

CONTUREC 4

Die Natur der Stadt im Wandel des Klimas

- eine Herausforderung für Ökologie und Planung -

Reinhard Böcker (Hrsg.)

Tagungsbeiträge der 4. Tagung des

Kompetenznetzwerkes Stadtökologie CONTUREC

vom 30.09. bis 02.10.2010 in Stuttgart

Schriftenreihe des Kompetenznetzwerkes Stadtökologie

Darmstadt 2011

CONTUREC: Schriftenreihe des Kompetenznetzwerkes Stadtökologie
Verantwortlich für die Hrsg. Peter Werner – Darmstadt
ISSN: 1862-0175
NE: Kompetenznetzwerk Stadtökologie; Werner, Peter [Hrsg.]

**Die Natur der Stadt im Wandel des Klimas
- eine Herausforderung für Ökologie und Planung -**
Tagungsbeiträge der 4. Tagung des
Kompetenznetzwerkes Stadtökologie CONTUREC
vom 30.09. bis 02.10.2010 in Stuttgart
ISSN: 1862-0175
NE: Böcker, Reinhard [Hrsg.]

©2011 Kompetenznetzwerk Stadtökologie

Verantwortlich für die Herausgabe von CONTUREC:
Peter Werner
Geschäftsstelle des Kompetenznetzwerkes Stadtökologie
Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Rheinstraße 65, D-64295 Darmstadt

Titelfoto: Reinhard Böcker

Vorwort

Die rapide fortschreitende Urbanisierung weltweit führte und führt zu gavierenden Veränderungen der globalen Umweltbedingungen, wobei der Klimawandel zurzeit die größte Herausforderung darstellt. Der globale Klimawandel wird gleichzeitig das städtische Klima und damit auch das Leben in den Städten nachhaltig verändern. Es wird Veränderungen in den Lebensbedingungen geben, und zwar sowohl für die Menschen in der Stadt als auch für alle sonstigen Lebewesen. Die ökologischen Grundlagen der städtischen Lebensbedingungen wie Wasser, Boden und Luft werden genauso einen Wandel erfahren, wie die Qualität der städtischen Frei- und Grünflächen. Vegetation und die Nutzbarkeit der Frei- und Grünflächen wird sich an ein neues Stadtklima anpassen müssen. Aus Beobachtungen der letzten Jahrzehnte lässt sich beispielsweise der Wandel der Flora vieler Städte gut dokumentieren. Für die 4. CONTUREC-Tagung ist bewusst Stuttgart-Hohenheim als Tagungsort gewählt worden, da in Stuttgart sowohl eine lange Tradition der stadtklimatischen Forschung als auch der stadtplanerischen Auseinandersetzung mit den Besonderheiten des Stadtklimas existiert.

Die 4. CONTUREC-Tagung griff insbesondere die Aspekte des erwarteten Klimawandels auf, stellte die zu erwartenden klimatologischen und ökologischen Veränderungen in den Städten dar, ging dabei unterschiedlichen Fragestellungen nach und beleuchtete diese aus den verschiedensten Blickwinkeln.

Welche Beiträge können bezüglich Resilienz und Mitigation durch Stadtplanung, aber vor allem durch Grün- und Landschaftsplanung bzw. -gestaltung geleistet werden? Wie wird die Anpassungsfähigkeit der Organismen in der Stadt eingeschätzt? Wie wirken sich zunehmende sommerliche Hitzeperioden auf die menschliche Gesundheit aus?

Welche besonderen ökologischen Risiken und Probleme, vor allem in Bezug auf die Freiräume entstehen durch schnelle klimatische Änderungen in den Städten in Deutschland? Wo muss umgedacht werden, z. B. in Bezug auf Sicherung und Gestaltung von Brachflächen, Baumanpflanzungen, Habitaterhaltung usw.?

Welche Funktion haben Böden in der Stadt für den Klimaausgleich?

Was bedeutet Hitzestress im Hinblick auf die Gesundheit der Menschen, wie kann dagegen gewirkt werden und was ist bereits jetzt in Angriff genommen worden?

Die Rednerinnen und Redner der Tagung griffen viele der genannten Aspekte auf und stellten ihre Erkenntnisse und Lösungsansätze vor. Die in diesem Tagungsband vorliegenden Beiträge haben auch die Diskussionsbeiträge während der Tagung berücksichtigt.

Der Herausgeber hofft, dass dieser Band einen kleinen Beitrag leisten kann, die Planung der konkreten Umwelt einer zunehmend großen Zahl von Städten auf eine solide Basis zu stellen, indem unter anderem die ökologischen Belange für ein gesundes Milieu zunehmend berücksichtigt werden. Stadtplanung in Zeiten des Klimawandels ist besonders gefordert, die hier aufgeführten Ziele und Ideen für eine Verbesserung städtischer Lebensräume in ihre Konzepte und Umsetzungen für die gebaute Realität zu integrieren.

Stuttgart im Oktober 2011

Reinhard Böcker

*Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie,
Universität Hohenheim*

DIE NATUR DER STADT IM WANDEL DES KLIMAS - EINE HERAUSFORDERUNG FÜR ÖKOLOGIE UND PLANUNG -

INHALT

REINHARD BÖCKER

Vorwort zum vierten Heft der Schriftenreihe CONTUREC

- STEPHAN PAULEIT**5
Stadtplanung im Zeichen des Klimawandels: nachhaltig, grün und anpassungsfähig
Urban planning facing climate change: sustainable, green and resilient
- HELMUT MAYER und JUTTA HOLST**27
Hitze stress im Stadtquartier
Heat stress within urban quarter
- JAN KOLODZIEJ**37
Zunehmende sommerliche Hitzeperioden und deren Auswirkungen auf die menschliche
Gesundheit im Kontext der Raumplanung – Vulnerabilitätsanalyse und Raum-
entwicklungsstrategien für die MORO-Region Westsachsen
*Increasing summer hot spells and their effects on human health in the context of
spatial planning - vulnerability assessment and spatial development strategies
for the MORO-Region Westsachsen (Western Saxony)*
- RAINER KAPP / ULRICH REUTER**.....53
Stadtklima und Planung in Stuttgart
Urban climate and planning in Stuttgart
- KATRIN RITTEL, CHRISTIAN WILKE, STEFAN HEILAND**.....67
Anpassung an den Klimawandel in städtischen Siedlungsräumen –
Wirksamkeit und Potenziale kleinräumiger Maßnahmen in verschiedenen Stadtstrukturtypen.
Dargestellt am Beispiel des Stadtentwicklungsplans Klima in Berlin
*Adaptation to climate change in urban settlement areas –
Effectiveness and potentials of small-scale measures in different urban structures.
The example of the Berlin ‘Urban Development Plan on Climate’*
- JULIANE MATHEY, STEFANIE RÖBLER, IRIS LEHMANN, ANNE BRÄUER , VALERI GOLDBERG** 79
Anpassung an den Klimawandel durch Stadtgrün – klimatische Ausgleichspotenziale
städtischer Vegetationsstrukturen und planerische Aspekte
*Adaptation to climate change by urban green spaces – cooling effects of urban vegetation
structures and planning aspects*
- ALICE KUBE**89
Die Natur der Stadt im Spiegel aktueller politischer Strategien auf Bundesebene
Current federal political strategies in Germany focussing on nature in cities

INGO HETZEL	101
Ausbreitung nicht-einheimischer Zier- und Nutzgehölze in urbanen Wäldern im Ruhrgebiet - eine Auswirkung der Klimaerwärmung? <i>Expansion of non-native ornamental and agricultural woody species in urban forests in the Ruhr Basin – an effect of climate change ?</i>	
GÖTZ HEINRICH LOOS	113
Ändert sich die Stad flora? Ergebnisse 25jähriger Beobachtungen im Ruhrgebiet <i>Changes in urban flora? Results from studies in the Ruhrgebiet (Germany, Northrhine-Westphalia) over 25 years</i>	
THOMAS JUNGHANS	119
Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Mannheimer Flora unter besonderer Berücksichtigung populationsbiologischer Aspekte <i>Possible consequences of climate change on the flora of Mannheim with special reference to aspects of plant population biology</i>	
MATTHIAS LAMPERT	127
Cooler Plätze – historische Vorbilder, aktuelle Trends Beiträge der Landschaftsarchitektur zur Anpassung an den Klimawandel <i>Cool places – historic examples, new tendencies. How landscape architecture contributes to the adaption of climate change</i>	

Stadtplanung im Zeichen des Klimawandels: nachhaltig, grün und anpassungsfähig

Urban planning facing climate change: sustainable, green and resilient

STEPHAN PAULEIT

Zusammenfassung

Der Klimawandel stellt Städte vor große Herausforderungen. Besonders die Städte der westlichen Welt müssen ihre Treibhausgasemissionen vermindern. Sie werden zukünftig aber auch von häufigeren und längeren Hitzewellen, Orkanen und Starkregenereignissen, Überschwemmungen und dem steigenden Meeresspiegel betroffen sein. Die Stadtplanung spielt für Klimaschutz- und -anpassung eine herausragende Rolle. Die Unsicherheit der Vorhersagen stellt sie aber vor besondere Herausforderungen. Anpassungsstrategien sollten daher besonders darauf abzielen, die „Resilienz“ des Stadtsystems zu erhöhen, um unvorhersehbare und möglicherweise drastischen Klimafolgen bewältigen zu können.

Die Entwicklung eines multifunktionalen, räumlich vernetzten Systems von Grünflächen kann als „grüne Infrastruktur“ einen wesentlichen Beitrag zur städtischen Resilienz und Anpassung an den Klimawandel leisten. Grünflächen vermindern die innerstädtische Überwärmung an heißen Sommertagen und erhöhen die Niederschlagsversickerung. Die Ergebnisse eines Forschungsprojekts in Manchester (Großbritannien) zeigen, dass eine Erhöhung des Grünflächenanteils auch die klimawandelbedingten Temperaturerhöhungen weitgehend ausgleichen könnte. In geringerem Umfang tragen Grünflächen auch zum Klimaschutz durch die Speicherung von Kohlenstoff bei. Die Entwicklung der grünen Infrastruktur erfordert umfassende Strategien, die öffentliche und private Grünflächen einschließen. Zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung bestehen enge Wechselwirkungen (Synergien und Konflikte), die aber bisher in Forschung und Praxis noch kaum systematisch aufgegriffen worden sind. Mögliche Zielkonflikte zwischen dem räumlichen Leitbild der kompakten Stadt, die zum Klimaschutz beiträgt und der grünen, klimaangepassten Stadt werden diskutiert.

Klimawandel, Grüne Infrastruktur, Stadtplanung

Summary

In particular cities of the western world need to drastically reduce emissions of greenhouse gasses but urban areas are also particular vulnerable to climate change. More frequent and more intense heat waves, hurricanes and rainstorm events, riverine flooding and rising sea levels will all have a negative impact on urban areas.

Urban planning is crucial both for mitigation of and adaptation to climate change. Uncertainty of climate change scenarios poses particular challenges, however. Therefore, strategies for adaptation should concentrate on increasing the resilience of urban areas, in order to better cope with unpredictable and possibly dramatic climate change.

The development of a green infrastructure, i.e. a multifunctional greenspace network, can be an effective strategy for adaptation of cities to climate change. If well planned and designed, it can mitigate the urban heat island effect and retain and infiltrate stormwater. Results from a research project in Greater Manchester (UK) showed that an increase of green cover would offset the temperature increase even in the worst scenario. The contribution of green spaces to mitigation strategies by capturing and storing carbon and by reducing energy demand of buildings is much more modest, on the other hand. Development of the green infrastructure requires far reaching strategies, covering both public and private green spaces. Overall, the potential synergies and conflicts between mitigation and adaptation strategies need to be carefully examined.

1. Klimawandel als Herausforderung für die Stadtentwicklung

Klimawandel findet bereits statt. Seit Beginn der Industrialisierung haben sich die Lufttemperaturen über den Landflächen im globalen Durchschnitt um 1,0° C, in Europa sogar um 1,2° C erhöht (EEA 2008). Je nach Emissions-szenario wird von einer weiteren Erhöhung der Lufttemperaturen in Europa im Jahresdurchschnitt zwischen 1,0° C bis zu 5,5° C bis ins Jahr 2100 gegenüber dem vorindustriellen Wert ausgegangen.

