG

Raumbildung durch			
<input type="checkbox"/> Architektur	<input type="checkbox"/> Vegetation	<input checked="" type="checkbox"/> Absenkung	<input type="checkbox"/> Teilaspekt *
Kurzbeschreibung			
<ul style="list-style-type: none"> • Hanglage, Herausbildung eines Sockels auf oberem Straßenniveau • Absenkung mit Doppelwänden aus unverputztem Beton • Verbindung zur oberen Ebene durch zwei schmale Treppen 	Charakter Dimension Funktion	Gartenhof, 'hortus conclusus' 15m x 15m x 4,5m (LBT) Verbindung, Empfangsraum	

* z.B. vertikale Vegetations- oder Wasserelemente

MATERIALIEN

Boden	Vegetation	Wasser
<input type="checkbox"/> versiegelt <input checked="" type="checkbox"/> unversiegelt	<input checked="" type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> strukturell <input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh. <input checked="" type="checkbox"/> Bäume	<input checked="" type="checkbox"/> flächig <input checked="" type="checkbox"/> unbewegt <input checked="" type="checkbox"/> bewegt <input checked="" type="checkbox"/> strukturell
Kurzbeschreibung		
<ul style="list-style-type: none"> • schwarze Schieferplatten • breite Vegetationsfugen 	<ul style="list-style-type: none"> • Sternmoos auf Mauern und Boden • Zierkirschen 	<ul style="list-style-type: none"> • Herabrinnen entlang Mauern und in Treppenwangen • umrahmende Wasserbecken

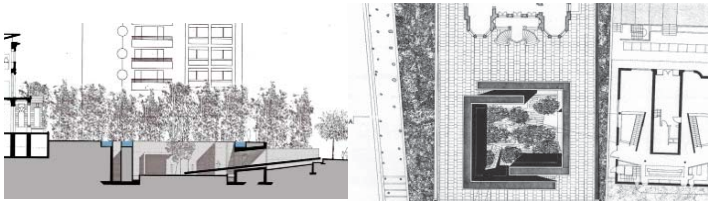
MIKROKLIMA

Beschattung durch	Einflussnahme auf Wind	Weitere **
<input checked="" type="checkbox"/> Wände <input checked="" type="checkbox"/> Sommer <input checked="" type="checkbox"/> Winter <input checked="" type="checkbox"/> Überdachung <input checked="" type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter	<input checked="" type="checkbox"/> Windschutz <input checked="" type="checkbox"/> Sommer <input checked="" type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Ventilation	Feuchtigkeit <ul style="list-style-type: none"> • sehr wasserbestimmt • wenig Luftbewegung Oberflächenerwärmung <ul style="list-style-type: none"> • Bodenmaterial mit hoher Wärmespeicherung
Kurzbeschreibung		
<ul style="list-style-type: none"> • dichte Beschattung durch Mauern • lichte Beschattung durch Baumdach 	<ul style="list-style-type: none"> • kaum Windbewegung 	

** z.B. bes. thermische Eigenschaften / Feuchtigkeit

ANMERKUNGEN

PLANUNTERLAGEN

Wechselwirkungen	
<ul style="list-style-type: none"> • an heißen Tagen Gefahr von Schwüle • an kühlen sonnigen Tagen warmer und geschützter Freiraum 	

Pläne: Agence Ter

Abb. 7.15 : Datenblatt zum Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet

7.4 Diskussion weiterführender Gestaltungsansätze

Das Beispiel des MFO-Parks zeigt u.a. das besondere Potential von Kletterpflanzen im verdichteten Stadtraum im Vergleich zu der bislang üblichen Verwendung von Hecken und Bäumen. Auf der einen Seite sind mikroklimatische Vorteile hervorzuheben: Das schnelle Wachstum von Kletterpflanzen ermöglicht im Vergleich zu Bäumen eine raschere Strukturierung eines Freiraums durch Vegetation und damit auch einen rascheren mikroklimatischen Effekt durch die Blatt-oberflächen. In der Regel ist die Vegetationsstruktur von Kletterpflanzen winddurchlässiger als jene von Hecken und ermöglicht somit einen höheren Grad an Ventilation an warmen Sommertagen. Auf der anderen Seite sind in der Verwendung von Kletterpflanzen auch Vorteile bezogen auf stadtplanerisch relevante Aspekte zu sehen: Kletterpflanzen benötigen weniger Bodentiefe als Bäume und können somit auch auf unterbauten Stadtflächen zur räumlichen Strukturierung eingesetzt werden. Auch auf die Fläche bezogen nehmen sie weniger Platz ein als Bäume und Hecken und bieten zudem die Möglichkeit, in bestimmte Richtungen 'gezogen' zu werden. So kann – wie im Fall des MFO-Parks – ein grüner Rahmen für eine freigehaltene und flexibel nutzbare Stadtfläche geschaffen werden. Während der kühlen Jahreszeit, in der Freiräume allgemein weniger frequentiert sind, bieten die lichten Vegetationsstrukturen der Kletterpflanzen im Hinblick auf den Aspekt der Sicherheit eine bessere Überschaubarkeit des Freiraums als dichtere Hecken.

Ein weiterer bemerkenswerter Ansatz des MFO-Parks ist die Integration des nachhaltigen Bewässerungssystems, insbesondere der Speicherung von überschüssigem Oberflächenwasser. Hier entsteht das Potential, eine solche Speicherung nicht nur unterirdisch zu implementieren, sondern (zum Teil) an die Oberfläche zu holen und direkt in die Freiraumgestaltung zu integrieren. Dadurch könnte ein zusätzlicher mikroklimatischer und ästhetischer Effekt der Wasseroberfläche gewonnen werden. Dazu gibt es bereits interessante Ansätze, so z.B. die *water plazas* in Rotterdam (s. 4.3.2).

Der Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet zeigt, wie ein (häufig als unangenehm wahrgenommener) abgesenkter Freiraum durch angrenzende Funktionen eine hohe Aufenthaltsqualität erhalten kann. Der Gartenhof fungiert als Empfangsraum und wird als Verbindung für angrenzende Nutzungen verwendet, wodurch die Frequenz von Benutzer/innen erhöht wird und somit auch Aspekte der persönlichen Sicherheit und des Wohlbefindens berücksichtigt werden. In der Aktivierung der Untergeschoss-Ebene im Stadtraum lässt sich ein wichtiger Ansatz für den Umgang mit eventuell zukünftig zu erwartenden aufgelassenen unterirdischen Stadtflächen erkennen, so z.B. mit Tiefgaragen (wenn im Zuge einer nachhaltigen Stadtentwicklung Autos weitgehend aus den Städten verbannt sein werden).

Dabei ist zu bedenken, dass die reine Absenkung einer Freiraumfläche keine strukturellen Auswirkungen auf die obere Ebene hat – bzw. dort kaum wahrnehmbar ist. Es ergibt sich also die Frage, inwieweit man die verschiedenen Aspekte kombinieren kann, z.B. in Form einer geringeren Absenkung in Kombination mit Hecken. Ein wesentlicher Aspekt des 'Gartenhofes' ist der verstärkte Einsatz von Wasserelementen. Dabei bleibt zu untersuchen, inwieweit Wasserstrukturen auch als eigenständige strukturelle Elemente eingesetzt werden können.

7.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Beide vorgestellten Beispiele zeitgenössischer Landschaftsarchitektur zeigen:

1. Die in den vorangegangenen Untersuchungen definierten Kriterien können in einer zeitgenössischen Gestaltungssprache und in einer an den städtebaulichen Kontext angepassten Form Anwendung finden. Die Beispiele verdeutlichen, dass die **Gestaltungsprinzipien aus maurischen Palastgärten Ansätze für die aktuelle Stadtplanung liefern können**, und dass es dabei keineswegs um eine 'historisierende' Implementierung von bestimmten Gestaltungselementen geht.

Auch wenn in den beiden zeitgenössischen Projekten avancierte Technik verwendet wird, sind die zugrunde liegenden Prinzipien, z.B. der Einsatz von strukturierenden Vegetationswänden im MFO-Park und die Integration von Wasser sowohl in der Fläche als auch im Raum bei dem abgesenkten Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet, mit den maurischen vergleichbar.

2. Den beiden Projekten ist eine besondere (themenrelevante) Raumbildung gemeinsam, also die **Schaffung eines geschützten 'Freiraums im Freiraum'**.
3. Es besteht ein **enger Zusammenhang zwischen sinnlichen und klimatischen Aspekten des Wohlbefindens**

Laut Auskunft der Planungsbüros haben klimabezogene Aspekte keine explizite Rolle bei den jeweiligen Entwürfen gespielt. Trotzdem lassen sich deutliche Parallelen zu den mikroklimatischen Gestaltungsprinzipien der maurischen Gärten erkennen. Von Fachleuten wird hier besonders die sinnliche Ebene des Freiraumerlebnisses hervorgehoben. Das sinnliche Wohlbefinden schließt das körperliche und hier besonders auch das thermische Wohlbefinden mit ein. Es ist anzunehmen, dass dadurch auch die subjektive Wahrnehmung direkt beeinflusst wird.

4. Es besteht ein enger **Zusammenhang zwischen gestalterischer Qualität und Wohlbefinden**

Beide untersuchten zeitgenössischen Beispiele wurden (mehrfach) durch Design-Preise ausgezeichnet, ihre hohe gestalterische Qualität wurde also immer wieder bestätigt. Sie ist somit auch im Zusammenspiel mit den angesprochenen sinnlichen Aspekten zu bewerten.

Unter dem Aspekt der spezifisch mikroklimatischen Fragestellungen und Kriterien ließen sich für beide Projekte noch einige zusätzliche, klimabezogene Vorschläge entwickeln. So könnten die mikroklimatischen Effekte gegebenenfalls durch eine alternative Material- oder Pflanzenauswahl erhöht werden.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass es sich in beiden Fällen um groß angelegte (auch kostenintensive) Gestaltungsbeispiele handelt. Die Projekte sind im Rahmen dieser Arbeit als Anregung zu sehen. Die eingesetzten Methoden und Materialien können auch in einer reduzierten und einfacheren Form umgesetzt und wirksam werden.

8. Diskussion und Ausblick

8.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegende Dissertation behandelt das Thema »Freiraum im Freiraum. Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur«.

Kapitel 1 führt in die Thematik ein und benennt das Forschungsziel. Die Forschungsergebnisse und Antworten auf die dort formulierten Fragestellungen werden im Verlauf der Arbeit jeweils am Ende der einzelnen Untersuchungen unter »Zusammenfassung und Schlussfolgerungen« vorgestellt. Im Folgenden sollen die wesentlichen Punkte zusammenfassend und in ihrem wechselseitigen Bezug diskutiert werden. Auf die detaillierten Ergebnisse wird dabei verwiesen.

Kapitel 2 untersucht die Rahmenbedingungen, mit denen die europäische Stadtplanung konfrontiert ist (Zusammenfassung der Ergebnisse s. 2.5, Seite 24). Dabei kristallisiert sich heraus, dass der städtische Freiraum aufgrund seiner vielfältigen Funktionen unbedingt als Schlüsselfaktor für eine zukünftige 'nachhaltige' Stadtentwicklung und in seiner Gesamtheit im Sinn von 'Landschaft' zu verstehen ist. Unter den sozialen Aspekten ist hierbei insbesondere die Bedeutung von freien, flexibel und unkommerziell genutzten Stadträumen hervorzuheben. (Mikro-)klimatische Aspekte spielen zudem eine wichtige Rolle, denn sie bedingen u.a. Gestalt, Nutzbarkeit und Aufenthaltsqualität der städtischen Freiräume. Das Kapitel betont die Relevanz der Thematik und die Bedeutung des städtischen Freiraums und somit der Landschaftsarchitektur für zukünftige Stadtentwicklungen. Es bestätigt somit die Plausibilität der einführenden Thesen.