Klimawandel und der global zu beobachtende Prozess der Verstädterung sind eng miteinander verbunden. Bereits heute leben 50 % der menschlichen Bevölkerung auf der Erde in städtischen Siedlungen. In den nächsten 40 Jahren wird sich der städtische Bevölkerungsanteil fast noch einmal verdoppeln. Drei Milliarden Menschen werden dann zusätzlich in Städten leben (UN 2008). Für den Klimaschutz

spielen Städte eine entscheidende Rolle, denn sie werden für etwa 80 Prozent der globalen Kohlendioxidemission verantwortlich gemacht (Oke 1997, O'Meara 1998, siehe zu diesen Zahlen aber auch die Kritik von Satterthwaite 2008). Im Wesentlichen sind dies die Städte der hochindustrialisierten Länder und in zunehmenden Maße auch der Schwellenländer wie China und Indien.

Es gibt inzwischen auch eine große Zahl von Erkenntnissen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die ökologischen Systeme der Erde (Rosenzweig et al. 2008). Die europäische Gemeinschaft wird vor allem durch die regional unterschiedliche Zunahme von Naturrisiken wie steigender Meeresspiegel, zunehmende Anzahl von Hitzeperioden Dürreperioden aber auch Überschwemmungen betroffen werden (CEC 2007, EEA 2008). Nach derzeitigem Kenntnisstand wird sich der Klimawandel in Mitteleuropa vergleichsweise moderat auswirken, während Südeuropa und auch der hohe Norden deutlich stärker betroffen sind.

Tabelle 1: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels in Städten (global) (nach Wilbanks et al. 2007)

Klimawandel	Auswirkung auf Städte
Änderung der mittleren klimatischen Verhältnisse	
Temperaturerhöhung und Verstärkung des Wärmeinseleffekts	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Energiebedarf für Klimatisierung • Schlechtere Luftqualität
Niederschlag (Zu- oder Abnahme)	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhtes Überschwemmungsrisiko • Größere Gefahr von Hangrutschungen • Verstärkte Zuwanderung aus ländlichen Gebieten • Gefährdung der Nahrungsmittelversorgung von Städten
Meeresspiegelanstieg	<ul style="list-style-type: none"> • Überschwemmung küstennaher Bereiche • Geringere Einnahmen aus Landwirtschaft und Tourismus
Zunahme der Extremereignisse	
Extreme Niederschlagsereignisse/ tropische Wirbelstürme	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkere Überschwemmungen • Höheres Risiko von Hangrutschungen • Beeinträchtigung der Lebensunterhalts der Bevölkerung und der ökonomischen Prozesse in der Stadt • Beschädigung von Häusern, Infrastrukturen und Wirtschaftsunternehmen
Dürre	<ul style="list-style-type: none"> • Wassermangel • Höhere Lebensmittelpreise • Beeinträchtigung der Stromerzeugung durch Wasserkraft • Verstärkte Zuwanderung aus besonders betroffenen ländlichen Gebieten
Hitzewellen/ Kältewellen	<ul style="list-style-type: none"> • Energiespitzen für Klimaanlage bzw. Raumheizungen • Gesundheitsbelastungen der Bevölkerung
Sprunghafter Klimawandel	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche gravierende Auswirkungen eines plötzlichen Anstiegs des Meeresspiegels • Mögliche gravierende Auswirkungen eines plötzlichen starken Anstiegs der Lufttemperaturen
Veränderung der Exposition	
Bevölkerungsbewegungen	<ul style="list-style-type: none"> • von betroffenen ländlichen Gebieten
Biologische Veränderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbreitung von Krankheitserregern

Städte werden vom Klimawandel in besonderer Weise betroffen werden (Tabelle 1). Weltweit sind vor allem die schnellwachsenden städtischen Agglomerationen in Küstennähe vom Klimawandel gefährdet (De Sherbinin et al. 2007, McGranahan et al. 2007). Gefährdungen sind für Städte in Mitteleuropa in erster Linie durch den steigenden Meeresspiegel, zunehmende Hochwassergefahren an Flüssen, erhöhte Lufttemperaturen sowie veränderte Niederschlagsverhältnisse zu erwarten (EEA 2008). Positive Effekte des Klimawandels wie etwa eine geringere Wintermortalität der Bevölkerung, verringerter Heizenergiebedarf und eine verlängerte Vegetationsperiode werden durch die negativen Folgen des Klimawandels überwogen, etwa die erhöhte Mortalität durch Hitzewellen im Sommer (EEA 2008). Problematisch sind dabei weniger die durchschnittlichen Änderungen der klimatischen Verhältnisse als die deutliche Zunahme der Extremereignisse. So könnten sich in Mitteleuropa nicht nur die Jahresdurchschnittstemperaturen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 5,5° C erhöhen, sondern auch die Häufigkeit und Stärke von Hitzewellen deutlich zunehmen. Die Anzahl von sog. tropischen Nächten, in denen die Minimumtemperaturen nicht unter 20° C fallen, und die für Menschen besonders belastend sind, könnten sich in Mitteleuropa den heutigen Verhältnissen im Mittelmeerraum annähern (EEA 2008). Eine Vorstellung von den möglichen Konsequenzen sommerlicher Hitzewellen vermittelte der Sommer 2003, in dem nach Schätzungen bis zu 70000 Menschen zusätzlich in Europa starben (Robine et al. 2003). Auch für Berlin konnte gezeigt werden, dass sich Hitzewellen stärker auf die Mortalität der Bevölkerung in der Stadt als auf dem Lande auswirken (Gabriel und Endlicher, 2011). Betroffen waren jeweils besonders ältere Menschen mit gesundheitlichen Vorbelastungen und Kleinkinder. Der Anteil dieser Risikogruppen ist in sozioökonomisch benachteiligte Schichten der Bevölkerung besonders hoch. Wer es sich finanziell erlauben kann, mag sich eine Klimaanlage einbauen, doch dies wird den Energieverbrauch in die Höhe treiben. Für Städte in den USA wurde geschätzt, dass der Spitzenenergiebedarf um 2-4 % steigt, wenn sich die Tageshöchsttemperaturen um 1° C erhöhen (Akbari et al. 2001). Der Wärmeinseleffekt kann nicht die Gesundheit von Menschen in der Stadt gefährden, sondern auch ihr Wohlbefinden beeinträchtigen. Menschen können sich an eine Vielzahl

von unterschiedlichen Klimaten und Witterungsbedingungen anpassen. Was in städtischen Freiräumen als angenehm bzw. belastend empfunden wird, ist nicht nur von messbaren Klimavariablen sondern maßgeblich auch von der kulturellen Prägung, der körperlichen und psychischen Verfassung, der Kleidung und der Tätigkeit abhängig (Nikolopoulou and Steemers, 2003; Knez and Thorsson, 2006). Die Humanbiometeorologie hat eine Reihe von sog. „Thermischen Komfortindizes wie PMV (Predicted Mean Vote), PET (Physiological Equivalent Temperature) und UTCI (Universal Thermal Comfort Index) entwickelt, um diese komplexen Sachverhalte bewerten zu können (z. B. Jendritzky 2008). Zu befürchten ist, dass sich durch den Klimawandel die Anzahl der Perioden mit Hitzestress stark erhöhen wird und davon vor allem sozioökonomisch benachteiligte Bevölkerungsgruppen betroffen sein werden (Wilson et al., 2008). Wenn sich die derzeitigen Tendenzen der Polarisierung zwischen arm und reich fortsetzen, ist mit einem deutlichen Anstieg dieser Bevölkerungsgruppen zu rechnen (Lindley et al., 2006). Bislang gibt es aber, von wenigen Ausnahmen abgesehen (z. B. Katzschner 2011) noch keine räumlich hochauflösenden Szenarien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die thermischen Komfortverhältnisse in städtischen Freiräumen. Steigende Lufttemperaturen können zusätzlich auch zu gesundheitlichen Belastungen durch höhere Ozonkonzentrationen in der Luft führen. Für Los Angeles wurde geschätzt, dass der städtische Wärmeinseleffekt (s.u.) die Ozonkonzentrationen um 10-15 % erhöht (USEPA 2001). Seine weitere Verstärkung würde auch die Ozonkonzentration bei gleicher Emissionssituation weiter in die Höhe treiben.

Auch bei den Niederschlägen sind vor allem die zunehmende Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen von Belang, die zu örtlichen Überlastungen der Kanalisation, bis hin zur Überflutung von Straßen und Häusern führen können. In Dänemark nahm die Intensität der Starkregenereignisse mit einer zehnjährigen Wiederkehrhäufigkeit in den letzten 30 Jahren bereits um etwa 10 % zu (Madsen et al. 2009). Nach Modellrechnungen ist eine weitere Verstärkung um 20 % bis zum Ende des 21. Jahrhunderts möglich (DMI 2007). Andererseits werden auch Dürreperioden zunehmen, in den es zu Engpässen in der Trinkwasserversorgung und Wassermangel für das Stadtgrün kommen kann (EEA 2008, Gill et al. 2007).

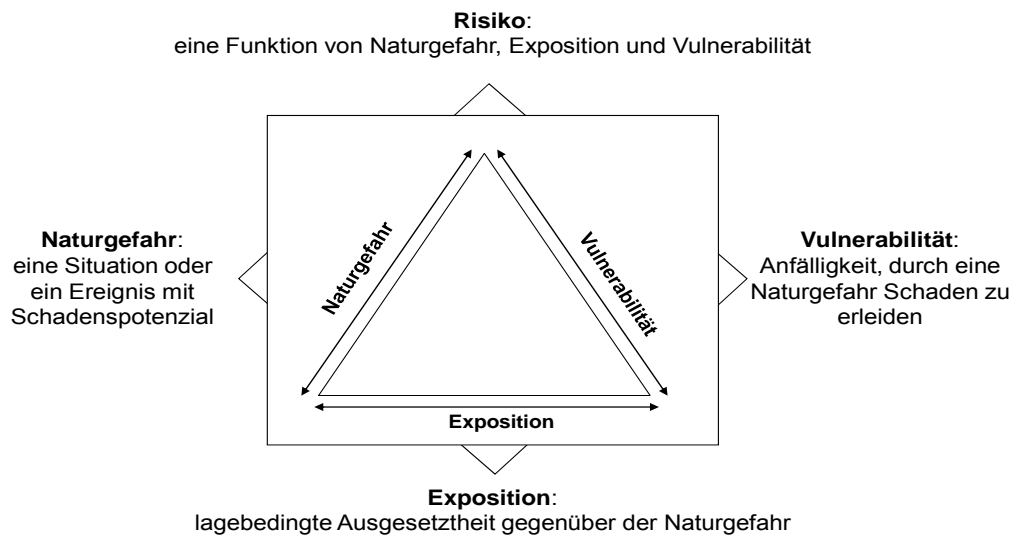


Abb. 1: Das Risikodreieck (nach Crichton 2001, verändert): Das Risiko der Städte, vom Klimawandel betroffen zu werden, ist eine Funktion der Naturgefahren (Stärke und Häufigkeit), der städtischen Exposition und der Anfälligkeit („Vulnerabilität“) der Stadt gegenüber diesen Naturgefahren. Die Vulnerabilität wird von physischen, soziodemographischen und ökonomischen Merkmalen beeinflusst.

Die Folgen des Klimawandels für die Städte sind nicht nur davon abhängig, in welchem Ausmaß Naturgefahren häufiger werden und sich verstärken. Hierauf kann die Stadtplanung nur indirekt und langfristig durch Maßnahmen des Klimaschutzes einwirken. Sie kann demgegenüber vor allem die städtische Exposition und ihre Anfälligkeit gegenüber den unterschiedlichen Naturgefahren beeinflussen (Crichton 2001, Abb. 1).