Kapitel 3 befasst sich mit der Bedeutung von klimatischen Gegebenheiten im Allgemeinen und mit den, für das Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit zentralen, mikroklimatischen Aspekten für die Stadtplanung. Das beinhaltet die Möglichkeiten der gestalterischen Einflussnahme durch die Landschaftsarchitektur bei geeigneter Wahl von Vegetation, Wasser und Baumaterialien (Zusammenfassung der Ergebnisse s. 3.6, Seite 61). Die Schlussfolgerungen zur mikroklimatischen Wirkung von Vegetation und Wasser bestätigen die im Kapitel 2.5 formulierten Zielsetzungen. Danach sollte der städtische Freiraum in seiner klimatischen und soziologischen Bedeutung für eine nachhaltige Stadtentwicklung besser als in traditionellen Planungen genutzt werden. Vertikale mikroklimatisch wirksame Gestaltungselemente können den Stadtraum strukturieren, ohne dabei großräumige öffentliche Stadfläche einzunehmen und ohne städtebaulich weiter zu verdichten. Er gewinnt dadurch als attraktiver und klimatisch angenehmer Aufenthaltsraum an sozialer Bedeutung für die Menschen in seinem Umfeld.

Kapitel 4 untersucht den Praxisbezug der Schlussfolgerungen aus den ersten beiden Kapiteln für die Stadtplanung und positioniert die vorliegende Arbeit in diesem Kontext (Zusammenfassung der Ergebnisse s. 4.4, Seite 73). Die im Kapitel vorgestellten Forschungsansätze und deren angewandte Methoden (u.a. naturwissenschaftliche

Messreihen sowie klimatische und soziologische Studien) bestätigen die Notwendigkeit einer interdisziplinären Methodenvielfalt für die Erforschung des Themenfeldes. Ziel ist sowohl die qualitative Verbesserung bestehender Grünräume als auch die Erweiterung des zukünftigen Planungsinstrumentariums. Die Landschaftsarchitektur stellt hier eine wichtige Schnittstelle dar. Diese Tatsache kann als erstes Ergebnis der Arbeit gewertet werden. Die vorliegende Arbeit verfolgt die verschiedenen Ansätze parallel zueinander: Da ist einmal eine stadtstrukturierende Herangehensweise, die sich vor allem mit der Vegetation befasst, also der Kombination aus - erstens - der Steigerung des Grünanteils und - zweitens - der Entwicklung einer klimasensitiven Stadtgestaltung gerade durch den Grünanteil. Zum anderen wird durch die sich gegenseitig ergänzenden Methoden und die jeweils daraus resultierenden Ergebnisse eine Sensibilisierung (*awareness raising*) für klimarelevante Problemstellungen als Diskussionsbasis für Planungsprozesse gefördert. Als wichtiges Ergebnis fiel außerdem - bei aller Methodenvielfalt - eine bisherige Vernachlässigung der historischen Analyse im Zusammenhang mit mikroklimatischen Fragestellungen auf. Der Fokus der in diesem Kapitel vorgestellten Untersuchungen liegt überwiegend auf messbaren bzw. simulierbaren Werten (wie z.B. den Temperatur- und Windfaktorwerten), andere sinnliche Aspekte wurden dagegen wenig behandelt und wenn, dann meist nur unter dem Aspekt einer Störung, wie z.B. Lärm- oder Geruchsbelästigung. Sinnliche Aspekte sind grundsätzlich sowohl schwieriger nachweisbar als auch schwieriger 'herzustellen', da hier ein psychosozialer Kontext angesprochen ist, der u.a. auch auf einer individuellen Befindlichkeit beruht und sich der verallgemeinernden Planbarkeit entzieht. Dabei tragen gerade die sinnlichen Aspekte besonders wirkungsvoll zum thermischen Wohlbefinden bei.

Hier ergibt sich die Schnittstelle mit Kapitel 5, das dezidiert eine historische Analyse unternimmt: Für die maurischen Gärten im Spanien des 8. bis 15. Jahrhunderts sind vor allem die sinnlichen Aspekte charakteristisch und überliefert. Sie wurden auf allen Ebenen wirksam – zusätzlich zu den 'gebauten' Strukturen aus Wasser und Vegetation -, z.B. in Form von ornamentaler Schattenbildung, von Geräuschen des fließenden Wassers und der sich bewegenden Blätter und von Düften. Wir können davon ausgehen, dass den auf sinnliches Genießen ausgerichteten Überlegungen der Mauren lang andauernde Beobachtungs- und Testphasen zugrunde lagen. Der Wunsch nach Linderung der Auswirkungen extremer klimatischer Bedingungen wurde zum Motor vieler (garten-)architektonischer Entscheidungen. Die nächsten Schritte in der vorliegenden Arbeit richteten sich darauf, das Potential einer solchen Gartengestaltung zu untersuchen und dadurch ein vertieftes Verständnis und Bewusstsein für klimatische Zusammenhänge zu gewinnen. Aus diesem heraus wurde anschließend versucht, grundsätzliche – auch gestalterische – Überlegungen und realisierte Gestaltungsprinzipien der Mauren an andere, heutige Verhältnisse anzupassen und möglicherweise zu übernehmen. Dieses Zusammenwirken von historischer Analyse und zeitgenössischen Erfordernissen ist der rote Faden der Arbeit.

Die Untersuchungen zu den maurischen Palastgärten in Kapitel 5 haben also mikroklimatische Gestaltungsprinzipien herausgearbeitet, die als Grundlage für die weiteren Untersuchungen dienen können. Hierbei wird auf die mikroklimatischen Gestaltungselemente der Mauren verwiesen: Wasser, Vegetation und durch Architektur, Vegetation und/oder Absenkung umschlossene Freiräume; des Weiteren auf 'assoziativ-mikroklimatische' (oder: sinnliche) Effekte, die durch Aromen, Klänge, Berührung, Licht- und Farbspiele, usw. hervor-

gerufen werden. Ein ganzheitlicher Ansatz, der immer wieder zu Bewunderung Anlass gibt (Zusammenfassung der Ergebnisse s. 5.6, Seite 113). Der Fokus der vorliegenden Arbeit richtete sich dabei auf das Prinzip der Raumbildung durch strukturell - insbesondere vertikal - eingesetzte Vegetation, entsprechend den Zielsetzungen aus Kapitel 2.5 und den Schlussfolgerungen aus den Grundlagen in Kapitel 3 (s.o.).

In Kapitel 6 wurden die Ergebnisse der Untersuchungen zu den maurischen Gärten in (auf Hauptkriterien formalisierten) Modellen in einen städtebaulichen Kontext übertragen und unter Verwendung des Simulations-Programms ENVI-met 4.0 auf ihren mikroklimatischen Effekt im Stadtraum untersucht. Dabei wurden Berechnungen u.a. zur Reduzierung der mittleren Strahlungstemperatur und zur Einflussnahme auf Windbewegungen vorgestellt, und in der Folge die jeweiligen Auswirkungen auf das thermische Wohlbefinden (Diskussion der Zusammenhänge s. 6.7, Seite 160). Die Simulationsergebnisse zeigen deutlich die Vorteile strukturell - hier in Form von Hecken und einem vegetativen horizontalen Abschluss - eingesetzter Vegetation und belegen generell die Vorteile einer vegetativen Raumbildung (Zusammenfassung der Ergebnisse s. 6.8, Seite 167). Sie bestätigen somit erneut die Schlussfolgerungen aus der Diskussion der Grundlagen in Kapitel 3 und zudem aus den Untersuchungen zu den maurischen Palastgärten in Kapitel 5.

In Kapitel 7 wurde abschließend - und auf den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen aufbauend - ein Datenblatt zur Erhebung und Dokumentation mikroklimatischer Aspekte von zeitgenössischer urbaner Landschaftsarchitektur in Mitteleuropa entwickelt (Zusammenfassung der Ergebnisse s. 7.4, Seite 184). Zwei bereits verwirklichte Projekte, der MFO-Park in Zürich und der 'Gartenhof' der Fondation Louis-Jeantet in Genf, wurden exemplarisch auf ihre Relevanz für Planung, Ausführung und Wirkung mikroklimatischer Aspekte untersucht. Beiden ist dabei eine besondere (themenrelevante) Raumbildung gemeinsam und sie zeigen gestalterische Details, die parallel oder sogar analog zu den maurischen Überlegungen und Strategien gelesen werden können. Bei den beiden zeitgenössischen Beispielen werden sowohl eine moderne Gestaltungssprache als auch moderne Techniken der Realisation des Bauvorhabens verwendet, die zugrunde liegenden Prinzipien aber - z.B. der Einsatz von strukturierenden Vegetationswänden im MFO-Park und die Integration von Wasser bei dem abgesenkten Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet (sowohl in der Fläche als auch im Raum) - ähneln denen der maurischen Gestaltungsprinzipien. Für die vorliegende Studie ist dabei besonders interessant, dass die klimawirksamen Gestaltungselemente der zeitgenössischen Projekte eher oder sogar ausschließlich aus architektonischen (raumstrukturierenden, benutzungsrelevanten und auch ästhetischen) Überlegungen angewendet wurden und weniger, um bewusst auf mikroklimatische Gegebenheiten Einfluss zu nehmen. Bei den Gestaltungsentwürfen haben mikroklimatische Aspekte (und der Rückgriff auf historische Lösungen) laut Informationen der Planungsbüros keine explizite Rolle gespielt. Das verdeutlicht, dass gestalterische Qualität in engem Zusammenhang mit klimatischem und sinnlichem Wohlbefinden steht – und genau solche Überlegungen lagen den Entscheidungen der maurischen 'Landschaftsarchitekten' zugrunde. Aus diesen Beispielen kann gefolgert werden, dass in der Instrumentalisierung dieser 'alten' Techniken vielfältige Planungsreserven und ein großes Potential liegen, dass sie sich also für die Verbesserung des - gerade auch thermischen - Wohlbefindens noch weit intensiver auswirken könnten, als das in derzeitigen Planungen der Fall ist (Diskussion weiterführender Gestaltungsansätze s. 7.3, Seite 183). Es geht dabei nicht um die Implementierung von bestimmten Gestaltungsele-

menten, sondern um eine bewusste Weiterentwicklung der Klima-Kompetenz einer 'alten', auf diesem Gebiet sehr avancierten Kultur.

8.2 Diskussion der angewandten Methoden

Für die praktische Anwendung ist es wichtig, die Resultate aus der Sicht der Planer und Planerinnen zu erörtern und ganz direkte Fragen zu stellen: Welche Methoden helfen im Planungsprozess am ehesten weiter? Welche Relevanz haben die Ergebnisse dieser Arbeit für konkrete Planungen? Zu welchem Zeitpunkt ist welche Methode sinnvoll? Und in welchem Detaillierungsgrad (z.B. bei Simulationen) müssten die Daten aufbereitet werden? An dieser Stelle soll die besondere Eignung der für diese Untersuchung angewandten Methoden erörtert und in Bezug auf ihren Nutzen für konkrete Stadtplanungsprozesse diskutiert werden.

8.2.1. Historische Bestandsaufnahme und Analyse

Bei der historischen Analyse mikroklimatischer Aspekte erfolgt die Datenaufnahme in erster Linie über Beschreibungen aus unterschiedlichen Quellen. Quantitative Aussagen (und Messungen) sind nicht möglich, u.a. auch weil der Zustand der Gärten sich über die Jahrhunderte stark verändert hat. Also musste in erster Linie auf die Methode der Literaturrecherche zurückgegriffen werden, d.h. auf Informationen aus Fachkompendien und Literatur der Epoche (ab dem 11. Jh.) sowie aus aktuellen Studien.

Der Vorteil dieser Methode, in Kombination mit Begehungen vor Ort, liegt vor allem in der ganzheitlichen Betrachtungsweise, die beides - sinnliche und funktionale Aspekte - mit einschließt. Durch diesen weitergefassten Ansatz wurde auch die Relevanz lokaler und jahreszeitlicher Unterschiede bestätigt. Diese Untersuchungsstrategie kann Einsichten über Hintergründe, Zusammenhänge und Entwicklung der erläuterten Gestaltungsprinzipien vermitteln. Ausschließlich quantitative Methoden fokussieren dagegen nur auf im vorhinein definierte und messbare Daten. Die Berücksichtigung jahreszeitlicher und lokaler Unterschiede erfordert allerdings einen sehr viel höheren zeitlichen und organisatorischen Aufwand.

8.2.2. Simulationen

Trotzdem erwiesen sich quantitative Erhebungen in Form von Simulationen als sinnvoll. Dabei ist zu bedenken, dass hier nur stark vereinfachte Modelle angewandt werden können, die der Vielschichtigkeit der maurischen Gestaltungsprinzipien nicht adäquat Rechnung tragen. Bei der Methode der Simulationen, die in der Landschaftsarchitektur in Zukunft sicher verbreitet Anwendung finden wird, ist es notwendig, immer wieder das Potential und die Grenzen des Programms gegeneinander abzuwägen. Es sollte dabei auch bedacht werden, dass beim derzeitigen Entwicklungsstand der Programme der Aufwand der Simulationen (noch) sehr groß ist, und zudem als Ergebnis eher nur Annäherungen bzw. Tendenzen zu erwarten sind. In der vorliegenden Arbeit lag der Fokus auf den mikroklimatischen Auswirkungen der Gestaltungsvarianten zu der wärmsten Jahres-

und Tageszeit (in diesem Fall 23.6., 15 Uhr). Die Berücksichtigung weiterer Jahres- und Tageszeiten würde den Aufwand erheblich erhöhen. Erschwerend kommt auch hinzu, dass viele Aspekte nicht differenzierbar und dadurch auch nicht darstellbar sind. So ist es z.B. kaum möglich, Wirkungsunterschiede zwischen Hecken, Kletterpflanzen und Fassadenbegrünung zu erheben. Auch eine differenzierte Modellierung von Wasserelementen - wie z.B. Wasserwänden oder Wasserläufen - ist noch nicht Bestandteil des Programms. Durch Veränderungen der Einstellungen ist eine Annäherung an manche der Aspekte zwar grundsätzlich möglich, allerdings auf Kosten der Genauigkeit. Es erweist sich jedoch als durchaus sinnvoll, solche Simulationen gezielt einzusetzen, um die Wirkung bestimmter Gestaltungsansätze grundsätzlich zu prüfen bzw. sie zu optimieren. Die gestalterischen Maßnahmen selbst müssen dabei jedoch eher mit Hilfe anderer Methoden entwickelt werden.

Die Frage ist zu diskutieren, ob die Simulationen trotzdem brauchbar und von Interesse sein können, um klimatische Bedingungen und ihre Auswirkungen vorab 'objektiv' bzw. mit statistischen mathematischen Methoden zu untersuchen. Ein Nachteil der Simulationsmethode ist darin zu sehen, dass ein ganzheitlicher Ansatz ignoriert werden muss und so z.B. vielschichtige Wechselwirkungen und sinnliche Aspekte nicht berücksichtigt werden können. Die vorliegende Arbeit zeigt aber, dass gerade diese ganzheitliche Betrachtungsweise bei der Untersuchung des (besonders auch thermischen) Wohlbefindens unabdingbar ist. In Kombination mit anderen Untersuchungsmethoden zeigt sich aber auch der große Vorteil der Simulationen. Sie liefern quantitative Aussagen zu aus nicht-quantitativen Methoden (wie Literaturrecherche, Begehung und mikroklimatische Betrachtung) generierten Gestaltungsprinzipien. Sie können somit als eine Art 'wissenschaftlicher Vermittler' angesehen werden und unterstützen dadurch die auch naturwissenschaftlich geführte Argumentation. Die graphische Darstellung der Ergebnisse trägt zur Transparenz der Daten bei, so sind vor allem die *maps* - die das Programm ENVI-met ausgibt - gerade in Verbindung mit den berechneten Mittelwerten durchaus aussagekräftig. Hier werden die Schnittstellen von Klimatologie und Planung auf anschauliche Weise evident.

8.2.3. Datenblatt

Ein direkt implementierbares Resultat dieser Arbeit ist der Entwurf eines Datenblattes zur Erfassung mikroklimatischer Aspekte bei verwirklichten landschaftsarchitektonischen Projekten. Dieses formalisierte Datenblatt eignet sich für eine erhöhte Achtsamkeit auf klimasensitive Aspekte, es schärft den Blick und ermöglicht vor allem, aus anderen Projekten Erfahrungen zu sammeln und Konsequenzen für eigene Vorhaben zu ziehen. Dazu wurde bewusst keine strenge quantitative Methode, sondern eine 'intuitive' Erfassung bevorzugt, die ebenfalls gute Kenntnisse der Thematik, aber keine aufwendigen Methoden wie Messungen voraussetzt. Dadurch ist einerseits eine schnelle und unkomplizierte Erhebung möglich, und andererseits fließen so auch ganzheitliche (sinnliche, gestalterische und jahreszeitliche) Aspekte mit ein.

Das Datenblatt ist ein wichtiges Instrument für die vergleichende Beurteilung und Unterstützung neuer Gestaltungsumsetzungen. Es hat einen engen Bezug zu Kriterien wie Machbarkeit bzw. Umsetzbarkeit und bietet eine gute Diskussionsgrundlage, wenn es

um weiterführende Aspekte geht, die in der Stadtplanung von hoher Relevanz sind, z.B. Ästhetik, Sicherheit, Nutzungsstrukturen, etc.

Die Kriterien für die Erstellung des Datenblattes beruhen auf einer Verknüpfung mit den Ergebnissen aus der historischen Analyse und den Simulationen. Das Datenblatt erleichtert somit eine wissenschaftlich vergleichende Aufbereitung und Einstufung der landschaftsarchitektonischen Details. In der Aufbereitung werden wiederum die Ergebnisse der Literaturrecherche und Querbezüge zu den Methoden der historischen Analyse und der Verwendung von Simulationen hinzugezogen. Auch hier werden die Vorteile der Verwendung von sich ergänzenden Methoden bestätigt.

8.3 Fazit

Das dezidierte Anliegen der vorliegenden Arbeit ist, dazu beizutragen, die Relevanz des städtischen Freiraums und seines spezifischen Mikroklimas für eine nachhaltige Stadtentwicklung hervorzuheben und das Bewusstsein dafür zu stärken.

Es hat sich zweifelsfrei gezeigt, dass hierzu eine Methodenvielfalt Anwendung finden muss. Einzelne Methoden sind für die Untersuchung bestimmter Fragestellungen relevant und führen bei anderen Fragestellungen zu weniger brauchbaren Resultaten. Deswegen ist der interdisziplinäre Ansatz der sich gegenseitig ergänzenden Forschungsmethoden besonders zielführend. Dabei erweist es sich immer als ausschlaggebend, das Potential der einzelnen Disziplinen für das jeweilig zu untersuchende Vorhaben zu bündeln.

Die Arbeit will Ansätze anbieten, Diskussionen zu den anliegenden Problemstellungen verstärkt zu initiieren. Es geht darum, eine 'gemeinsame Sprache' zu finden, um auf der Basis von Prämissen über die anstehenden Probleme zu diskutieren. Dafür ist ein hoher Grad an Veranschaulichung notwendig. So liefern z.B. Abbildungen und Zitate von und zu maurischen Gärten einen einfühlsamen sinnlichen Eindruck, mit Hilfe dessen der Aspekt des Wohlbefindens nachvollziehbar wird. Quantitative Aussagen zu klimatischen Auswirkungen von bestimmten Gestaltungsprinzipien stärken die Argumentation und können in ihrer gut vermittelbaren und anschaulichen Form (*maps*) als eine Art 'wissenschaftlicher Vermittler' angesehen werden. Die Datenblätter zu den zeitgenössischen Beispielen zeigen innovative gestalterische Lösungsansätze und bieten zudem Aussagen zu deren mikroklimatischen Vor- bzw. Nachteilen. Die gesammelten Informationen und besonders Abbildungen (Pläne, Details) zu zeitgenössischen (aber auch historischen) Beispielen können die Kommunikation über gestalterische Varianten wesentlich unterstützen (s. Abb. 8.1).

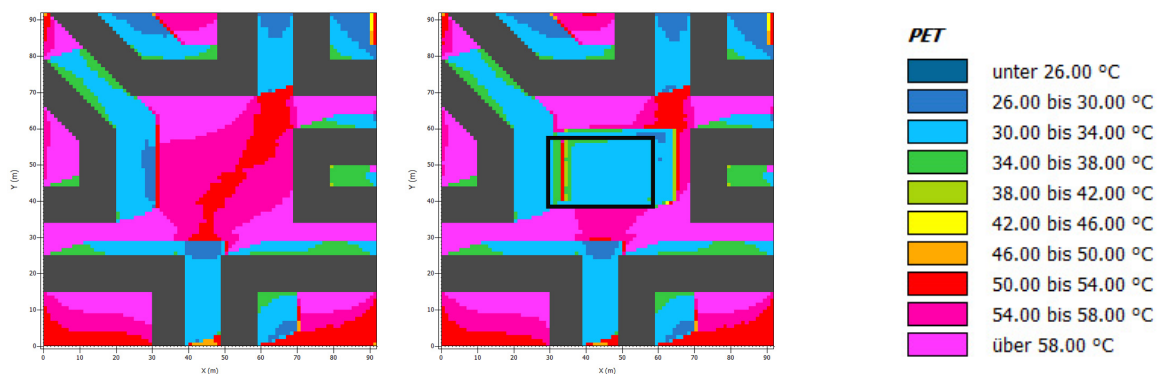


Abb. 8.1 : Zusammenspiel der unterschiedlichen Methoden am Beispiel einer Raumbildung durch strukturell verwendete Vegetation: *bailarina* in Granada (historische Analyse), MFO-Park in Zürich (Datenblatt) und maps zu den Auswirkungen von Hecken in Kombination mit einem Vegetationsdach auf das thermische Wohlbefinden (PET) im städtischen Kontext für die offene Platzsituation (Simulation)

In der vorliegenden Arbeit hat sich die historische Analyse als besonders gewinnbringend für aktuelle Problemstellungen erwiesen. Im Fall der maurischen Palastgärten spielt dabei einerseits der ganzheitliche Ansatz eine bedeutende Rolle, der besonders für den Freiraum und die Architektur, aber auch für Problemlösungen bei Design und Ausführung immer wichtiger wird; eine derart ganzheitliche (nachhaltige) Vorgehensweise bedeutet eine Trendwende: weg von einer Betrachtungsweise, die vorrangig quantitativ argumentiert und hin zu einer differenzierten Abwägung und Implementierung qualitativen Zusammenwirkens. Zudem zeigt die Entwicklung der maurischen Kultur von *al-Andalus* das grundsätzliche Potential von Veränderungen: soziale Veränderungen in Kombination mit dem globalen Klimawandel erfordern eine besonders inspirierte Ideenvielfalt in der Stadtplanung. Ganz unterschiedliche Einflüsse und Kriterien müssen zusammengenommen und in der allgemeinen Planung mitbedacht werden. So sollte eine freiwillige und sanfte Integration nicht aus Österreich kommender Menschen immer ein konkretes Ziel auch der Stadtplanung sein, die endlich das Potential der zuwandernden Personengruppen erkennen und produktiv machen muss, anstatt zuzulassen, dass die „Angst vor dem Fremden“ weiter geschürt wird.

Es war der Autorin besonders wichtig, gerade einen Aspekt zu behandeln, der das Wohlbefinden des Individuums in den Vordergrund stellt. Das Sicherstellen des Wohlbefindens des einzelnen Menschen (aller einzelnen Menschen) bleibt eine zeitlos gültige Forderung

und Aufgabe. Eine Gesellschaft definiert sich vor allem auch dadurch, wie sie mit dem Wohlbefinden der Individuen (das für jeden Menschen ein einzuforderndes und unveräußerliches Gut ist) umgeht. Das individuelle Wohlbefinden ist dabei für Berechnungen und Planungen ein schwer zu fassendes Phänomen, weil es von so vielen differenzierten und individuell unterschiedlichen Faktoren bestimmt wird. Das Konzept des thermischen Wohlbefindens eröffnet die Möglichkeit, bis zu einem gewissen Grad allgemein gültigere Aussagen zu treffen. Wie diese Arbeit zeigt, sind frühe Gestaltungsprinzipien gerade im Hinblick auf das Kriterium Nachhaltigkeit sowohl sinnvoll als auch nutzbar und dazu notwendig. Moderne und ausschließlich technische Lösungen (z.B. eine Energie-aufwendige Klimatisierung) verschärfen das Problem der Erwärmung, weil damit immer auch Wärme generiert wird. Eine den aktuellen Bedürfnissen zeitgemäß angepasste und auf den aktuellen technischen Stand übertragene Implementierung früherer Gestaltungsprinzipien ist vor dem Hintergrund der Klimaentwicklungen nicht 'historisierend', sondern innovativ und somit höchst zeitgemäß. Die Arbeit will dazu beitragen, 'alte' bewährte Kompetenzen im 'natürlichen' Umgang mit Klimabedingungen, die verloren gegangen bzw. zugunsten weniger, ökonomischer Methoden verdrängt wurden, im Sinne einer ganzheitlichen Sichtweise und Nachhaltigkeit zu reaktivieren.