Die Anfälligkeit der Städte gegenüber dem Klimawandel ist nicht nur eine Folge der Lage in Risikozonen und der hohen Bevölkerungsdichte, sondern auch eine Folge ihrer physischen, soziodemographischen und ökonomischen Struktur und Dynamik (auf letztere kann in diesem Aufsatz trotz ihrer großen Bedeutung nicht weiter eingegangen werden, siehe dazu z. B. Pelling 2003 in einer globalen Perspektive). Durch den hohen Anteil an bebauten oder anderweitig versiegelten Flächen, die vegetationsbedeckte Flächen ersetzt haben,

sind die klimatischen Verhältnisse in der Stadt bereits deutlich gegenüber dem Umland verändert. Die Lufttemperaturen sind in großen Städten gegenüber dem Umland um 1-2° C im Jahresdurchschnitt erhöht, an heißen Sommertagen können die Temperaturunterschiede nachts sogar 6-10° C erreichen (Landsberg 1981, Oke 1987). Dieser Wärmeinseleffekt wird sich durch den Klimawandel voraussichtlich noch verstärken, wie beispielsweise Modellberechnungen für London gezeigt haben (Wilby 2007). Betroffen sind vor allem dicht bebaute Stadtquartiere mit schlechter Grün- ausstattung, in denen meist sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen leben (Schwarz und Seppelt 2009, Lindley et al. 2006). Auch der erhöhte oberflächliche Abfluss von Niederschlagswasser wird durch die Flächenversiegelung bedingt, während das Regenwasser in Grünflächen versickern kann.

2. Die Rolle der Stadtplanung Klimaschutz und Klimaanpassung

Planung spielt eine entscheidende Rolle bei Klimaschutz und –anpassung (IPCC 2007). Durch die Steuerung der Stadtentwicklung (Flächennutzung, Dichte und Art der Bebauung, Entwicklung eines leistungsfähigen Grünflächensystems, Lokalisierung öffentlicher Einrichtungen und Infrastrukturen, dazu Regulierung des Bodenmarktes, Baunormen, Fördermaßnahmen etwa für erneuerbare Energien, u.a.m.) können der Energieverbrauch und damit die Treibhausgasemissionen gesenkt werden (Blanco et al., 2009). Im Mittelpunkt der planerischen Überlegungen steht das Ziel der kompakten Stadt, die weniger Energie verbraucht als Städte mit niedriger Bevölkerungsdichte (Newmann and Kenworthy 1998, Jenks and Jones 2010).

Wie groß dabei die Herausforderung ist, den gegenwärtigen Tendenzen des Flächenwachstums der Städte entgegenzuwirken, belegen Zahlen der Europäischen Umweltagentur, nach der sich die Stadtfläche zwischen 1950 und 1990 durchschnittlich um 78 % ausgedehnt hat, während die Bevölkerungszahl im selben Zeitraum lediglich um 33 % zunahm (EEA 2006). Dieser Trend hat sich bis heute fortgesetzt, wie neuere Zahlen aus dem europäischen Forschungsprojekt PLUREL zeigen (Nilsson et al. 2008). Sogar Städte mit abnehmender Bevölkerungszahl dehnen sich noch in der Fläche aus und dieser Trend wird sich voraussichtlich aufgrund demographischer Änderungen auch noch fortsetzen. Wie stark, hängt allerdings auch wesentlich von den wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen und von den Möglichkeiten zur Steuerung der Raumentwicklung durch die Planung ab (Eckerberg und Aalbers im Druck, Tosics im Druck).

Eine große Anzahl von Städten haben sich inzwischen mehr oder weniger ambitionierte Ziele für den Klimaschutz gesetzt, etwa die Stadt Kopenhagen, die sich bis zum Jahr 2025 zu einer „Kohlenstoffneutralen Stadt“ entwickeln will

(<http://www.kk.dk/sitecore/content/Subsites/CityOfCopenhagen/SubsiteFrontpage/LivingInCopenhagen/ClimateAndEnvironment.aspx>). Planungsstrategien für die Anpassung an den Klimawandel stehen dagegen in den meisten Städten noch am Anfang (Blanco et al. 2009, Mehrotra et al. 2009). Die vorgenannte Strategie der Stadt Kopenhagen beinhaltet beispielsweise 38

Maßnahmen die sieben Themenbereichen zugeordnet wurden (Stand: März 2011). Die meisten Maßnahmen zielen konkret auf die Verringerung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen ab. Zu den Maßnahmen gehört auch die Umsetzung des Leitbildes einer kompakten Stadt, etwa durch die Umnutzung ehemaliger Industrie- und Hafensstandorte zu dichtbebauten, durch Nutzungsmischung gekennzeichneten Stadtteilen. Nur ein Themenbereich umfasst dagegen ganze drei Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, darunter den Auftrag zur Entwicklung einer Anpassungsstrategie.

Geplante Anpassung, etwa die Rückverlegung von Siedlungen aus Überschwemmungsbereichen oder die Entwicklung von Siedlungsstrukturen, die energieeffizient sind und an die zukünftigen klimatischen Verhältnisse angepasst sind, verringert nicht nur die durch den Klimawandel verstärkten Naturrisiken. Sie beugt auch der Gefahr von Fehlanpassungen vor, wie sie beispielsweise die individuelle Anschaffung von Klimaanlage darstellen würde, die den zusätzlichen Energieverbrauch erhöhen und zu weiteren Treibhausgasemissionen führen können. Frühzeitig geplante Anpassung ist nach ökonomischen Modellrechnungen auch kostengünstiger als spätere Notfall- und Reparaturmaßnahmen, und nicht zuletzt erlaubt sie, die möglichen Vorteile des Klimawandels systematisch zu nutzen (Burton 1996, Willows und Connell 2003, CEC, 2007). Die Entwicklung von städtischen Anpassungsstrategien steht jedoch vor besonderen Herausforderungen. Als querschnittsorientierte Aufgabe, die bestimmte Planungsräume betrifft, erfordert sie den Einbezug einer Vielzahl von Akteuren mit oft unterschiedlichen Interessen. Die wirkliche Notwendigkeit und der Erfolg von Anpassungsmaßnahmen lassen sich häufig erst in einer relativ fernen Zukunft überprüfen. Dabei sind die Unsicherheiten über den zukünftigen Klimawandel und seine Folgen hoch und räumlich hochaufgelöste Szenarien zu den Auswirkungen des Klimawandels fehlen meist (Goodness et al. 2007). Je nachdem, welchem Modell Vertrauen geschenkt wird, ist davon auszugehen, dass das Klima von Paris im Jahr 2070 dem heutigen Klima von Bordeaux oder Cordoba ähnelt (Hallegatte et al. 2007, Abb. 2). Welchem Klimamodell ist zu folgen? Es ist weder schwieriger noch teurer Häuser für das eine oder das andere Klima zu bauen, aber es dürfte deutlicher herausfordernder und teurer sein, Häuser zu bauen oder Siedlungen zu entwerfen, die für beide Klimate optimiert sind.

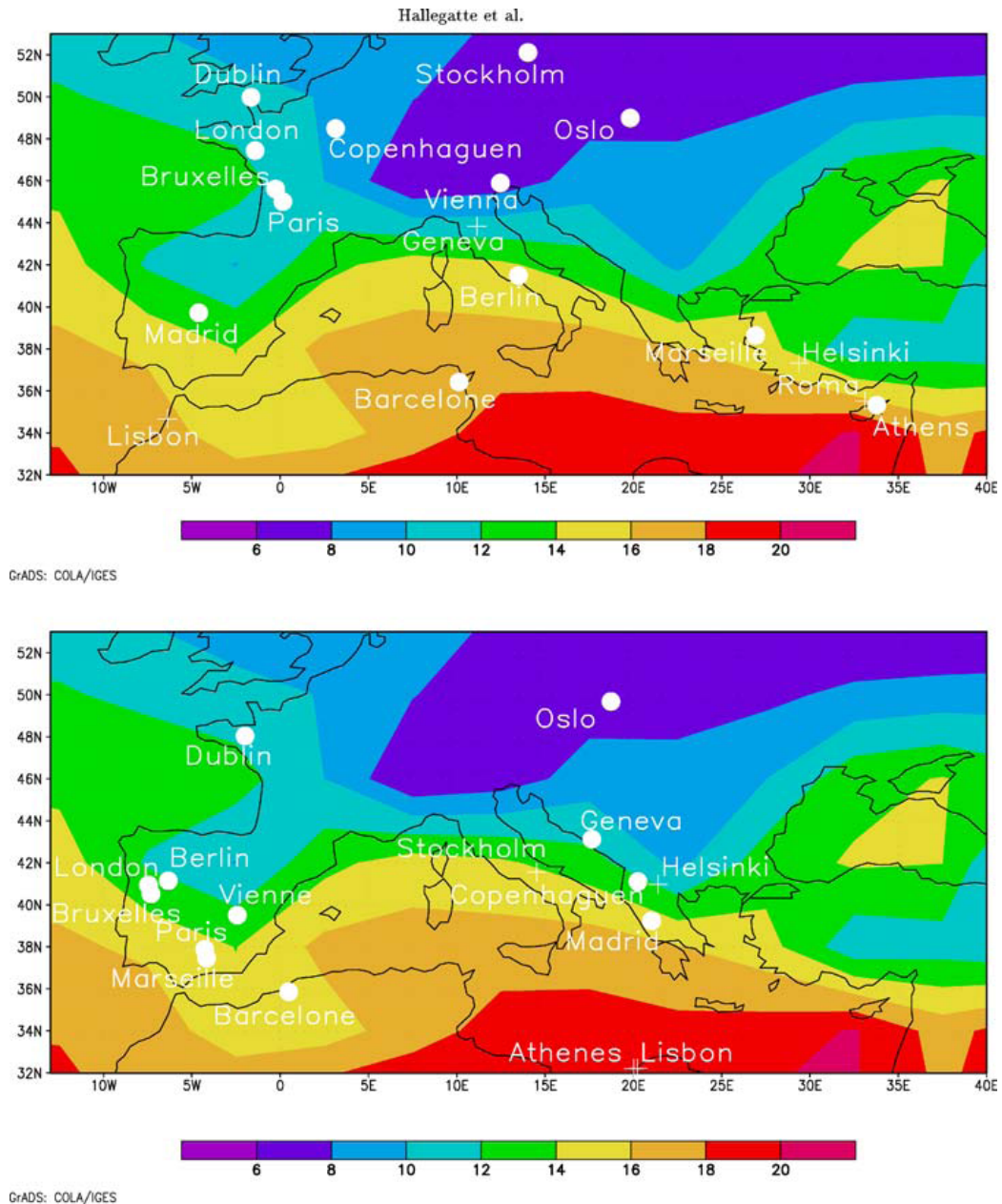


Abb. 2: Karte von Europa mit der klimatischen Lage von einigen Städten gegen Ende des 21. Jahrhunderts unter Annahme des IPCC Szenarios A2 für zwei Klimamodelle: CNRM ARPEGE (oben) HadRM3H (unten). Berücksichtigt wurden die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse (volle Kreise) bzw. nur die Temperaturverhältnisse (Kreuze) (aus Hallegatte et al. 2007)

Auch die Anfälligkeit von Landschaften und Infrastrukturen gegenüber dem Klimawandel, ist noch unzureichend erforscht. Die Anpassung an den Klimawandel sollte diesen Unsicherheiten Rechnung tragen. Anpassungsstrategien müssen daher besonders darauf abzielen, die Toleranz bzw. „Resilienz“ des Stadtsystems gegenüber unvorhersehbaren, aber möglicherweise drastischen Klimafolgen zu erhöhen. Als „Resilienz“ wird die Fähigkeit eines (ökologischen) Systems bezeichnet, auch bei starken Störungen noch essentielle

(ökologische) Strukturen und Funktionen aufrechtzuerhalten und sich wieder zu regenerieren (z. B. Holling 1973). Ökologische Untersuchungen deuten darauf hin, dass das räumliche Gefüge und der Charakter der städtischen Flächennutzungen die Resilienz stark beeinflussen (Alberti 2004, 2008, Pickett et al. 2004, Andersson 2006, Colding et al. 2007, Ahern, 2011). Tabelle 2 gibt einen - sicherlich unvollständigen - Überblick über geeignete Strategien bei Planung unter Unsicherheit und zur Erhöhung der Resilienz.

Tab. 2: Strategien zum Umgang mit Unsicherheit im Klimawandel und zur Stärkung der städtischen Resilienz (nach Hallegatte 2009, Ahern, 2011)

Strategien	Merkmale/ Beispiele/ Erläuterungen
„No-regret“-Strategien, die unabhängig von ihrer Bedeutung für Klimaschutz und –anpassung auf jeden Fall zu einem „Gewinn“ führen	<ul style="list-style-type: none"> Energieeinsparung durch verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden Höhere Attraktivität und Umweltqualität in einer Stadt durch Grünflächen
Reversible Strategien	<ul style="list-style-type: none"> (vorläufiger) Verzicht auf Bebauung in zukünftig vielleicht überschwemmungsgefährdeten Bereichen
Strategien zur Erhöhung der Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> Multifunktionale Raumstrukturen Redundanz, d.h. Sicherung scheinbar „überflüssiger“ Strukturen (z. B. Schutz von mehreren Biotopflächen eines Lebensraumtyps) Diversität, z. B. von biologischer Vielfalt mit Arten, die möglicherweise unter den zukünftigen klimatischen Verhältnissen besser angepasst sind. Modularität (z. B. Kombination von Kanalisation mit lokaler Regenwasserinfiltration), um Schadenshäufigkeit und -höhe räumlich und zeitliche begrenzen zu können. Konnektivität auf unterschiedlichen Maßstabsebenen, z. B. zwischen Lebensräumen, um die das Wandern von Arten in zukünftig geeignete Lebensräume zu ermöglichen. Bewahrung von grünen Korridoren, um große Regenwassermengen zurückzuhalten und aus bebauten Bereichen zu leiten
Erhöhung der Sicherheitsgrenzwerte	<ul style="list-style-type: none"> z. B. höhere Standards bei neuen Kanalnetzwerken oder Deichen. Es ist kostengünstiger diese bereits jetzt größer zu dimensionieren, als sie nachträglich anzupassen.
„Weiche“ Strategien vor „harten“ Strategien	<ul style="list-style-type: none"> Einführung von Frühwarnsystemen Steuerung von Entwicklungen durch Versicherungspolicen (z. B. teure oder die Verweigerung von Versicherungspolicen in überschwemmungsgefährdeten Bereichen) Standards, wie etwa zur Anpassung von Gebäuden an den Klimawandel Stärkung der Anpassungsfähigkeit der Bevölkerung
„Adaptive“ Planung	<ul style="list-style-type: none"> Institutionalisierung langer Planungs- bzw. Prognosehorizonte (>25 Jahre), um mögliche Klimafolgen, die erst in 25, 50 oder 100 Jahren eintreten werden bereits mit zu berücksichtigen Monitoring zur zyklischen Anpassung der Pläne auf Grundlage neuer Erkenntnisse und Rahmenbedingungen Verbindung von strategischer Planung mit projektbasierter Vorgehensweise („Learning by doing“) Integrative und partizipative Planungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> Bevorzugung von Interventionen mit kürzeren Investitionszeiträumen und Lebenszyklen 	<ul style="list-style-type: none"> In Investition in Infrastrukturen, die eine Lebensdauer von 100 Jahren haben, bedeutet eine langfristige Entscheidung, die nur schwer rückgängig bzw. änderbar ist.

3. Leistungen des Stadtgrüns für Klimaschutz und –anpassung

Die Anfälligkeit der Stadt gegenüber Hitzewellen und Starkregenereignissen ist - wenn man sich auf die Betrachtung der physischen Struktur der Stadt beschränkt - dem hohen Anteil überbauter und wasserundurchlässiger Flächen geschuldet. Sind Grünflächen daher ein wichtiger Beitrag zur Lösung der Probleme des Klimawandels? Sind sie in der Lage die „Resilienz“ des Stadtsystems entscheidend zu erhöhen? Die ökologischen, sozialen und auch die ökonomischen Werte von Grünflächen in der Stadt sind allgemein gut belegt (z. B. Chie-sura 2004, Tyrväinen et al. 2005, Tzoulas et al.

2007, James et al., 2009). Es fehlt allerdings häufig noch an handlungsrelevantem Wissen, etwa um die Stadtplanung und Landschaftsarchitektur mit spezifischen Vorgaben zur erforderlichen Anzahl, Größe, räumlichen Verteilung und Gestaltung der Grünflächen zu unterstützen. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist von besonderer Bedeutung, dass Grünflächen den Wärmeinseleffekt und den oberflächlichen Wasserabfluss nach Starkregen vermindern können (z. B. Whitford et al. 2001, Gartland 2008). Bäume und Sträucher nehmen außerdem Kohlenstoff auf und speichern ihn im Holz (Nowak 2002). Was aber können Grünflächen leisten, um Städte an die möglicherweise drastische Änderung der kli-

matischen Verhältnisse anzupassen? Können sie die Auswirkungen des Klimawandels abbildern oder sogar kompensieren?

Der Wärmeinseleffekt ist eine Folge der veränderten klimatischen Energiebilanz in Städten. Sie wird durch eine Reihe von Faktoren wie verminderter Reflektion der Sonneneinstrahlung, erhöhter Wärmespeicherung und verminderter Durchlüftung, sowie in bescheidenerem Umfang auch durch die Wärmeemissionen aus anthropogenen Quellen beeinflusst (Hausbrand, Industrie und Gewerbe, Verkehr: etwa 10-15 %, Oke 1987)). Die Hauptursache des städtischen Wärmeinseleffekts ist der hohe Anteil an bebauten und befestigten Oberflächen und der entsprechende geringere Anteil an Vegetations- und Wasserflächen. Sonnenergie wird von bebauten und versiegelten Flächen in fühlbare Wärme umgewandelt, während Vegetation oder offene Wasserflächen einen hohen Anteil der Energie bei der Verdunstung von Wasser binden („latente Wärme“). Wärme wird in Städten auch in Gebäuden und befestigten Oberflächen länger gespeichert und langsamer wieder abgegeben, so dass vor allem nachts die Lufttemperaturen gegenüber dem Umland erhöht sind. In heißen Sommernächten kann sich dies für die Bevölkerung gesundheitlich belastend auswirken. Die Luft- und Oberflächentemperaturen nehmen nicht gleichmäßig von der Innenstadt zum Umland ab, sondern variieren in Abhängigkeit von der Bebauungs- und Freiflächenstruktur

(Abb. 3). Erhöhte Lufttemperaturen kennzeichnen besonders die dicht bebauten Stadtzentren und hochversiegelte Gewerbe- und Industriegebiete. Auch größere Straßenzüge weisen erhöhte Temperaturen auf. In Grünflächen sind die Luft- und die Oberflächentemperaturen dagegen niedriger. Sie sind vergleichsweise kühle Inseln in der Stadt. Der Temperaturunterschied zwischen Grünflächen und der umgebenden Bebauung hängt allerdings von der Lage, Größe und Gestaltung der Grünflächen ab, und ggf. auch von ihrer Pflege, beispielsweise, wenn Rasen bewässert werden. In einer großen Parkanlage können die Lufttemperaturen im Jahresdurchschnitt um 1-2° C niedriger liegen und damit ein etwa das Niveau des Stadtumlandes erreichen. In windstillen und klaren Nächten, wenn die Wärmestrahlung besonders groß ist, können auch Temperaturunterschiede von 5-6° C erreicht werden. Parkanlagen müssen allerdings eine gewisse Ausdehnung haben, um ein eigenständiges Klima zu entwickeln. Nach älteren Messungen in Berliner Grünflächen aus den 1980er Jahren wurden Temperaturunterschiede zwischen Parkanlagen und der angrenzenden Bebauung erst ab einer Parkgröße von etwa 3,5 ha festgestellt (von Stülpnagel 1987). Dies bedeutet nicht, dass kleinere Grünflächen klimatisch wirkungslos sind, denn auch sie können in schattigen Bereichen vor der Sonneneinstrahlung schützen. Einzelne kleine Grünanlagen können aber nicht das allgemeine Temperaturniveau in der Stadt beeinflussen.

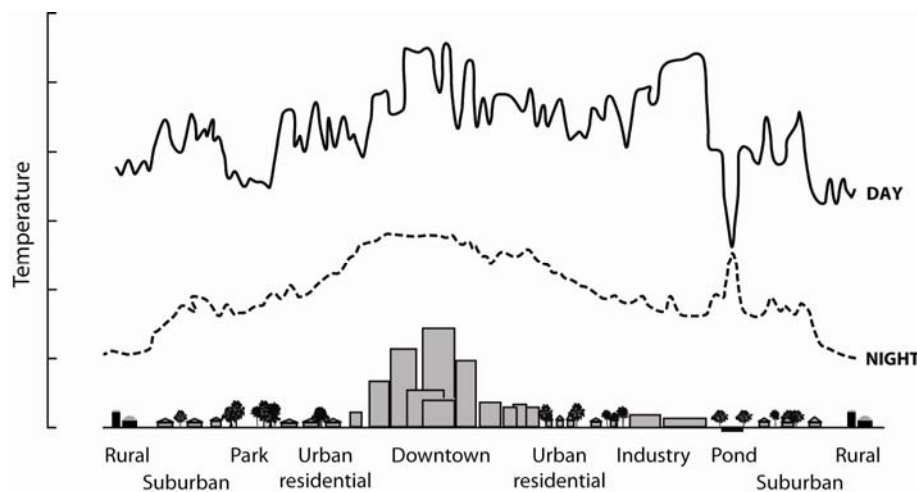


Abb. 3: Ausprägung der Wärmeinsel im räumlichen Querschnitt durch eine Stadt (Quelle: Voogt 2004)

Größere Grünflächen können dagegen auch die Lufttemperaturen in der umgebenden Bebauung senken. Die vorgenannten Berliner Studie zeigte, dass der Tiergarten (212ha Fläche) an windarmen Sommertagen (Windgeschwindigkeit <2m/s) die Lufttemperatur in Luv bis zu 200m weit und in Lee bis zu 1300m weit erniedrigen kann (von Stülpnagel 1987). Diese Zahlen erscheinen eindrucksvoll, können aber nicht verallgemeinert werden, denn der Luftaustausch zwischen Grünanlagen und der angrenzenden Bebauung hängt u.a. von der Topographie und der Offenheit der umgebenden Bebauung ab. Eine durchlässige Bebauung und Korridore erleichtern das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung (Eliasson et al. 2000). Zudem weisen nur die wenigsten Grünanlagen die Größe des Tiergartens auf. Wichtig ist daher ein dichtes Netzwerk von Grünflächen, das die Bebauung durchdringt. Ganz besonders wichtig ist aber eine angemessene Begrünung der eigentlich bebauten Bereiche, also von Wohnsiedlungen, Gewerbe und Industriegebieten, um die klimatischen Verhältnisse dort zu verbessern, wo die Menschen leben und arbeiten. Die Luft- und Oberflächentemperaturen unterscheiden sich in städtischen Flächennutzungen je nach der Höhe des Grünflächenanteils (z. B. Pauleit 1998). Die flächendeckende Erfassung des Anteils und der Ausprägung von grünen und blauen Strukturen in der Stadt ist deshalb wichtig für die Konzeption von Anpassungsstrategien.

Sogar in dicht bebauten Bereichen können Bäume durch Beschattung die Überwärmung in Straßen und auf befestigten Plätzen verringern. Wälder und dichte Baumbestände sind tagsüber die kühlestes Bereiche an heißen Sommertagen. Sie eignen sich besonders gut für die Verminderung von Wärmebelastungen in den städtischen Freiräumen (Mayer 2010, Potchter et al. 2010). Die schattenspendende Wirkung der Bäume ist dabei wichtiger als Minderungen der Lufttemperaturen, denn die unmittelbar auf den Körper eintreffende Strahlungsenergie ist an heißen, windschwachen Sommertagen der entscheidende Faktor für das menschliche Wohlbefinden.