Bewusstseinsbildung scheint dabei besonders wichtig: Eingriffe in die Stadtstruktur können nur in dem Maß wirksam werden, in dem die Nutzerinnen und Nutzer bereit sind, diese anzunehmen (Akzeptanz), und vor allem auch bereit sind, ihr Verhalten an die veränderte Situation anzupassen (Adaption). Voraussetzung dafür sind Information, Kommunikation und Kooperation, und bei Bedarf in Konfliktfällen auch Mediation.

8.4 Ausblick

Die in der Diskussion besprochenen Aspekte müssen kontinuierlich weiterentwickelt und verfeinert - möglicherweise auch neu überdacht - werden.

Es erscheint dabei besonders sinnvoll, historische Analysen unter mikroklimatischen Aspekten weiter auszubauen. In der vorliegenden Arbeit sind sie speziell auf maurische Gestaltungsprinzipien konzentriert. Es gibt aber sicher auch in anderen mediterranen Regionen (Portugal, Marokko, etc.) und in heißen und trockenen Klimaten weltweit (z.B. Kalifornien, Australien, Naher Osten, Asien) zu beachtende Ansätze.

Für eine zukünftige Stadtentwicklung ist die Formulierung konkreter Empfehlungen für gestalterische Maßnahmen immer hilfreich. Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, dass die jeweiligen Prioritäten sowohl unter lokalen und regionalen als auch unter jahreszeitlichen Gesichtspunkten sehr unterschiedlich sein können. Hier erscheint die Entwicklung eines übertragbaren Prioritätenkatalogs für möglichst effektive und direkt umsetzbare Maßnahmen als besonders sinnvoll (siehe dazu auch das gerade angelaufene Forschungsprojekt ›UFT-ADI‹).

Im Fall der Simulationen ist es dringend notwendig, weniger komplexe Module direkt in CAD-Programme zu integrieren und somit sowohl das Bewusstsein für die Klimathematik während des Planungsprozesses zu stärken, als auch ein dafür geeignetes Planungsinstrument zur Verfügung zu stellen. Wesentliche Kriterien wie Strahlung und Wind könnten

dadurch im Entwurfsprozess abrufbar und überprüfbar gemacht werden. Eine Berechnung des Schattens ist bereits in eine Vielzahl von Programmen integriert. Zu empfehlen ist auch eine Kopplung mit Temperaturdaten. Es gibt bereits Ansätze zur einfachen Berechnung von Windflüssen. Die Weiterentwicklung dieser Tools kann eine entscheidende Hilfestellung in der Entwurfsphase leisten, die Rückschlüsse und eine erste Einschätzung für mikroklimatische Auswirkungen ermöglicht. Bei ausgewählten Gestaltungslösungen können in der Folge komplexere Simulationen für fundierte Aussagen sinnvoll sein.

Entwurfsprojekte mit Studierenden, bei denen die Methodenvielfalt eine konkrete Anwendung findet, sind immer wieder besonders wichtig. Eine in aktuelle Bauvorhaben involvierende Ausbildung trägt zur Bewusstseinsbildung der zukünftigen Landschaftsarchitekt/innen, Städteplaner/innen, Raumplaner/innen und Architekt/innen bei. Die vielleicht heute noch für viele als idealisiert oder utopisch anmutenden Vorstellungen, wie und mit welchen Methoden mit Klimaentwicklungen umgegangen werden kann und wie dabei die Bedürfnisse und das Wohlbefinden aller Einzelnen im Vordergrund stehen sollten, werden in ein paar Jahren (hoffentlich) planerischer Alltag sein. Die vorliegende Arbeit will dazu ihren Beitrag leisten.

Bibliographie

- Adams, J. (2007). *Vegetation-climate interaction*, Berlin: Springer Praxis Publishing.
- Ali-Toudert, F. (2005). *Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate*. Dissertation, Universität Freiburg.
- Ali-Toudert, F. und Mayer, H. (2006). Effects of asymetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 81, 742-754.
- Barrucand, M. und Bednorz, A. (2002). *Maurische Architektur in Andalusien*, Köln: Taschen.
- Bava, H. (1996). Der fließende Garten, Genf. *TOPOS*, 16, 13-17.
- Behringer, W. (2009). *Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung*, München: Beck.
- Berényi, D. (1967). *Mikroklimatologie. Mikroklima der bodennahen Atmosphäre*, Stuttgart: Fischer.
- Bermúdez Pareja, J. (1965). El Generalife despues del incendio de 1958. *Cuadernos de la Alhambra*, 1, 9-39.
- Birzer, M., Feindt, P. H. und Spindler, E. A. (Hrsg.) (1997). *Nachhaltige Stadtentwicklung Konzepte und Projekte*, Bonn: Economica.
- Bollund, P. und Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301.
- Bosch Vilá, J. (1984). *Historia de Sevilla: la Sevilla Islámica, 712-1248*, Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Brager, G. S. und Dear, R. J. D. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27, 83-96.
- Brandt, K. (2005). *Mikroklima. Meteorologie in der Nähe des Erdbodens*, Bonn: Brandt.
- Brandt, K. (2007). *Treibhaus Deutschland. Der Klimawandel in Deutschland und seine Auswirkungen*, Bonn: Bouvier.
- Brown, R. D. und Gillespie, T. J. (1995). *Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency*, New York: Wiley.
- Brundtland, G. H., Hauff, V. und World Commission on Environment and Development (1987). *Unsere gemeinsame Zukunft*, Grevén: Eggenkamp.
- Bruse, M. (1999). Envi-met. *Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima*. Dissertation: Uni Bochum.
- Burckhardt, T. (1980). *Die maurische Kultur in Spanien*, München: Callwey.

- Caro, R. (1998). *Antigüedades y principado de la ilustrísima ciudad de Sevilla (1634)*, Sevilla: Alfar.
- Casamar, M. und Kugel, C. (1990). *La España arabe: legado de un paraíso*, Madrid: Casariego.
- Club of Rome und Meadows, D. L. (1972). *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*, Stuttgart: Dt. Verl.-Anst.
- Dickie, J. (1965). Notas sobre la jardinería árabe en la España Musulmana. *Miscelánea de Estudios Árabes y Hebraicos*, 14-15, 75-87.
- Dickie, J. (1992). The Hispano-Arab garden: notes towards a typology. In: Jayyusi, S. K. (Hrsg.) *The legacy of Muslim Spain*. Leiden: Brill.
- Diedrich, L. und Agence, T. (2009). *Territories: die Stadt aus der Landschaft entwickeln*, Basel: Birkhäuser.
- Dimoudi, A. und Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35, 69-76.
- Eliasson, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 48, 31-44.
- Evans, J. M. und Schiller, S. D. (1996). Application of microclimate studies in town planning: a new capital city, an existing urban district, and urban river front development. *Atmospheric Environment*, 30, 361-364.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*, New York: McGraw-Hill.
- Feindt, P. H. (1997). Nachhaltigkeit, Urbanität, Identität und Partizipation. In: Birzer, M. (Hrsg.) *Nachhaltige Stadtentwicklung*. Bonn: Economica.
- Fezer, F. (1995). *Das Klima der Städte*, Gotha: Perthes.
- Font Tullot, I. (1988). *Historia del clima de España*, Madrid: Instituto Nacional de Meteorología.
- Forman, R. T. T. und Godron, M. (1986). *Landscape ecology*, New York: Wiley.
- Frank, W. (1975). *Raumklima und thermische Behaglichkeit*, Berlin: Ernst.
- García Gómez, E. (1988). *Foco de antigua luz sobre la Alhambra : desde un texto de Ibn Al-Jatíb en 1362*, Madrid: Instituto Egipcio de Estudios Islámicos.
- García Luján, J. A. (2006). *El Generalife. Jardín del Paraíso*, Granada: Eigenverlag.
- García Sánchez, E. (1992). Agriculture in Muslim Spain. In: Jayyusi, S. K. (Hrsg.) *The legacy of Muslim Spain*. Leiden: Brill.
- Geiger, R. (1961). *Das Klima der bodennahen Luftschicht: ein Lehrbuch der Mikroklimatologie*, Braunschweig: Vieweg.
- Gill, S. E. (2006). *Climate Change and Urban Greenspace*. Dissertation: University of Manchester.

- Gill, S. E., Handley, J. F. und Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33, 115-133.
- Glaser, R. (2008). *Klimageschichte Mitteleuropas. 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*, Darmstadt: WBG.
- Goodess, C. M., Hall, Best, Betts und Cabantous (2007). Climate scenarios and decision making under uncertainty. *Built Environment*, 33, 10-30.
- Gothein, M. L. (1926). *Geschichte der Gartenkunst*, Jena: Diederichs.
- Hallegatte, S., Hourcade, J. C. und Ambrosi, P. (2007). Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas. *Climatic Change*, 82, 47-60.
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
- Hunt, J. (2004). How can cities mitigate and adapt to climate change? *Building Research and Information*, 32, 55-57.
- Ibn Al-'Awwam und Muhammad, Y. B. (1999). *El libro de agricultura de Al Awam (12./13. Jh.)*, Sevilla: Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía.
- Ibn Bassal (1955). *Libro de Agricultura (11. Jh.)*, Tetuán: Instituto Muley El-Hasan.
- Ibn Luyun (1988). *Tratado de agricultura (1348)*, Granada: Patronato de la Alhambra y Generalife.
- Ibn 'abdūn und Ahmad, M. B. (1992). *Sevilla a comienzos del siglo XII : el tratado de Ibn 'Abdūn*, Sevilla: Servicio de Publicaciones del Ayuntamiento.
- IPCC (2007). *Climate change 2007*, Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Irving, P. E. und Irving, W. (2001). *The life and letters of Washington Irving*, Honolulu: University Press of the Pacific.
- Jacobs, J. (Hrsg.) (2007). *Waterplan 2. Working in water for an attractive city*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- Jayyusi, S. K. (1992). Nature poetry in al-Andalus and the rise of Ibn Khafāja. In: Jayyusi, S. K. (Hrsg.) *The legacy of Muslim Spain*. Leiden: Brill.
- Jayyusi, S. K. (Hrsg.) (1994). *The legacy of Muslim Spain*, Leiden: Brill.
- Jendritky, G. (1990). *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*, Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung.
- Jiménez Alcalá, B. (1999). Aspectos bioclimáticos de la arquitectura Hispanomusulmana. *Cuadernos de la Alhambra*, 35, 13-29.
- Kaelble, H. (2007). *Sozialgeschichte Europas: 1945 bis zur Gegenwart*, München: Beck.
- Keul, A. G. (Hrsg.) (1995). *Wohlbefinden in der Stadt: umwelt- und gesundheitspsychologische Perspektiven*, Weinheim: Beltz PVU.