Das Potenzial der städtischen Grünflächen, die Temperatursteigerungen durch den Klimawandel zu verringern oder auszugleichen, ist bisher noch kaum bekannt. Ergebnisse des englischen Forschungsprojekts ASCCUE (Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Environment), das von der Universität Manchester geleitet wurde (Handley 2006, Gill et al. 2007), deuten aber auf entsprechende Leistungen des Stadtgrüns hin. In diesem Projekt wurden mittels eines Temperaturmodells

die Effekte des Klimawandels auf die städtische Wärmeinsel untersucht. Das Untersuchungsgebiet war der ca. 1300 km² große Verdichtungsraum Manchester, der etwa 2,5 Millionen Einwohner zählt. Manchester wurde für die Untersuchung ausgewählt, da es einen breiten Querschnitt der für englische Städte typischen Siedlungsstrukturen aufweist und sich in einer Phase der Umstrukturierung von einer Industriestadt in eine post-industrielle Stadt befindet, die auch Chancen für die Entwicklung von Grünflächen bietet.

In dem Projekt wurden die Risiken den Klimawandels auf drei Teilsysteme der Stadt näher untersucht: Gebäude, Grünflächen und menschliches Wohlbefinden. Die Untersuchung der Anpassungsleistungen städtischer Grünflächen, auf die hier kurz eingegangen werden soll, umfasste drei Schritte:

1. Erfassung der Stadtstruktur mittels einer Strukturtypenkartierung, bei der 29 Stadtstrukturtypen mittels Luftbilddauswertung unterschieden und durch Indikatoren wie den Versiegelungsgrad und den Grünflächenanteil weiter charakterisiert wurden (Abb. 4).

2. Modellierung der Oberflächentemperaturen (und des Oberflächenabflusses nach einem Starkregenereignis) mittels eines klimatischen Energiebilanzmodells (Whitford et al. 2001, Gill et al. 2007). In das Modell gingen Angaben zum Anteil bebauter bzw. vegetationsbedeckter Flächen ebenso ein, wie Klimadaten der Wetterstation des Flughafens Manchester. Aus einem gleichzeitig durchgeführten Forschungsprojekt konnten zudem für diese Wetterstation Klimaszenarien für die Jahre 2050 und 2080 verwendet werden (Watts et al. 2004, BETWIXT 2005). Nur die Ergebnisse des Extremszenarios für das Jahr 2080 werden nachfolgend dargestellt. Aus Oberflächentemperaturen lassen sich zwar keine Lufttemperaturen ableiten. Sie erlauben aber eine für gesamtstädtische Betrachtungen räumlich sehr differenzierte Beurteilung der stadtklimatischen Verhältnisse. Die erhöhten Mortalitätsraten während des Hitzesommers 2003 waren beispielsweise in Paris räumlich eng mit den Hitzeinseln der Oberflächentemperaturen korreliert (Dousset et al. 2009).

3. Zusätzlich wurde in zwei kontrastierende Szenarien zur Stadtentwicklung untersucht, wie sich eine konsequente Erhöhung des Grünflächenanteils um 10 % oder eine Verringerung des Grünflächenanteils um 10 % durch bauliche Nachverdichtung auf die veränderten klimatischen Verhältnisse im Jahr 2080 auswirken würden.

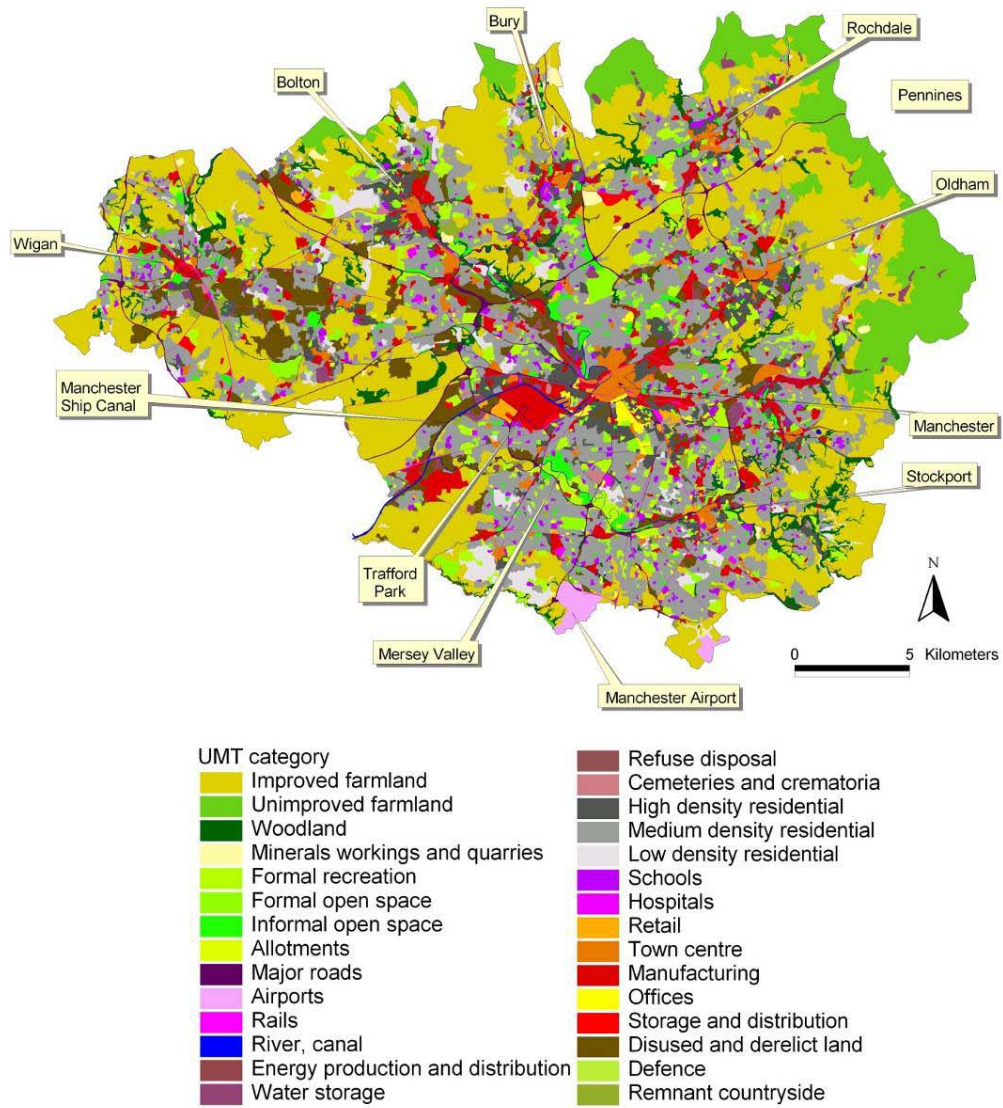


Abb. 4: Strukturtypenkartierung für „Greater Manchester“ (Quelle: Gill et al. 2008)

Der Grünflächenanteil liegt in der Innenstadt von Manchester und der weiteren Siedlungskerne dieses polyzentrischen Verdichtungsraums unter 20 % der jeweiligen Gesamtfläche. Auch Industrie- und Gewerbegebiete weisen ähnlich niedrige Grünflächenanteile auf. In Einzelhaussiedlungen kann er dagegen bis zu 50-60 % Flächenanteil erreichen. Insgesamt befinden sich in Manchester immerhin etwa vierzig Prozent aller Grünflächen in der Wohnbebauung. Große Unterschiede bestehen allerdings zwischen dicht bebauten Reihenhaussiedlungen und großzügigen Villenquartieren mit höherem Grünflächenanteil und meist dichten Baumbeständen. Öffentliche Grünflächen und Wälder nehmen demgegenüber nur 10% der Stadtfläche ein, weitere 10 % der Stadtfläche werden von Brachflächen z. B. ehemaliger Industriestandorte eingenommen. Die Oberflächentemperaturen unterschieden sich deutlich zwischen den städtischen Strukturtypen und sie waren eng mit dem Grünflächenanteil korreliert. Die höchsten Oberflächentemperaturen wurden dementsprechend für einen heißen Sommertag, wie er in Manchester mit einer zweiprozentigen Eintrittswahrscheinlichkeit auftritt mit 31,2° C in den dicht bebauten Stadtzentren ermittelt (Abb. 5). Ähnlich hohe Werte kennzeichneten die Strukturtypen der dichten Wohnbebauung, der Industrie- und Gewerbegebiete und großer asphaltierter Flächen wie etwa Stadtautobahnen.

Die kühlestn Flächen waren dagegen Wälder mit einer Oberflächentemperatur von 18,4° C. Auch öffentliche Grünflächen gehörten zu den kühlestn Bereichen Manchesters.

Im Falle des Eintretens des extremsten Klimaszenarios würden sich in Manchester die Lufttemperaturen um maximal etwa 4° C bis zum Jahr 2080 erhöhen („high emission scenario in Abb. 6). Die Oberflächentemperaturen in der Innenstadt würden allerdings mit 4,3° C deutlich stärker zunehmen als in gut durchgrüntn Wohngebieten, in denen nur mit einer Steigerung um 3,1° C zu rechnen ist. Die besondere Bedeutung von Grünflächen zur Minderung der zu erwartenden Temperatursteigerungen wurde in den Grünflächenszenarien untermauert (Abb. 7). Bei einer Steigerung des Grünflächenanteils um 10 % Flächenanteil würden die Oberflächentemperaturen selbst in der dicht bebauten Innenstadt annähernd auf dem heutigen Niveau verbleiben. Eine Reduzierung des Anteils von Vegetations- und Wasserflächen um 10% von derzeitig 31 % auf 21 % Flächenanteil hätte demgegenüber im extremsten Szenario eine Temperatursteigerung um 8,2° C zur Folge.

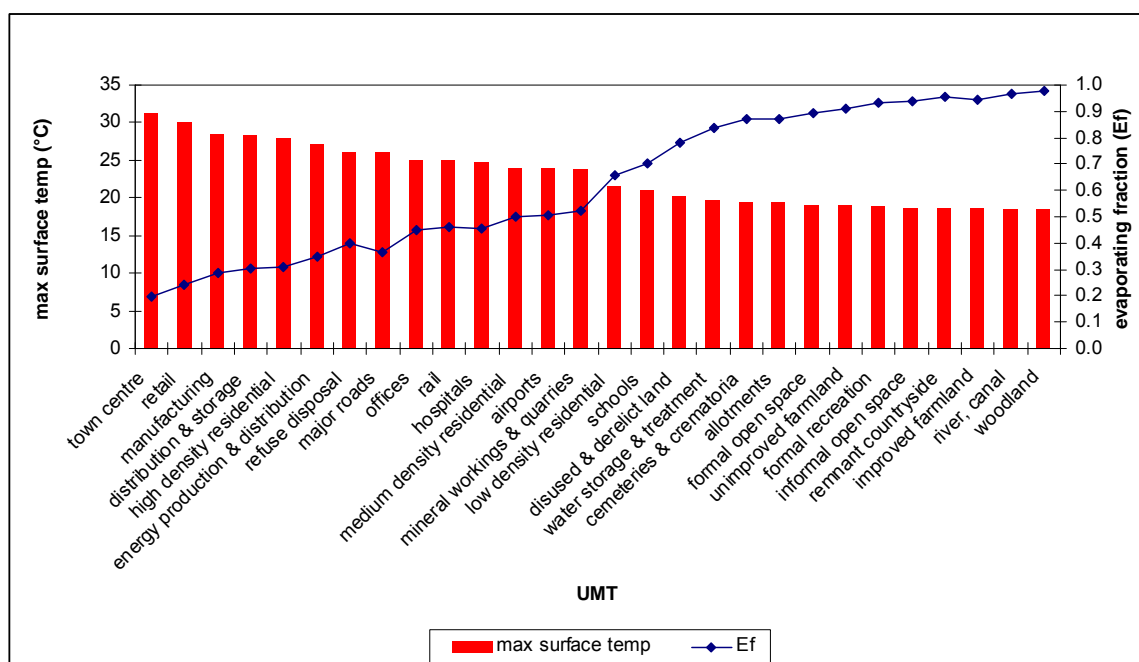


Abb. 5: Maximale Oberflächentemperaturen (rote Balken) an einem heißen Sommertag und Anteil evapotranspirierender Grünflächen und Gewässer (Blaue Linie) in Stadtstrukturtypen in Manchester (Quelle: Gill 2006)