- Kugel, C. E. (1989). Das Wasser in der Alhambra. *Garten und Landschaft*, 7/89, 35-39.
- Küppers, H. (1989). *Harmonielehre der Farben: theoretische Grundlagen der Farbgestaltung*, Köln: DuMont.
- Kuttler, W. (2009). *Klimatologie*, Paderborn: Schöningh.
- Laue, H. M. (2009). *Gefühlte Landschaftsarchitektur. Möglichkeiten der thermischen Einflussnahme in städtischen Freiräumen*. Dissertation: Kassel Univ. Press.
- LCCP 2002. London's warming: The impacts of climate change on London. London: London Climate Change Partnership.
- LCCP 2005. Adapting to climate change: a checklist for development. Guidance on designing developments in a changing climate. London: GLA.
- Lenzholzer, S. und Koh, J. (2010). Immersed in microclimatic space. Microclimate experience and perception of spatial configurations in Dutch squares. *Landscape and Urban Planning*, 95, 1-15.
- Lenzhölzer, S. (2010). *Designing atmospheres : research and design for thermal comfort in Dutch urban squares*. Dissertation: Wageningen University.
- Lin, T. P., Matzarakis, A. und Hwang, R. L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45, 213-221.
- Lowry, W. P. (1988). *Atmospheric Ecology for designers and planners*, McMinnville: Peavine Publications.
- Maderthaner, R. (1995). Soziale Faktoren urbaner Lebensqualität. In: Keul, A. G. (Hrsg.) *Wohlbefinden in der Stadt*. Weinheim: Beltz.
- Makki, M. (1992). The political history of al-Andalus. In: Jayyusi, S. K. (Hrsg.) *The legacy of Muslim Spain*. Leiden: Brill.
- Manzano Martos, R. (1995). El Alcázar de Sevilla: los Palacios Almohades. In: Valor Piechotta, M. (Hrsg.) *El último siglo de la Sevilla islámica : 1147-1248*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Mayer, H., Holst, J., Dostal, P., Imbery, F. und Schindler, D. (2008). Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorologische Zeitschrift*, 17, 241-250.
- Meehl, G. A. und Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305, 994-997.
- Morgado, A. (2001). *Historia de Sevilla (1586)*, Barcelona: ABC.
- Moriyama, M. und Matsumoto, M. (1988). Control of urban night temperature in semitropical regions during summer. *Energy and Buildings*, 11, 213-219.
- Müller, M. (1997). Nachhaltige Entwicklung: Herausforderung für die Umweltpolitik. In: Birzer, M. (Hrsg.) *Nachhaltige Stadtentwicklung*. Bonn: Economica-Verl.
- Navagero, A. (1983). *Viaje por España (1524-1526)*, Madrid: Turner.

- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*, London: Routledge.
- Ong, B. L. (2003). Green plot ratio: an ecological measure for architecture and urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 63, 197-211.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 37, 637-669.
- Parmesan, C. und Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Pauleit, S. und Duhme, F. (2000). Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 52, 1-20.
- Pfister, C. (1999). *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*, Wien: Haupt.
- Plomin, K. (1975). *Der vollendete Garten*, Stuttgart: Ulmer.
- Prieto Moreno, F. (1975). *El jardín Hispanomusulman*, Granada: Obra Cultural de la Caja de Ahorros de Granada.
- Prieto Moreno, F. (1983). *Los jardines de Granada*, Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia.
- Rahmstorf, S. und Schellnhuber, H. J. (2007). *Der Klimawandel*, München: Beck.
- Rau, C. (2010). Masdar City, Abu Dhabi. *Topos*, 70, 81-87.
- Rees, W. E. (1997). Urban ecosystems: the human dimension. *Urban Ecosystems*, 1, 63-75.
- Reina Fernández-Trujillo, F. (2007). Recuperación parcial de niveles históricos en el Patio del Crucero del Real Alcázar de Sevilla. *Apuntes del Alcázar de Sevilla*, 8.
- Roehr, D. und Laurenz, J. (2008). Living skins: environmental benefits of green envelopes in the city context. *Eco-Architecture II: Harmonisation between Architecture and Nature*, 113, 149-158.
- Roldán Castro, F. (Hrsg.) (2004). *Paisaje y naturaleza en Al-Andalus*, Granada: Fundación El Legado Andalusi.
- Rubiera Mata, M. J. (1994). *Ibn al-Ŷayyāb: el otro poeta de la Alhambra*, Granada: Patronato de la Alhambra y Generalife.
- Rudel, E., Matzarakis, A. und Koch, E. (2007). Bioclimate and mortality in Vienna. In: Matzarakis, A. & Mayer, H. (Hrsg.) 6. Fachtagung BIOMET, Freiburg: Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg, 25-31.
- Ruggles, D. F. (2006). *Gardens, landscape, and vision in the palaces of Islamic Spain*, University Park, Pa.: Pennsylvania State Univ. Press.
- Sánchez Vidiella, À. (2008). *Atlas der zeitgenössischen Landschaftsarchitektur*, Köln: DuMont.

- Schröder, T. (2001). *Inszenierte Naturen: zeitgenössische Landschaftsarchitektur in Europa*, Basel: Birkhäuser.
- Selle, K. (2004). Öffentliche Räume in der europäischen Stadt - Verfall und Ende oder Wandel und Belebung? In: Siebel, W. (Hrsg.) *Die europäische Stadt*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Siebel, W. (Hrsg.) (2004). *Die europäische Stadt*, Frankfurt: Suhrkamp.
- Spitzer, H. (1997). Fünf Ebenen der Nachhaltigkeit. In: Birzer, M. (Hrsg.) *Nachhaltige Stadtentwicklung*. Bonn: Economica.
- Stern, N. H. (2007). *Stern review: the economics of climate change*, London: HM Treasury.
- Stewart, I. und Oke, T. R. 1998. Newly developed 'Thermal climate zones' for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. *The Timothy R Oke Symposium, American Meteorological Society Annual Meeting Phoenix AZ*.
- Sukopp, H. und Wurzel, A. (2003). The effects of climate change on the vegetation of Central European cities. *Urban Habitats*, 1, 66-86.
- TCPA 2004. *Biodiversity by Design. A guide for sustainable communities*, London: Town and Country Planning Association
- TCPA 2007. *Climate change adaptation by design. A guide for sustainable communities*, London: Town and Country Planning Association.
- Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I. und Holmer, B. (2007). Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology*, 27, 1983-1993.
- Tito Rojo, J. (1999). La bailerina del Generalife y las topiarias arquitectónicas de ciprés en los jardines granadinos del Siglo XIX. *Cuadernos de la Alhambra*, 35, 57-92.
- Tito Rojo, J. (2004). Jardín y naturaleza en al-Andalus. In: Roldán Castro, F. (Hrsg.) *Paisaje y naturaleza en Al-Andalus*. Granada: Fundación El Legado Andalusi.
- Torres Balbás, L. (1945). Notas sobre Sevilla en la Época Musulmana. *Al-Andalus*, 10, 177-196.
- Trillo San José, C. (2003). *Agua y paisaje en Granada. Una herencia de al-Andalus*, Granada: Diputación de Granada.
- Tubino, F. M. (1999). *El Alcázar de Sevilla*, Sevilla: Patronato del Real Alcázar.
- Valor Piechotta, M. (1995). *El último siglo de la Sevilla islámica: 1147-1248*, Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Van Der Veken, S., Hermy, Knapen, Velend und Verheyen (2008). Garden plants get a head start on climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 212-216.
- Vernet, J. (1992). Natural and technical sciences in al-Andalus. In: Jayyusi, S. K. (Hrsg.) *The legacy of Muslim Spain*. Leiden: Brill.
- Watkins, R., Palmer, J. und Kolokotroni, M. (2007). Increased temperature and intensification of the urban heat island: implications for human thermal comfort and urban design. *Built Environment*, 33, 85-96.

Weilacher, U. und Weilacher, R. (2005). *In Gärten. Profile aktueller europäischer Landschaftsarchitektur*, Basel: Birkhäuser.

Wilby, R. L. (2007). A review of climate change impacts on the built environment. *Built Environment*, 33, 31-45.

Wirz, H., Le Dantec, J. P. und Bava, H. (2001). *Wasser, Schichten, Horizonte. Agence Ter*, Luzern: Quart-Verl.

Zerbe, S., Maurer, U., Schmitz, S. und Sukopp, H. (2003). Biodiversity in Berlin and its potential for nature conservation. *Landscape and Urban Planning*, 62, 139-148.

Zwahr, A. (2001). *Meyers großes Taschenlexikon: in 25 Bänden*, Mannheim: BI-Taschenbuchverl.

Forschungsberichte

ASCCUE (2006). Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Environment. EPSRC. <http://www.sed.manchester.ac.uk/research/cure/research/asccue/>

Aspern Plus (2011). Freiraum und Mikroklima. <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id5833?active=>

BUGS (2004). Benefits of Urban Green Space. Key Action 4, City of Tomorrow, Fifth Framework Programme EU. <http://www.vito.be/bugs/>

COST C11 (2005). Greenstructure and urban planning. Action 11, COST Programme EU. <http://www.greenstructureplanning.eu/COSTC11-book/index.htm>

Greenkeys (2008). Greenkeys at your city. A guide for urban green quality. http://www.ioer.de/greenkeys/Greenkeys_Tools/manual.htm

Greenspace (2005). Final Report. Key Action 4, City of Tomorrow, Fifth Framework Programme EU. <http://www.ucd.ie/greensp/>

KLIMES (2010). Planerische Strategien und städtebauliche Konzepte zur Reduzierung der Auswirkungen von klimatischen Extremen auf Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen in Städten. BMBF. <http://www.klimazwei.de/ProjektezumSchutzvorKlimawirkungen/Projektübersicht/KLIMES/tabid/125/language/de-DE/Default.aspx>

RUROS (2004). Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach. Key Action 4, City of Tomorrow, Fifth Framework Programme EU. <http://www.alpha.cres.gr/ruros/>

UFT-ADI (2011-2013). Urban fabric types and microclimate responses - assessment and design improvement. Austrian Climate Research Programme, Klima- und Energiefonds.

Urbospace (2010). A guideline for making space. Joint Strategy Activity 3.3. http://www.urbanspaces.eu/files/JOINT_STRATEGY_makingSpace.pdf

URGE (2004). Development of Urban Greenspaces to Improve the Quality of Life in Cities and Urban Areas. Key Action 4, City of Tomorrow, Fifth Framework Programme EU. <http://www.urge-project.ufz.de>

Strategiepapiere

Aalborg Charta (1994) http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/aalborg_charter.pdf

Die erneuerte EU-Nachhaltigkeitsstrategie (2006), <http://www.umwelt.net.at/article/article-view/71198/1/7251/>

Europäische Landschaftskonvention (2000), <http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/html/176.htm>

Leipzig Charta (2007), http://www.eu2007.de/en/News/download_docs/Mai/0524-AN/075DokumentLeipzigCharta.pdf

Lissabon Strategie (2000), http://www.europarl.europa.eu/summits/lis1_de.htm

Thematische Strategie für die städtische Umwelt (2006), http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/com_2005_0718_de.pdf

Websites

Agence Ter, <http://www.agenceter.com/> [letzter Zugriff 05/2011].

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, <http://www.ashrae.org/> [letzter Zugriff 02/2011].

BMU - Bundesumweltministerium Deutschland, <http://www.bmu.de/allgemein/aktuell/160.php> [letzter Zugriff 02/2011].

Burckhardt + Partner Architekten, <http://www.burckhardtpartner.ch/de> [letzter Zugriff 05/2011].

Envi-met, <http://www.envi-met.com/> [letzter Zugriff 05/2011].

Grün Stadt Zürich, http://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/natur-_und_erlebnis-raeume/park-_und_gruenanlagen/neue_parks/mfo-park_in_neu-oerlikon.html# [letzter Zugriff 05/2011].

Lebensministerium Österreich - Umwelt-net, <http://www.umwelt.net.at/> [letzter Zugriff 02/2011].

Lexikon der Nachhaltigkeit, <http://www.nachhaltigkeit.info/> [letzter Zugriff 02/2011].

Masdar City Initiative official website, <http://www.masdar.ae/en/home/index.aspx> [letzter Zugriff 02/2011].

Raderschall Landschaftsarchitekten, <http://www.raderschall.ch/index.php> [letzter Zugriff 05/2011].

Stadtentwicklung Berlin - BFF-Biotopflächenfaktor, <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/> [letzter Zugriff 02/2011].

Abbildungsverzeichnis

Abbildungen

Abb. 3.1 : Schnitt durch die städtische Wärmeinsel (nach Oke 1987)	29
Abb. 3.2 : Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland (nach Oke 1987)	29
Abb. 3.3 : Urban Boundary Layer (UBL) und Urban Canopy Layer (UCL) einer Stadt (nach Oke 1987)	30
Abb. 3.4 : Sky view factor und Verhältnis H/W (nach Oke 1987)	30
Abb. 3.5 : Beeinflussung des städtischen Windfelds durch die Bebauung (nach Oke 1987)	30
Abb. 3.6 : Klimaszenarien europäischer Städte für das Jahr 2030 auf Basis der aktuellen Klimakarte (Hallegatte 2007)	33
Abb. 3.7 : Auswirkung von Grünflächen auf die städtische Wärmeinsel (nach Zimmermann 1984 in Fezer 1995)	36
Abb. 3.8 : Zusammenhang zwischen Vegetationsanteil und Erwärmung unterschiedlicher Siedlungstypen (nach Seitz 1974 in Fezer 1995)	37
Abb. 3.9 : Tagesgang der Temperaturkurve (Berényi 1967)	40
Abb. 3.10 : Strahlungsverhalten eines Blattes (nach Oke 1987)	49
Abb. 3.11 : Anteil an reflektierter, absorbiertes und transmittierter Strahlung eines Blattes (nach Oke 1987)	49
Abb. 3.12 : Entstehung eines Leewirbels (LW) bei dichter Vegetation (nach Oke 1987)	50
Abb. 3.13 : Entstehung eines Luftkissens (K) bei lichter Vegetation (nach Oke 1987)	50
Abb. 3.14 : Erwärmung unterschiedlicher städtischer Oberflächen im Vergleich zu Rasen (Fezer 1995)	51
Abb. 3.15 : Wärmebilanz des Menschen (nach Mayer in Laue 2009)	55
Abb. 4.1 : Konzept der water plazas (nach Jacobs 2007)	70
Abb. 4.2 : Gestaltungsvorschläge für eine Klima-flexible Stadtmöblierung (Lenzhölzer 2010)	71
Abb. 5.1 : Das Konzept 'patio-pórtico-torre' am Beispiel der Gran Mezquita de Córdoba (Jimenez-Alcalá 1999)	97
Abb. 5.2 : Plan des Patio de los Arrayanes und des Patio de los Leones von Owen Jones aus dem Jahr 1842 (in Barrucand 2002)	99
Abb. 5.3 : Der Patio de los Arrayanes (2010)	100
Abb. 5.4 : Beschattungsstudie für den Patio de los Arrayanes für verschiedene Tageszeiten am 21. Juni (Jimenez-Alcalá 1999)	100
Abb. 5.5 : Stich vom Patio de los Leones aus dem 19. Jh. (in Barrucand 2002)	101
Abb. 5.6 : Plan des Generalife mit der zentral situierten ehemaligen bailarina von H. Inigo Triggs aus dem Jahr 1913 (in Tito Rojo 1999)	104
Abb. 5.7 : Foto der ehemaligen bailarina vom Generalife aus dem Jahr 1915 (Martínez Victoria in Tito Rojo 1999)	104
Abb. 5.8 : Schematische Darstellung einer bailarina (Tito Rojo 1999)	105

Abb. 5.9 : Aktuelle bailarina im Carmen Blanco der Fundación Rodríguez-Acosta, Granada (2010)	105
Abb. 5.10 : Innenansicht der bailarina im Carmen Blanco der Fundación Rodríguez-Acosta, Granada (2010)	106
Abb. 5.11 : Der Patio de la Casa de Contratación in Sevilla (Barrucand 2002)	107
Abb. 5.12 : Abgesenkte Beetflächen im Patio de la Casa de Contratación in Sevilla (2010)	107
Abb. 5.13 : Schematischer Schnitt durch den ehemaligen Patio del Crucero im Real Alcázar de Sevilla (nach Fernández-Trujillo 2007)	109
Abb. 5.14 : Plan des Generalife (Prieto Moreno 1983)	111
Abb. 5.15 : Längsschnitt und Grundriss der Escalera del Agua im Generalife, Granada (Prieto Moreno 1983)	111
Abb. 5.16 : Blick hinab auf die Escalera del Agua im Generalife, Granada (2010)	112
Abb. 5.17 : Handlauf der Escalera del Agua im Generalife, Granada (2010)	113
Abb. 6.1 : Überblick Kapitel	119
Abb. 6.2 : Beispiel einer geschlossenen Platzsituation: Schlesinger Platz, 1080 Wien	120
Abb. 6.3 : Beispiel einer offenen Platzsituation: Meidlinger Platzl, 1120 Wien	120
Abb. 6.4 : Schematisch vereinfachte geschlossene Platzsituation	120
Abb. 6.5 : Schematisch vereinfachte offene Platzsituation	120
Abb. 6.6 : Bereiche zur Berechnung der Mittelwerte für die geschlossene Platzsituation	122
Abb. 6.7 : Bereiche zur Berechnung der Mittelwerte für die offene Platzsituation	122
Abb. 6.8 : Matrix der durchgeführten Simulationsreihen	123
Abb. 6.9 : Beispiele der unterschiedlichen Gestaltungsvarianten	124
Abb. 6.10 : Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation	127
Abb. 6.11 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die geschlossene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Kg_S15)	128
Abb. 6.12 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (Kg_NW15)	129
Abb. 6.13 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die geschlossene Platzsituation bei Westwind (Kg_W15)	129
Abb. 6.14 : Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation	130
Abb. 6.15 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)	131
Abb. 6.16 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die geschlossene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Kg_S15)	132
Abb. 6.17 : Mittlere Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation	133
Abb. 6.18 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur für die geschlossene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Kg_S15)	134

Abb. 6.19 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)	134
Abb. 6.20 : Potentielle Lufttemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation	135
Abb. 6.21 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)	136
Abb. 6.22 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (Kg_NW15)	137
Abb. 6.23 : Relative Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation	138
Abb. 6.24 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)	139
Abb. 6.25 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (Kg_NW15)	140
Abb. 6.26 : Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation	141
Abb. 6.27 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die offene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Ko_S15)	142
Abb. 6.28 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Windgeschwindigkeit für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)	143
Abb. 6.29 : Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation	144
Abb. 6.30 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die offene Platzsituation bei Westwind (Ko_W15)	145
Abb. 6.31 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Oberflächentemperatur für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)	145
Abb. 6.32 : Mittlere Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation	146
Abb. 6.33 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die mittlere Strahlungstemperatur für die offene Platzsituation bei Westwind (Ko_W15) und Nordwestwind (Ko_NW15)	147
Abb. 6.34 : Potentielle Lufttemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation	148
Abb. 6.35 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)	149
Abb. 6.36 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die potentielle Lufttemperatur für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)	150
Abb. 6.37 : Relative Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation	151
Abb. 6.38 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)	152
Abb. 6.39 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)	153
Abb. 6.40 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die relative Luftfeuchtigkeit für die offene Platzsituation bei stärkerem Südwind (Ko_S15)	153
Abb. 6.41 : PET-Werte für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation	155

Abb. 6.42 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind (Kg_S03)	156
Abb. 6.43 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die geschlossene Platzsituation bei Nordwestwind (Kg_NW15)	157
Abb. 6.44 : PET-Werte für die Nullvarianten der offenen Platzsituation	158
Abb. 6.45 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei schwachem Südwind (Ko_S03)	159
Abb. 6.46 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei stärkeren Südwind (Ko_S15)	159
Abb. 6.47 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei Nordwestwind (Ko_NW15)	160
Abb. 6.48 : Gegenüberstellung der maps zu den Auswirkungen einer vegetativen Raumbildung auf den PET-Wert für die offene Platzsituation bei Nordwestwind	161
Abb. 6.49 : Gegenüberstellung der maps zu den Auswirkungen einer vegetativen Raumbildung auf den PET-Wert für die geschlossene Platzsituation bei schwachem Südwind	162
Abb. 7.1 : Muster für die Kategorie 'Raumbildung'	171
Abb. 7.2 : Muster für die Kategorie 'Materialien'	172
Abb. 7.3 : Muster für die Kategorie 'Mikroklima'	172
Abb. 7.4 : Muster für das Datenblatt	173
Abb. 7.5 : Grundrissplan vom MFO-Park (Burckhardt + Partner)	174
Abb. 7.6 : Schnitt durch den MFO-Park (Burckhardt + Partner)	175
Abb. 7.7 : Innenansicht vom MFO-Park (Freisager)	176
Abb. 7.8 : Ansicht vom MFO-Park (Burckhardt + Partner)	176
Abb. 7.9 : Doppelwand beim nördlichen Abschluss (2010)	176
Abb. 7.10 : Datenblatt zum MFO-Park	178
Abb. 7.11 : Grundrissplan der Fondation Louis-Jeantet (Agence Ter)	179
Abb. 7.12 : Schnitt durch den Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet (Agence Ter)	179
Abb. 7.13 : Blick auf den Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet (Agence Ter)	180
Abb. 7.14 : Abgang zum Gartenhof (Agence Ter)	181
Abb. 7.15 : Datenblatt zum Gartenhof der Fondation Louis-Jeantet	182
Abb. 8.1 : Zusammenspiel der unterschiedlichen Methoden am Beispiel einer Raumbildung durch strukturell verwendete Vegetation	191

Tabellen

Tab. 2.1 : Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung der Klimawandel- und Nachhaltigkeitsdebatte im chronologischen Abriss	10
Tab. 3.1 : Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung der Forschungsgebiete von Stadtklima, Mikroklima und thermischem Wohlbefinden im chronologischen Abriss bis Anfang des 21. Jh.	27
Tab. 3.2 : Klimatische Unterschiede zwischen Stadt und Umland (nach Kuttler 2009)	28
Tab. 3.3 : Thermische Eigenschaften unterschiedlicher Materialien (nach Kuttler 2009)	48
Tab. 3.4 : Einstufung des thermischen Befindens anhand der Indizes PET und PMV (nach Mayer 2004)	59
Tab. 6.1 : Erläuterung zu den in den Simulationen verwendeten Abkürzungen	125
Tab. 6.2 : Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)	127
Tab. 6.3 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für Kg_S15 (z=1)	128
Tab. 6.4 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für Kg_NW15 (z=1)	129
Tab. 6.5 : Mittelwerte der Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=0)	131
Tab. 6.6 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Kg_S03 (z=0)	131
Tab. 6.7 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Kg_S15 (z=0)	132
Tab. 6.8 : Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)	133
Tab. 6.9 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für Kg_S15 (z=1)	134
Tab. 6.10 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für Kg_S03 (z=1)	134
Tab. 6.11 : Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)	136
Tab. 6.12 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Kg_S03 (z=1)	136
Tab. 6.13 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Kg_NW15 (z=1)	137
Tab. 6.14 : Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)	138
Tab. 6.15 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Kg_S03 (z=1)	139
Tab. 6.16 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Kg_NW15 (z=1)	140
Tab. 6.17 : Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)	141
Tab. 6.18 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für Ko_S15 (z=1)	142
Tab. 6.19 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit für Ko_NW15 (z=1)	143
Tab. 6.20 : Mittelwerte der Oberflächentemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=0)	144
Tab. 6.21 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Ko_W15 (z=0)	145
Tab. 6.22 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der Oberflächentemperatur für Ko_S03 (z=0)	145
Tab. 6.23 : Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)	146
Tab. 6.24 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der mittleren Strahlungstemperatur für Ko_W15 (z=1)	147
Tab. 6.25 : Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)	148

Tab. 6.26 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Ko_S03 (z=1)	149
Tab. 6.27 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Ko_NW15 (z=1)	150
Tab. 6.28 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der potentiellen Lufttemperatur für Ko_W15 (z=1)	150
Tab. 6.29 : Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)	151
Tab. 6.30 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Ko_S03 (z=1)	152
Tab. 6.31 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für Ko_NW15 (z=1)	153
Tab. 6.32 : Mittelwerte des PET für die Nullvarianten der geschlossenen Platzsituation (z=1)	155
Tab. 6.33 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Kg_S03 (z=1)	156
Tab. 6.34 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Kg_NW15 (z=1)	157
Tab. 6.35 : Mittelwerte des PET für die Nullvarianten der offenen Platzsituation (z=1)	158
Tab. 6.36 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Ko_S03 (z=1)	159
Tab. 6.37 : Auswirkung der Gestaltungsvarianten auf die Mittelwerte des PET für Ko_S15 (z=1)	159
Tab. 6.38 : Zusammenstellung der für den PET-Wert relevanten Daten am Beispiel Ko_NW15	161
Tab. 6.39 : Zusammenstellung der für den PET-Wert relevanten Daten am Beispiel Ko_W15	161
Tab. 6.40 : Zusammenstellung der für den PET-Wert relevanten Daten am Beispiel Kg_S03	162
Tab. 6.41 : Auswirkung der Blattdichte auf das Mikroklima bei schwachem Wind am Beispiel Ko_S03	163
Tab. 6.42 : Auswirkung der Blattdichte auf das Mikroklima bei stärkerem Wind am Beispiel Ko_NW15	163