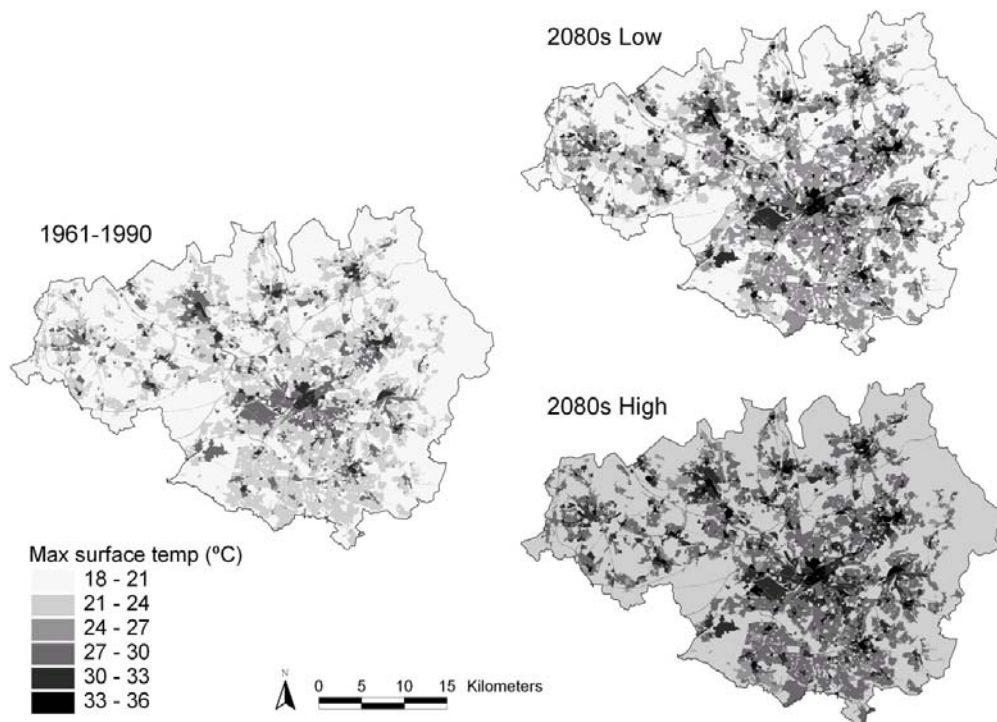


Abb. 6: Verteilung der maximalen Oberflächentemperaturen an einem heißen Sommertag in Greater Manchester 1961-1990 (links) und im Jahr 2080 unter zwei Klimaszenarien (low: niedriges Emissionsszenario, high: hohes Emissionsszenario) (Quelle: Gill et al. 2007)

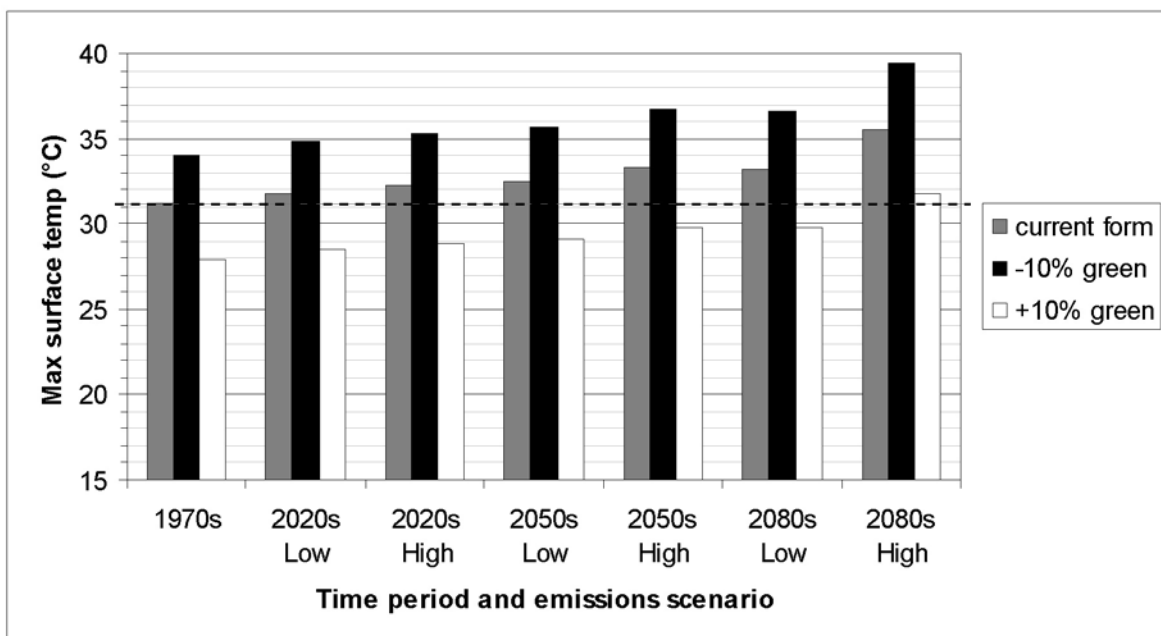


Abb. 7: Auswirkungen einer Erhöhung oder Verringerung des Anteils von Grünflächen um 10 % im Strukturtyp „Stadtzentrum“ in Greater Manchester (Quelle: Gill et al. 2007)
 (Current form: heutige Stadtstruktur, - 10 %: Verringerung des Grünflächenanteils an der Gesamtfläche um 10 %; +10 %: Erhöhung des Grünflächenanteils an der Gesamtfläche um 10 %).

Die Ergebnisse der Klimaszenarien deuten an, wie effektiv eine konsequente Erhöhung des Grünflächenanteils die möglichen Folgen des Klimawandels puffern können. Sie sollen aber nicht den Eindruck erwecken, dass mehr Grün die angenommene Zunahme der Lufttemperaturen vollständig ausgleichen könnte. Die in dem Modell ermittelten Oberflächentemperaturen sind nur ein grober Indikator für die tatsächlichen klimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet, die kleinräumig sehr stark variieren und deren Wirkung auf die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden von mehreren Faktoren bestimmt wird (z. B. Mayer 2010). Trotz dieser Einschränkungen dürfen die Ergebnisse als deutliches Indiz für die klimatische Leistungsfähigkeit städtischer Grünflächen und ihrer Bedeutung zur Anpassung der Städte an den Klimawandel gelten.

Eine Erhöhung des Grünflächenanteils um 10 % in dicht bebauten Innenstädten wäre eine enorme Herausforderung für die Stadtplanung. Man sollte allerdings die städtische Dynamik nicht unterschätzen, die auch immer wieder Chancen für die Etablierung von Grünbeständen eröffnet, etwa wenn Gebäude oder ganze Quartiere abgerissen werden. In einer durch Strukturwandel geprägten Stadtregion wie Manchester ist dies besonders augenfällig. Außerdem liegt selbst in der sehr dicht bebauten Innenstadt von Manchester der eigentliche Flächenanteil von Gebäuden unter 40 %. Etwa genauso hoch ist der Anteil von Verkehrsflächen und anderweitig befestigten Bereichen. Klimatische besonders wirksame Baumpflanzungen im Straßenraum würden sich bei einer

drastischen Neuorganisation der Mobilität in der Stadt realisieren lassen, also einer Reduzierung des Kraftfahrzeugverkehrs. Synergien mit Zielen des Klimaschutzes sind dabei offenkundig.

4. Auswirkungen des Klimawandels auf städtisches Grün

Grünflächen können ihre klimatischen Anpassungsleistungen nur erbringen, wenn sie auch tatsächlich grün sind. Die Pflanzenverfügbarkeit von Wasser ist dazu eine entscheidende Voraussetzung. Bereits jetzt leiden Straßenbäume in Städten, sogar in Nordeuropa, vielerorts unter Wasserstress (Bühler et al. 2007, Roloff et al. 2009). Diese Problematik wird sich voraussichtlich durch den Klimawandel noch deutlich verschärfen und auch andere Vegetationsformen betreffen. In der Klimawandelstudie für Manchester wurde ermittelt, dass im extremsten Szenario im Jahr 2080 in den obersten 30cm der Bodenschicht im Sommerhalbjahr zwischen 4-5 Monate pflanzenverfügbares Wasser fehlen könnte.

Die Auswirkungen der Dürre auf die klimatischen Leistungen der Grünflächen wurden in einfachen Modellrechnungen abgeschätzt. In Strukturtypen mit einem hohen Rasenanteil würden sich die Oberflächentemperaturen drastisch erhöhen, wenn in Dürreperioden Rasenflächen verdorren und damit ähnliche klimatische Eigenschaften wie offener Boden annehmen würden (Abb. 8). Hierzu gehören beispielsweise öffentliche Parkanlagen, aber auch Schulen, die in England oft in ausgedehnten Sportflächen eingebettet sind.

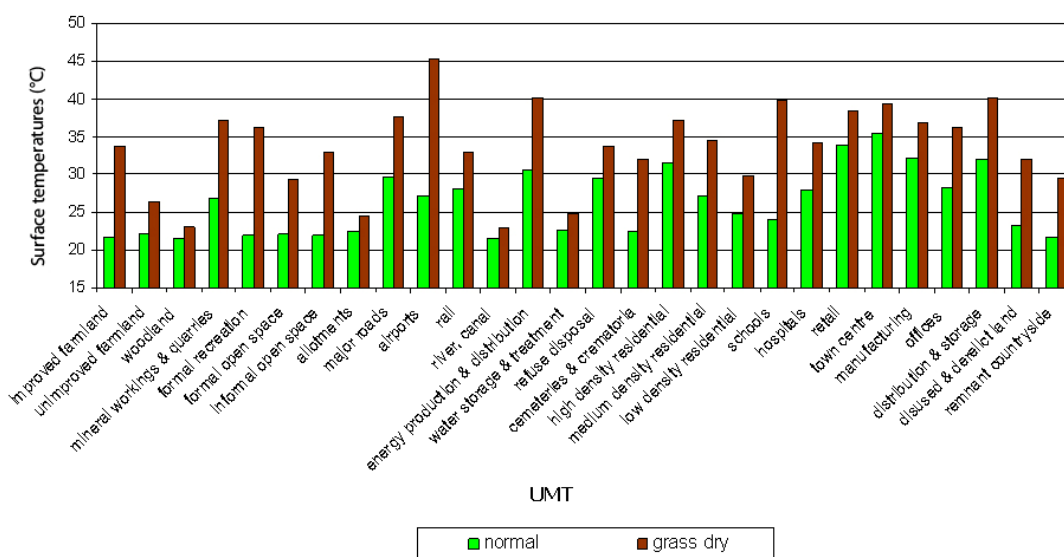


Abb. 8: Erhöhung der Oberflächentemperaturen in den Strukturtypen von Manchester, wenn Rasen verdorrt (Quelle: Gill 2006) Normal: Rasen ist grün; grass dry: Rasen ist verdorrt.