Verzeichnis der zusätzlichen elektronischen Materialien (DVD)

Abkürzungsverzeichnis für die Simulationen

Platzsituation

Kg_	geschlossene Platzsituation (Kontext geschlossen)
Ko_	offene Platzsituation (Kontext offen)

Windbedingungen

S03_	schwacher Südwind (Süd, 0.3 m/s)
S15_	stärkerer Südwind (Süd, 1.5 m/s)
NW15_	Nordwestwind (Nord-West, 1.5 m/s)
W15_	Westwind (West, 1.5 m/s)

Gestaltungsvariante *

	Nullvariante (leere Platzsituation)
B	Baumdach (leere Platzsituation mit Baumdach)
RhVd	Hecken
RhVI bzw. RhVII	lichte Hecken
RhVdB	Hecken+Baumdach
RhVdD	Hecken+Vegetationsdach
RhM bzw. RhMx	Mauern
RhMB	Mauern+Baumdach
RhMD	Mauern+Vegetationsdach

z.B.	Kg_S03_RhVdB	geschlossene Platzsituation, schwacher Südwind, Raumbildung durch Hecken in Kombination mit einem Baumdach
	Ko_NW15	offene Platzsituation, Wind aus Nordwest, leere Platzsituation (Nullvariante)

* Abkürzungen

Rh	Raumbildung hoch
Vd	Vegetation dicht (LAD=2.500)
VI bzw. VII	Vegetation licht (LAD=1.500 bzw. 1.000)
M bzw. Mx	Mauern (<i>single walls</i> bzw. <i>building</i>)
B	Baumdach
D	alternatives Vegetations-Dach

Überblick über die durchgeführten Simulationsreihen und dargestellten *maps*

Maps zur geschlossenen Platzsituation

Simulationsreihen				dargestellte <i>maps</i> (s. DVD)					
	Kontext	Windbed.	Varianten	wind	Tsur	Tmrt	Tpot	relHum	PET
1	Kg_	S03_	Nullvariante	x	x	x	x	x	x
2			RhVd	x	x	x	x	x	x
3			RhVII	x	x	x	x	x	x
4			RhM	x	x	x	x	x	x
5			B	x	x	x	x	x	x
6			RhVdB	x	x	x	x	x	x
7			RhMB	x	x	x	x	x	x
8			RhVdD	x	x	x	x	x	x
9			RhMD	x	x	x	x	x	x
10					unvers				
11	S15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x
12			RhVd	x	x	x	x	x	x
13			RhVII				x		
14			RhMx	x	x	x	x	x	x
15			B	x	x	x	x	x	x
16			RhVdB	x	x	x	x	x	x
17			RhVdD	x	x	x	x	x	x
18	NW15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x
19			RhVd	x	x	x	x	x	x
20			RhVI	x	x	x	x	x	x
21			RhVII	x	x	x	x	x	x
22			RhMx	x	x	x	x	x	x
23			B	x	x	x	x	x	x
24			RhVdB	x	x	x	x	x	x
25			RhVdD	x	x	x	x	x	x
26	W15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x
27			RhVd	x	x	x	x	x	x
28			RhVII	x	x	x	x	x	x
29			RhM	x	x	x	x	x	x
30			B	x	x	x	x	x	x
31			RhVdB	x	x	x	x	x	x
32			RhMB	x	x	x	x	x	x
33			RhVdD	x	x	x	x	x	x
34			RhMD	x	x	x	x	x	x

Maps zur offenen Platzsituation

Simulationsreihen				dargestellte maps (s. DVD)					
	Kontext	Windbed.	Varianten	wind	Tsur	Tmrt	Tpot	relHum	PET
35	Ko_	S03_	Nullvariante	x	x	x	x	x	x
36			RhVd	x	x	x	x	x	x
37			RhVI	x	x	x	x	x	x
38			RhVII	x	x	x	x	x	x
39			RhM	x	x	x	x	x	x
40			RhMx	x	x	x	x	x	x
41			B	x	x	x	x	x	x
42			RhVdB	x	x	x	x	x	x
43			RhMB	x	x	x	x	x	x
44			RhVdD	x	x	x	x	x	x
45			RhMD	x	x	x	x	x	x
46					vers				
47		S15_	Nullvariante	x	x	x	x	x	x
48	RhVd		x	x	x	x	x	x	
49	RhVII		x	x	x	x	x	x	
50	RhMx		x	x	x	x	x	x	
51	B		x	x	x	x	x	x	
52	RhVdB		x	x	x	x	x	x	
53	RhVdD		x	x	x	x	x	x	
54		NW15_	Nullvariante	x	x	x	x	x	x
55	RhVd		x	x	x	x	x	x	
56	RhVI		x	x	x	x	x	x	
57	RhVII		x	x	x	x	x	x	
58	RhMx		x	x	x	x	x	x	
59	B		x	x	x	x	x	x	
60	RhVdB		x	x	x	x	x	x	
61	RhVdD		x	x	x	x	x	x	
62		W15_	Nullvariante	x	x	x	x		
63	RhVd		x	x	x	x	x	x	
64	RhVII		x	x	x	x	x	x	
65	RhMx		x	x	x	x	x	x	
66	B		x	x	x	x	x	x	
67	RhVdB		x	x	x	x	x	x	
68	RhVdD		x	x	x	x	x		

Detaillierte Auflistung aller maps (DVD) und der Abbildungen im Text (x)

Maps für die geschlossene Platzsituation					Abb. Text		
	Daten	Kontext	Windbed.	Varianten		s. Abb.	
1	wind_	Kg_	S03_	Nullvariante	x	6.10	Windgeschwindigkeit
2				RhVd			
3				RhVII			
4				RhM			
5				B			
6				RhVdB			
7				RhMB			
8				RhVdD			
9				RhMD			
10				unvers			
11			S15_	Nullvariante	x	6.10	
12				RhVd	x		
13				RhVII			
14				RhMx	x	6.11	
15				B	x		
16				RhVdB	x		
17				RhVdD	x		
18			NW15_	Nullvariante	x	6.10	
19				RhVd	x		
20				RhVI			
21				RhVII			
22				RhMx		6.12	
23				B	x		
24				RhVdB	x		
25				RhVdD			
26			W15_	Nullvariante	x	6.10	
27				RhVd			
28				RhVII			
29				RhM			
30				B	x	6.13	
31				RhVdB			
32				RhMB			
33				RhVdD	x		
34				RhMD			
35	Tsur_	Kg_	S03_		x	6.14	
36				RhVd	x		
37				RhVII			
38				RhM	x	6.15	
39				B			
40				RhVdB			
41				RhMB			
42				RhVdD			
43				RhMD			
44				unvers			
45			S15_	Nullvariante	x	6.14	
46				RhVd	x		
47				RhVII			
48				RhMx	x	6.16	
49				B	x		
50				RhVdB	x		
51				RhVdD	x		
52			NW15_	Nullvariante	x	6.14	
53				RhVd			
54				RhVI			
55				RhVII			
56				RhMx			
57				B			
58				RhVdB			
59				RhVdD			
60			W15_	Nullvariante	x	6.14	
61				RhVd			
62				RhVII			
63				RhM			
64				B			
65				RhVdB			
66				RhMB			
67				RhVdD			
68				RhMD			

Maps für die geschlossene Platzsituation				Abb. Text			
Daten	Kontext	Windbed.	Varianten		s. Abb.		
69	Tmrt_	Kg_	S03_	Nullvariante	X	6.17	mittlere Strahlungstemperatur
70				RhVd	x		
71				RhVII			
72				RhM	x		
73				B			
74				RhVdB			
75				RhMB			
76				RhVdD			
77				RhMD			
78				unvers			
79			S15_	Nullvariante	X	6.17	
80				RhVd			
81				RhVII			
82				RhMx	x		
83				B	x		
84	RhVdB	x					
85	RhVdD						
86			NW15_	Nullvariante	X	6.17	
87				RhVd			
88				RhVI			
89				RhVII			
90				RhMx			
91				B			
92				RhVdB			
93	RhVdD						
94			W15_	Nullvariante	X	6.17	
95				RhVd			
96				RhVII			
97				RhM			
98				B			
99				RhVdB			
100				RhMB			
101				RhVdD			
102	RhMD						
103	Tpot_	Kg_	S03_	Nullvariante	X	6.20	potentielle Lufttemperatur
104				RhVd	x		
105				RhVII			
106				RhM	x		
107				B	x		
108				RhVdB			
109				RhMB			
110				RhVdD			
111				RhMD	x		
112				unvers			
113			S15_	Nullvariante	X	6.20	
114				RhVd			
115				RhVII			
116				RhMx			
117				B			
118	RhVdB						
119	RhVdD						
120			NW15_	Nullvariante	X	6.20	
121				RhVd	x		
122				RhVI			
123				RhVII			
124				RhMx	x		
125				B	x		
126				RhVdB	x		
127	RhVdD	x					
128			W15_	Nullvariante	X	6.20	
129				RhVd			
130				RhVII			
131				RhM			
132				B			
133				RhVdB			
134				RhMB			
135				RhVdD			
136	RhMD						

Maps für die geschlossene Platzsituation				Abb. Text			
Daten	Kontext	Windbed.	Varianten		s. Abb.		
137	relHum_	Kg_	S03_	Nullvariante	X	6.23	relative Luftfeuchtigkeit
138				RhVd	x		
139				RhVII			
140				RhM	x		
141				B	x		
142				RhVdB	x		
143				RhMB			
144				RhVdD			
145				RhMD	x		
146				unvers			
147		S15_	Nullvariante	X	6.23		
148	RhVd						
149	RhVII						
150	RhMx						
151	B						
152	RhVdB						
153	RhVdD						
154		NW15_	Nullvariante	X	6.23		
155	RhVd		x				
156	RhVI						
157	RhVII						
158	RhMx		x				
159	B		x				
160	RhVdB	x					
161	RhVdD	x					
162		W15_	Nullvariante	X	6.23		
163	RhVd						
164	RhVII						
165	RhM						
166	B						
167	RhVdB						
168	RhMB						
169	RhVdD						
170	RhMD						
171	PET_	Kg_	S03_	Nullvariante	X	6.41	phys. equivalent temperature
172				RhVd			
173				RhVII			
174				RhM			
175				B	x		
176				RhVdB	x		
177				RhMB	x		
178				RhVdD			
179				RhMD			
180				unvers			
181		S15_	Nullvariante	X	6.41		
182	RhVd						
183	RhVII						
184	RhMx						
185	B						
186	RhVdB						
187	RhVdD						
188		NW15_	Nullvariante	X	6.41		
189	RhVd		x				
190	RhVI						
191	RhVII						
192	RhMx		x				
193	B		x				
194	RhVdB	x					
195	RhVdD	x					
196		W15_	Nullvariante	X	6.41		
197	RhVd						
198	RhVII						
199	RhM						
200	B						
201	RhVdB						
202	RhMB						
203	RhVdD						
204	RhMD						

Maps für die offene Platzsituation					Abb. Text							
Daten	Kontext	Windbed.	Varianten		Abb.							
205	wind_	Ko_	S03_	Nullvariante	X	6.26	Windgeschwindigkeit					
206				RhVd								
207				RhVI								
208				RhVII								
209				RhM								
210				RhMx								
211				B								
212				RhVdB								
213				RhMB								
214				RhVdD								
215				RhMD								
216				vers								
217								S15_	Nullvariante	X	6.26	
218				RhVd								
219				RhVII								
220				RhMx								
221	B											
222	RhVdB											
223	RhVdD											
224												
225			NW15_	Nullvariante	X	6.26						
226	RhVd											
227	RhVI											
228	RhVII											
229	RhMx											
230	B											
231	RhVdB											
232	RhVdD											
233			W15_	Nullvariante	X	6.26						
234	RhVd											
235	RhVII											
236	RhMx											
237	B											
238	RhVdB											
239	RhVdD											
240												
240	Tsur_	Ko_	S03_	Nullvariante	X	6.29	Oberflächentemperatur					
241				RhVd								
242				RhVI								
243				RhVII								
244				RhM								
245				RhMx								
246				B								
247				RhVdB								
248				RhMB								
249				RhVdD								
250				RhMD								
251				vers								
252								S15_	Nullvariante	X	6.29	
253				RhVd								
254				RhVII								
255				RhMx								
256	B											
257	RhVdB											
258	RhVdD											
259												
260			NW15_	Nullvariante	X	6.29						
261	RhVd											
262	RhVI											
263	RhVII											
264	RhMx											
265	B											
266	RhVdB											
267	RhVdD											
268			W15_	Nullvariante	X	6.29						
269	RhVd											
270	RhVII											
271	RhMx											
272	B											
273	RhVdB											
274	RhVdD											
275												

Maps für die offene Platzsituation					Abb. Text					
Daten	Kontext	Windbed.	Varianten		Abb.					
273	Tmrt_ Ko_ S03_	S03_	Nullvariante	x	6.32	mittlere Strahlungstemperatur				
274			RhVd							
275			RhVI							
276			RhVII							
277			RhM							
278			RhMx							
279			B							
280			RhVdB							
281			RhMB							
282			RhVdD							
283			RhMD							
284			vers							
285			S15_	S15_			Nullvariante	x	6.32	
286							RhVd			
287							RhVII			
288	RhMx									
289	B									
290	RhVdB									
291	NW15_	NW15_	Nullvariante	x	6.32					
292			RhVd							
293			RhVI							
294			RhVII							
295			RhMx							
296			B							
297	W15_	W15_	Nullvariante	x	6.32					
298			RhVd							
299			RhVII							
300			RhMx							
301			B							
302			RhVdB							
303	W15_	W15_	Nullvariante	x	6.33					
304			RhVd							
305			RhVII							
306			RhMx							
307			B							
308			RhVdB							
309	Tpot_ Ko_ S03_	S03_	Nullvariante	x	6.34	potentielle Lufttemperatur				
310			RhVd							
311			RhVI							
312			RhVII							
313			RhM							
314			RhMx							
315			B							
316			RhVdB							
317			RhMB							
318			RhVdD							
319			RhMD							
320			vers							
321			S15_	S15_			Nullvariante	x	6.34	
322							RhVd			
323							RhVII			
324	RhMx									
325	B									
326	RhVdB									
327	NW15_	NW15_	Nullvariante	x	6.34					
328			RhVd							
329			RhVI							
330			RhVII							
331			RhMx							
332			B							
333	W15_	W15_	Nullvariante	x	6.36					
334			RhVd							
335			RhVII							
336			RhMx							
337			B							
338			RhVdB							
339	W15_	W15_	Nullvariante	x	6.34					
340			RhVd							
341			RhVII							
342			RhMx							
343			B							
344			RhVdB							
345	W15_	W15_	Nullvariante	x	6.34					
346			RhVd							
347			RhVII							
348			RhMx							
349			B							
350			RhVdB							
351	W15_	W15_	Nullvariante	x	6.34					
352			RhVd							
353			RhVII							
354			RhMx							
355			B							
356			RhVdB							

Maps für die offene Platzsituation					Abb. Text		
	Daten	Kontext	Windbed.	Varianten		Abb.	
341	relHum_	Ko_	S03_	Nullvariante	x	6.37	relative Luftfeuchtigkeit
342				RhVd	x		
343				RhVI			
344				RhVII			
345				RhM	x		
346				RhMx			
347				B	x	6.38	
348				RhVdB	x		
349				RhMB	x		
350				RhVdD			
351				RhMD			
352				vers			
353			S15_	Nullvariante	x	6.37	
354				RhVd			
355				RhVII			
356				RhMx			6.40
357				B	x		
358				RhVdB	x		
359				RhVdD			
360			NW15_	Nullvariante	x	6.37	
361				RhVd	x		
362				RhVI			
363				RhVII			
364				RhMx	x		6.39
365				B	x		
366				RhVdB	x		
367				RhVdD	x		
368			W15_	Nullvariante	x	6.37	
369				RhVd			
370				RhVII			
371				RhMx			
372				B			
373				RhVdB			
374				RhVdD			
375	PET_	Ko_	S03_	Nullvariante	x	6.44	phys. equivalent temperature
376				RhVd			
377				RhVI			
378				RhVII			
379				RhM			
380				RhMx			
381				B			
382				RhVdB		6.45	
383				RhMB			
384				RhVdD	x		
385				RhMD	x		
386				vers			
387			S15_	Nullvariante	x	6.44	
388				RhVd	x		
389				RhVII			
390				RhMx	x		6.46
391				B	x		
392				RhVdB			
393				RhVdD			
394			NW15_	Nullvariante	x	6.44	
395				RhVd			
396				RhVI			
397				RhVII			
398				RhMx			6.47
399				B	x		
400				RhVdB	x		
401				RhVdD			
402			W15_	Nullvariante			
403				RhVd			
404				RhVII			
405				RhMx			
406				B			
407				RhVdB			
408				RhVdD			

Überblick zu den Tabellen der berechneten Mittelwerte

Mittelwerte zur geschlossenen Platzsituation

Simulationsreihen				berechnete Mittelwerte (s. DVD)					
	Kontext	Windbed.	Varianten	wind	Tsur	Tmrt	Tpot	relHum	PET
1	Kg_	S03_	Nullvariante	x	x	x	x	x	x
2			RhVd	x	x	x	x	x	x
3			RhVII						
4			RhM	x	x	x	x	x	x
5			B	x		x	x	x	x
6			RhVdB	x		x	x	x	x
7			RhMB	x		x	x	x	x
8			RhVdD	x		x	x	x	x
9			RhMD	x		x	x	x	x
10					unvers	x	x	x	x
11	S15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x
12			RhVd	x	x	x			
13			RhVII						
14			RhMx	x	x	x			
15			B	x	x	x			
16			RhVdB	x	x	x			
17			RhVdD	x	x	x			
18	NW15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x
19			RhVd	x		x	x	x	x
20			RhVI						
21			RhVII						
22			RhMx	x		x	x	x	x
23			B	x		x	x	x	x
24			RhVdB	x		x	x	x	x
25			RhVdD	x		x	x	x	x
26	W15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x
27			RhVd						
28			RhVII						
29			RhM						
30			B						
31			RhVdB						
32			RhMB						
33			RhVdD						
34			RhMD						

Mittelwerte zur offenen Platzsituation

Simulationsreihen				berechnete Mittelwerte (s. DVD)							
	Kontext	Windbed.	Varianten	wind	Tsur	Tmrt	Tpot	relHum	PET		
35	Ko_	S03_	Nullvariante	x	x	x	x	x	x		
36			RhVd	x	x	x	x	x	x		
37			RhVI	x		x		x			
38			RhVII	x		x		x			
39			RhM	x	x	x	x	x	x		
40			RhMx			x	x		x		
41			B	x		x	x	x	x		
42			RhVdB	x	x	x	x	x	x		
43			RhMB	x		x	x	x	x		
44			RhVdD	x		x	x	x	x		
45			RhMD	x	x	x	x	x	x		
46			vers	x	x	x	x	x	x		
47			S15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x
48					RhVd	x		x	x	x	x
49	RhVII										
50	RhMx	x				x	x	x	x		
51	B	x				x	x	x	x		
52	RhVdB										
53	RhVdD										
54	NW15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x		
55			RhVd	x		x	x	x	x		
56			RhVI	x		x	x	x	x		
57			RhVII	x		x	x	x	x		
58			RhMx	x		x	x	x	x		
59			B	x		x	x	x	x		
60			RhVdB	x		x	x	x	x		
61			RhVdD	x		x	x	x	x		
62	W15_		Nullvariante	x	x	x	x	x	x		
63			RhVd	x	x	x	x	x	x		
64			RhVII								
65			RhMx	x	x	x	x	x	x		
66			B	x	x	x	x	x	x		
67			RhVdB		x	x	x				
68			RhVdD			x	x				

Muster für das Datenblatt

PROJEKTDATEN	TITEL			
Ort städtebaulicher Kontext Auftraggeber/innen Planer/innen Fertigstellung Gesamtfläche Baukosten in Euro ca.				
Foto:				
RAUMBILDUNG				
Raumbildung durch <input type="checkbox"/> Architektur <input type="checkbox"/> Vegetation <input type="checkbox"/> Absenkung <input type="checkbox"/> Teilaspekt *				
Kurzbeschreibung <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> Charakter Dimension Funktion </div>				
* z.B. vertikale Vegetations- oder Wasserelemente				
MATERIALIEN				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top; padding-right: 10px;"> Boden <input type="checkbox"/> versiegelt <input type="checkbox"/> unversiegelt Kurzbeschreibung </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top; padding-right: 10px;"> Vegetation <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> strukturell <input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh. <input type="checkbox"/> Bäume </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Wasser <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt <input type="checkbox"/> strukturell </td> </tr> </table>		Boden <input type="checkbox"/> versiegelt <input type="checkbox"/> unversiegelt Kurzbeschreibung	Vegetation <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> strukturell <input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh. <input type="checkbox"/> Bäume	Wasser <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt <input type="checkbox"/> strukturell
Boden <input type="checkbox"/> versiegelt <input type="checkbox"/> unversiegelt Kurzbeschreibung	Vegetation <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> strukturell <input type="checkbox"/> bodenabh. <input type="checkbox"/> unabh. <input type="checkbox"/> Bäume	Wasser <input type="checkbox"/> flächig <input type="checkbox"/> unbewegt <input type="checkbox"/> bewegt <input type="checkbox"/> strukturell		
MIKROKLIMA				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top; padding-right: 10px;"> Beschattung durch <input type="checkbox"/> Wände <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Überdachung <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter Kurzbeschreibung </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top; padding-right: 10px;"> Einflussnahme auf Wind <input type="checkbox"/> Windschutz <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Ventilation </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Weitere ** </td> </tr> </table>		Beschattung durch <input type="checkbox"/> Wände <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Überdachung <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter Kurzbeschreibung	Einflussnahme auf Wind <input type="checkbox"/> Windschutz <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Ventilation	Weitere **
Beschattung durch <input type="checkbox"/> Wände <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Überdachung <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter Kurzbeschreibung	Einflussnahme auf Wind <input type="checkbox"/> Windschutz <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Ventilation	Weitere **		
** z.B. bes. thermische Eigenschaften / Feuchtigkeit				
ANMERKUNGEN	PLANUNTERLAGEN			
Pläne:				



Lebenslauf

- 1971 geboren in Hannover, Deutschland
- 1991-1997 Studium der Landschaftsarchitektur an der TU Hannover
- 1997 Abschluss als Diplom-Ingenieurin (Dipl.-Ing.)
- 1998 - 2004 freie Mitarbeit in diversen Landschaftsarchitekturbüros in Wien (Auböck und Kárász, Anna Detzlhofer, Brigitte Mang)
Mitarbeit an Projekten mit unterschiedlichen Schwerpunkten: von der Landschaftsarchitektur über landschaftsplanerische Konzepte bis zu gartendenkmalpflegerischen Arbeiten
- 2004 - 2006 freiberufliche Tätigkeit in Andalusien, Spanien
- seit 2006 Lehr- und Forschungstätigkeit am Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen an der TU Wien
Vorträge auf internationalen Fachtagungen und Publikationen zu den Themen Stadtklima und urbane Landschaftsarchitektur
- seit 2010 eingebunden in das Forschungsprojekt FREIRAUM UND MIKROKLIMA zur Seestadt Aspern (Haus der Zukunft Plus)
- seit 2011 eingebunden in das Forschungsprojekt URBAN FABRIC TYPES AND MICROCLIMATE RESPONSE – ASSESSMENT AND DESIGN IMPROVEMENT (Austrian Climate Research Programme)