Das Dürreszenario ist sicherlich mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, nicht zuletzt weil nur unzureichende Daten über Stadtböden mit ihren hydrologischen Eigenschaften zur Verfügung standen. Stattdessen wurden Daten aus einer großmaßstäbigen Bodenkarte verwendet, die aber keine Informationen zu Stadtböden bietet. Die Ergebnisse deuten aber zumindest an, vor welchen Herausforderungen die Grünflächengestaltung und -pflege gestellt werden könnten. Sowohl Dürre im Sommer, als auch stark zunehmender Winterregen können Vegetationsbestände und die Nutzbarkeit der Grünflächen gefährden. Über die Empfindlichkeit von städtischen Grünflächen bei Klimawandel ist aber bisher noch wenig bekannt. Auch zu geeigneten Anpassungsstrategien liegen nur wenige Hinweise vor, wie etwa der Vorschlag einer Klimaartenmatrix für die Auswahl von geeigneten Stadtbäumen (Roloff et al. 2009). Eine besondere Bedeutung wird in jedem Fall der Sicherung von Stadtböden zukommen, die eine hohe Wasserspeicher- und -infiltrationsfähigkeit besitzen. Bodenschutz ist damit eine Aufgabe mit herausragender Bedeutung für die städtische Klimaanpassung. Sie spielen aber auch eine Rolle beim Klimaschutz, weil sich nach Schätzungen in Stadtböden über 70 % des organischen Kohlenstoffvorrats in Städten befinden kann (Churkina et al., 2010). Der Klimawandel wird sich nach derzeitigen Erkenntnissen in Mitteleuropa nur unwesentlich auf die Gesamtmenge der jährlichen Niederschläge auswirken. Es wird aber zu einer Verschiebung der Niederschlagsereignisse kommen. Einerseits werden Winterregen häufiger werden, während die Menge der Niederschläge im Sommer abnehmen wird. Gleichzeitig wird aber die Zahl von Starkregenereignissen zunehmen, die große Niederschlagsmengen in kurzer Zeit mit sich bringen. Bereits heute ist vielerorts die Kanalisation wegen der zunehmenden Starkregenereignisse in Kombination mit der stark gewachsenen versiegelten Fläche überlastet. Die Klimaszenarien für Manchester gehen im extremsten Fall von einer Steigerung der Niederschlagsmenge um 56 % von 18 auf 28mm aus, wie sie ein Starkregen mit einer jährlich einprozentigen Eintrittswahrscheinlichkeit bringt. Der oberflächliche Wasserabfluss würde dadurch aber um 79 % steigen, weil bei intensiveren Starkregen nicht nur von den versiegelten Flächen mehr Wasser abfließen würde, sondern auch von schweren Lehm- und Tonböden mit geringer Infiltrationskapazität, wie sie in Manchester vorherrschen. Der weitere Kanalisationsausbau gelangt auch an ökonomische Grenzen. Ansätze des lokalen Regenwassermanagements, bei denen Niederschlagswasser örtlich zurückgehalten und versickert wird, können die Kanalisation entlasten und unter Umständen

auch zur Attraktivitätssteigerung von Grünflächen beitragen. Techniken wie Mulden-Rigolen-Systeme, Dachbegrünung usw. sind prinzipiell vorhanden (Sieker et al. 2003). Inzwischen werden auch Techniken erprobt, um das Regenwasser in speziell gestalteten Baumgräben zu versickern, wodurch auch Bäumen Regenwasser zugeführt werden kann (Alvem und Bennerscheidt 2009). Die besondere Herausforderung dürfte aber darin bestehen, lokales Regenwassermanagement nicht nur als örtliche Einzelmaßnahmen zu konzipieren, sondern als gesamtstädtische Strategie umzusetzen (Beneke 2003). Hier bestehen noch viele offene Fragen zur Machbarkeit und zu geeigneten Umsetzungsstrategien, die in verschiedenen Projekten untersucht werden (z. B. dem dänischen Forschungsprojekt „2BG Black, Blue and Green – Integrated infrastructure planning as key to sustainable urban water systems“, Fryd et al. 2010; www.2BG.dk, an dem der Verfasser beteiligt war).

5. Bedeutung von Grünflächen für den Klimaschutz

Nur angerissen werden soll hier der Beitrag der Grünflächen, und speziell von Stadtbäumen, zum Klimaschutz (ausführlicher in Nowak 2002, Pauleit et al., im Druck).

Pflanzen nehmen Kohlenstoff auf und speichern ihn, wenn sie wachsen. Eine längerfristige Bindung des Kohlenstoffs erfolgt aber vor allem in Holzpflanzen. Ein großer alter Baum kann etwa 3t Kohlenstoff in seinen Holz, einschließlich der Wurzeln speichern (Nowak 2002). Das entspricht nach einer eigenen überschlägigen Schätzung etwa dem, was ein Mittelklassewagen bei einer Fahrleistung von 18000km freisetzt. Für die Stadt Chicago wurde bereits in den 1990er Jahren errechnet, dass die Gesamtmenge an Kohlenstoff, die durch den städtischen Gehölzbestand (einschließlich privater Grünflächen) jährlich gebunden wird, nur etwa den Emissionen entspricht, die Chicagos Fahrzeugflotte in einer Woche freisetzt (McPherson et al. 1994). Diese Kohlenstoffbindung erfolgt außerdem nur zeitweilig, wenn das Holz nicht dazu verwendet wird, fossile Brennstoffe zu substituieren. Dennoch sollte auch die Rolle von Stadtbäumen als eine Kohlenstoffsенke in Klimaschutzstrategien anerkannt werden. Das Beispiel des „Million Trees“ Programms der Stadt New York (www.milliontreesnyc.org) zeigt, dass hiermit zumindest Aufmerksamkeit für die Bedeutung von Stadtgrün erzeugt werden kann und entsprechende Programme zum Imagegewinn einer Stadt beitragen. Bedeutender für den Klimaschutz kann dagegen die Reduzierung des Energieverbrauchs durch Bäume sein. Nach einer amerikanischen Modellstudie kann

die Erhöhung des sog. Blattflächenindex, einem Maß für das Vegetationsvolumen in der Stadt, bei einer Erhöhung um 1, zu einer Erniedrigung der Lufttemperaturen um 1° C beitragen (Heisler 1986). Dies spielt insbesondere in Klimazonen mit heißen Sommern eine Rolle, weil durch die niedrigeren Temperaturen der Kühlbedarf für Gebäude durch Klimaanlage verringert wird. Für Deutschland wurde beispielsweise in einer EU Studie geschätzt, dass sich der Energiebedarf für Klimaanlage durch wärmere Sommer bis 2020 um das 2,6-fache erhöhen wird (Adnot et al., 2008, in: Schmidt 2008). Nach einer amerikanischen Studie, die auf Modellrechnungen beruht, können Bäume den Energiebedarf für die Heizung im Winterhalbjahr und Klimaanlage im Sommer in benachbarten Wohngebäuden um bis zu 25 % senken (Heisler 1986). Dieser Wert wurde in einem Experiment in Sacramento, USA, bestätigt, bei dem das Pflanzen von 16 Bäumen zu einer Verminderung des Energiebedarfs für die Kühlung eines Gebäudes um 29 % während der Hitzeperiode von Juni bis Oktober führte (Akbari et al. 1997). Für die Städte von Sacramento und Phoenix wurden Einsparmöglichkeiten von 24 % bzw. 12 % errechnet (Huang et al. 1992). Im Winter schirmen (immergrüne) Bäume kalte Winde von Gebäuden ab. Auf der Südwestseite gepflanzte, laubabwerfende Bäume verringern durch ihren Schattenwurf die Wärmelast von Gebäuden im Sommer, während sie im Winter das Sonnenlicht durchlassen können. Diese Einspareffekte lassen sich allerdings nur bei optimaler Pflanzung der Bäume erzielen, wie sie sich wohl nur in Neubaugebieten erreichen ließen. Dazu sind aber mögliche Konflikte bei der energieoptimierten Planung von Siedlungen zu lösen, bei denen Bäume vor Gebäuden eher nicht erwünscht sind. In Wirklichkeit ist also mit erheblich geringeren Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch Bäume zu rechnen. Schließlich sind auch für Dachbegrünung Energieeinsparungen durch die verbesserte Wärmedämmung der Gebäude in Modellrechnungen und empirischen Untersuchungen belegt worden (Saiz et al. 2006, Santamouris et al. 2007).

6. „Grüne Infrastruktur“ für Klimaschutz und Klimaanpassung

Die Ergebnisse der Manchesterstudie, die in ihrer Kernaussage sicherlich auch für andere Städte gelten, zeigen die außergewöhnliche Bedeutung des Stadtgrüns für die Klimaanpassung – und in geringerem Maße auch für den Klimaschutz. Ihre wesentlichen Funktionen in mitteleuropäischen Städten bestehen in der Verminderung des städtischen Wärmeinseleffekts und der Versickerung und Rückhaltung von Niederschlagswasser. Darüber hinaus sind selbstverständlich auch weitere Maßnahmen je

nach Naturrisiko und Lage der Stadt, wie etwa die Renaturierung von Fließgewässern wichtig. Grünflächen können auch, wie dargelegt, zum Klimaschutz beitragen.

Die hier verkürzt wiedergegebenen Ergebnisse der Manchesterstudie zeigten (ausführlicher in Gill et al., 2007, 2008), dass eine Erhöhung des Grünflächenanteils in Innenstädten die zu erwartenden Temperatursteigerungen zu einem erheblichen Anteil ausgleichen könnten. Für die lokale Rückhaltung und Versickerung der sich dramatisch verstärkenden Niederschlagsabflüsse nach Starkregenereignissen sind allerdings zusätzlich Maßnahmen zur aktiven Rückhaltung und Versickerung der Niederschläge etwa in Mulden-Rigolen-Systemen erforderlich. Entsprechende Techniken sind vorhanden, eine große Herausforderung besteht allerdings in der Umsetzung einer gesamtstädtischen Strategie des örtlichen Regenwassermanagements, das bisher kleinräumig erprobt wurde (Beneke 2003, Fryd et al. 2010). Hier ergeben sich viele Fragen, etwa zur Kombination und Integration von örtlicher Regenwasserversickerung mit bestehenden Kanalnetzen, aber auch zu den hydrologischen Folgen von Versickerung im großen Umfang, sowohl was die quantitative Seite als auch die Wasserqualität angeht.

Private und institutionelle Grünflächen sind allein schon wegen ihrer Ausdehnung in die Überlegungen mit einzubeziehen („städtische Matrix“ in Tabelle 3). Eine Dämpfung des Wärmeinseleffekts ist mit den öffentlichen Grünanlagen alleine nicht zu erreichen. Regenwasserversickerung muss vor allem in privaten Grünflächen stattfinden. Brachflächen stellen zusätzlich eine sehr wichtige Ressource für die Klimaanpassung dar. Wie eine Studie zu den Möglichkeiten der Etablierung von Stadtwäldern auf Brachflächen in Leipzig zeigte, sind Brachen oft genau dort zu finden, wo öffentliche Grünflächen fehlen (Burkhardt et al. 2008). Sie ermöglichen die Ergänzung des bestehenden Grünflächensystems, um ein engmaschiges Netz von stadtklimatisch wirksamen Grünflächen zu entwickeln. Die Begrünung von dicht bebauten Innenstädten umfasst aber auch ingenieurtechnische Maßnahmen wie die Dachbegrünung und die Entsigelung von Straßen und Stellflächen für Straßenbaumpflanzungen. Notwendig ist daher die Entwicklung und Umsetzung von integrativen Strategien, die alle grünen und auch die „grauen“ Flächen einbezieht. Im englischsprachigen Raum hat sich hierfür der Begriff „Green infrastructure“, also „Grüne Infrastruktur“ durchgesetzt (Pauleit et al., 2011).

Tab. 3: Mögliche Rolle der grünen Infrastruktur für die Klimaanpassung von Städten auf Grundlage eines einfachen landschaftsökologischen Modells. Korridore: lineare Grünverbindungen, einschl. Fließgewässern; Grünflächen: Grünflächen, die als grüne „Inseln“ in der Stadt liegen, z. B. öffentliche Parks; Städt. Matrix: städtische Flächennutzungen wie z. B. Wohnbebauung, Gewerbe und Industriegebiete (nach Gill 2006, verändert)

	Korridore	Grünflächen	Städt. Matrix
Retentionsräume	•••	••	•
Niederschlagsversickerung	•	••	•••
Verdunstungskühlung	•	•••	••
Schatten durch Bäume	•	••	•••

Grünflächen werden mit diesem Konzept als eine Infrastruktur aufgefasst, die für die Funktions- und Zukunftsfähigkeit der Stadt ebenso wichtig ist, wie soziale Infrastrukturen oder Verkehrs-, Ver- und Entsorgungssysteme. Multifunktionalität und Konnektivität sind als wichtige Prinzipien ihrer Planung zu nennen (Pauleit et al. 2011). Auch Stadt-Umland-Beziehungen spielen eine wichtige Rolle bei der Klimaanpassung, etwa die Sicherung von Frischluftkorridoren oder Retentionsräumen im Umland. Die grüne Infrastruktur ist daher auf unterschiedlichen Maßstabsebenen, von stadtregionalen Grünstrukturen bis zur gebäudebezogenen Maßnahmen zu entwickeln.

Zwangsläufig erfordert die Entwicklung und Umsetzung von solchen integrativen, langfristig orientierten Strategien und nicht zuletzt das Management der grünen Infrastruktur partizipative Planungsverfahren, die die Bürger und alle wesentlichen Interessensgruppen angemessen einbeziehen. Die Entwicklung grüner Infrastrukturen ist damit eine Strategie, die viele der in Tabelle 1 aufgeführten Anforderungen an Planung unter Unsicherheit erfüllen kann und die Resilienz des Stadtsystems erhöht.

7. Klimaschutz versus Klimaanpassung – ein Dilemma?

Dicht bebaute Städte verbrauchen weniger Energie und tragen damit zum Klimaschutz bei. Auf der anderen Seite haben die vorhergehenden Abschnitte gezeigt, dass Städte nicht nur Verursacher sondern auch Betroffene des Klimawandels sind und städtische Grünflächen einen erheblichen Beitrag zur Klimaanpassung leisten können. Dicht bebaute

Städte haben einen geringeren Anteil von Grünflächen und sind daher weniger anpassungsfähig. Die bauliche Nachverdichtung von bereits dicht bebauten Innenstädten kann ihre Anpassungsfähigkeit weiter einschränken. Auch der Verlust von Grünflächen im kleinen Maßstab kann die Anpassungsfähigkeit von Städten beeinträchtigen. In einer englischen Untersuchung konnte für 11 Wohngebiete, die sich auf einem Gradienten von dichter bis lockerer Wohnbebauung befanden, gezeigt werden, dass in allen Wohngebieten Grünflächen durch Neubebauung, Erweiterung von Häusern, Asphaltieren von Vorgärten für Parkplätze u.a.m. verloren gingen. Über einen Zeitraum von 25 Jahren verringerte sich der Grünflächenanteil um insgesamt 5 %. Modellrechnungen zeigten, dass sich dadurch die Oberflächentemperaturen und der Oberflächenabfluss von Niederschlagswasser deutlich erhöhten (Pauleit et al. 2005).

Ein unauflösbares Dilemma ist aus diesen Konflikten zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung aber nicht zu konstruieren. Klimaschutz kommt für Stadtregionen der westlichen Welt höchste Priorität zu, um eine dramatische Verschärfung des Klimawandels zu verhindern (Howard 2009). Klimaschutz ist in diesem Sinne die beste Vorbeugung, weil sie die Notwendigkeit von umfassenden Anpassungsstrategien verringert. Unter dieser Prämisse sind Anpassungsmaßnahmen zu konzipieren und umzusetzen, die nicht den Zielen des Klimaschutzes entgegenlaufen, sondern diese nach Möglichkeit unterstützen oder zumindest ihnen gegenüber neutral sind. Abb. 9 versucht die notwendige Hierarchisierung von Zielen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung zu visualisieren. Dieses Schema (entlehnt aus Howard 2009) ist sicher zu vereinfachend,

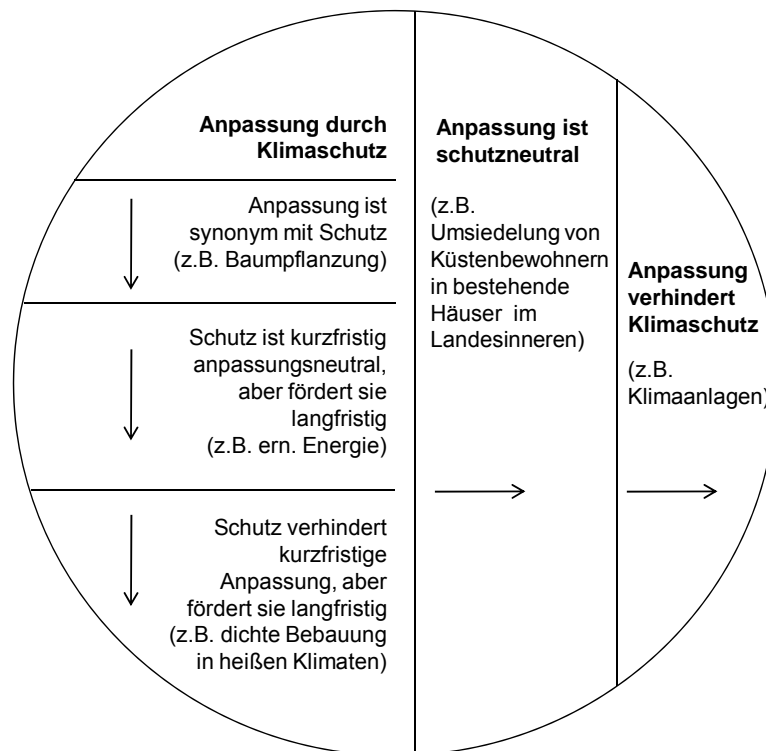


Abb. 9: Abgleich von Zielen für Klimaschutz und Klimaanpassung (Quelle: nach Howard 2009, verändert)

aber es kann die Problematik verdeutlichen. Wichtig ist auf jeden Fall, Ziele und Lösungsansätze für den Klimaschutz- und die Klimaanpassung, systematisch auf einander zu beziehen und Synergien und Konflikte klar herausarbeiten.

Auch in dicht bebauten Städten ist es möglich, Grün zu integrieren, das wesentliche ökologische und soziale Leistungen erbringen kann und die Anpassungsfähigkeit der Stadt an den Klimawandel erhöht. Die größten Herausforderungen bestehen dabei in der Anpassung der bereits bestehenden Siedlungen. Wesentliche Grundlage für die Entwicklung der grünen und kompakten Stadt ist es, die Ziele der Grünflächenplanung und –gestaltung für Klimaschutz und vor allem –anpassung auf unterschiedlichen Handlungsebenen – von der Stadtregion bis zum Stadtquartier - klar zu formulieren und durch Fakten zu stützen. Das Forschungsprojekt aus Manchester (Handley 2006, Gill et al. 2007, 2008, s.a. Pauleit et al. 2011) zeigt einen methodischen Ansatz, um entsprechendes Wissen zu erzeugen.

Literatur:

- Adnot J. et al., 2003. Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners. Final Report, Vol. 1. Study for EC, DG Transportation-Energy (TREN). http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/theme_s/mde/pdf/EECCACfinalvol1.pdf, downloaded 28-03-2011
- Ahern, J., 2011. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning* 100 (4): 341-343.
- Akbari H., Kurn D.M., Bretz S.E., Hanford J.W., 1997. Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings* 25: 139–148.
- Akbari H., Pomerantz M., Taha H., 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70 (3): 295–310.
- Alberti M., Marluff J., 2004. Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7: 241–265.
- Alberti, M. (2008), *Advances in Urban Ecology*. Springer, Berlin.
- Alvem B.-M., Bennerscheidt C., 2009. Baumstandortoptimierung und Regenwasserbewirtschaftung – Chancen für ein ge-

- meinsames Vorgehen. In: Dujesiefken D. (Hg.) Jahrbuch der Baumpflege 2009. Taspo Fachbuchservice, Braunschweig, S. 70-78.
- Andersson E., 2006. Urban landscapes and sustainable cities Ecology and Society,
- Beneke G, 2003. Regenwasser in Stadt und Landschaft – vom Stückwerk zur Raumentwicklung – Plädoyer für eine Umorientierung. Beiträge zur Räumlichen Planung – Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung der Universität Hannover, H. 70.
- BETWIXT 2005. Built EnvironmentT: weather scenarios for investigation of impacts and eXTremes. Daily time-series output and figures from the CRU weather generator [online].http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/betwixt/cruwg_daily/. Accessed 30 June 2008.
- Blanco H., Alberti M., Forsyth A., Krizek K.J., Rodriguez D.A., Talen E., Ellis C., 2009. Hot, congested, crowded and diverse: emerging research agendas in planning. Progress in Planning, 71: 153–205.
- Bühler O., Nielsen C.N., Kristoffersen P., 2006. Growth and phenology of established Tilia cordata street trees in response to different irrigation regimes. Arboriculture & Urban Forestry 32(1):3–9.
- Burkhardt I., Dietrich R., Hoffmann H., Leschnar J., Lohmann K., Schoder F., Schultz A. (eds), 2008. Urbane Wälder. Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz und biologische Vielfalt, 63. Bonn-Bad Godesberg.
- Burton, I., 1996. The growth of adaptation capacity: Practice and policy. In Adapting to climate change: An international perspective, New York: Springer, S. 55–67.
- CEC (Commission of the European Communities), 2007. Adapting to climate change in Europe – options for EU action. COM(2007) 354 final, Brussels.
- Chiesura A., 2004. The role of urban parks for the sustainable city. Landscape and Urban Planning, 68: 129–138.
- Churkina, G., Brown, D.G. Keoleian, G., 2010. Carbon stored in human settlements: the conterminous United States. Global Change Biology, 16: 135–143.
- Colding J., 2007. 'Ecological land-use complementation' for building resilience in urban ecosystems. Landscape and Urban Planning 81: 46–55.
- Crichton D., 2001. The implications of climate change for the insurance industry – an update and outlook to 2020. BRE, Watford.
- De Sherbinin A., Schiller A., Pulsipher A., 2007. The vulnerability of global cities to climate hazards. Environment and Urbanization 19: 39-64.
- DMI (Danish Meteorological Institute), 2007. Klimaet i Danmark i 2100 i forhold til 1990 for A2- og B2-scenariene. http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/fremtidens_klimaaendringer_i_danmark.htm. Accessed 11 April 2010 (in dänisch).
- Dousset B., Gourmelon F., Laaidi K., Zeghnoun A., Giraudet E., Bretin P., Vandentorren S., 2009. Satellite monitoring of summertime heat waves in the Paris metropolitan area. In: The seventh international conference on urban climate, 29 June –3 July 2009, Yokohama, Japan. http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/384388-1-090518140731-002.pdf. Accessed 31 May 2010.
- Eckerberg K., Aalbers C., im Druck. Governance of Peri-Urban Areas and Sustainability: comparative analysis of seven case studies in Europe and China. In: Pauleit S., Bell S., Aalbers C., Nilsson K., Nielsen T.S. (Hg.) Peri-urban futures: land use and sustainability. Springer, Heidelberg.
- EEA (European Environment Agency), 2006. Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. EEA Report No 10/2006. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- EEA (European Environment Agency) (2008) Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. EEA Report No 4/2008. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Eliasson I., Upmanis H., 2000. Nocturnal air flow from urban parks – implications for city ventilation. Theoretical and Applied Climatology, 66: 95–107.
- Fryd O., Jensen M.B., Ingvertsen S.T., Jeppesen J., Magid J., 2010. Doing the first loop of planning for sustainable urban drainage system retrofits: A case study from Odense, Denmark. Urban Water Journal, 7 (6): 367–378.
- Gabriel K.M.A., Endlicher W., 2011. Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. Environmental Pollution 159: 2044-2050.
- Gartland L., 2008. Heat islands. Understanding and mitigating heat islands in urban areas. Earthscan, London.
- Gill S., Handley J., Ennos R., Pauleit S., 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built Environment 30 (1): 97–115.
- Gill S., 2006. Climate Change and Urban Greenspace. Uveröff. Doktorarbeit, School of Environment and Development, University of Manchester.
- Gill S., Handley J., Pauleit S., Ennos R., Theuray N., Lindley S., 2008. Characterising the urban environment of UK cities and

- towns: a template for landscape planning in a changing climate. *Landscape and Urban Planning*, 87: 210–222.
- Goodness C.M., Hall J., Best M., Betts L., Cabantous P.D., Jones P.D., Kilsby C.G., Pearman A., Wallace C.J., 2007. Climate Scenarios and Decision Making under Uncertainty. *Built Environment*, 33 (1): 10-30.
- Hallegatte, S., 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, 19: 240–247.
- Hallegatte S., Hourcade J.-C., Ambrosi P., 2007. Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas. *Climatic Change*, 82: 47–60.
- Handley J., 2006. Adaptation strategies for climate change in the urban environment (ASCCUE). In: Walsh C.L., Hall J.W., Street R.B., Blanksby J., Cassar M., Ekins P., Glendinning S., Goodness C.M., Handley J., Noland R., Watson S.J. (Hg.) *Building knowledge for a changing climate: collaborative research to understand and adapt to the impacts of climate change on infrastructure, the built environment and utilities*. Newcastle University, March 2007, pp 44–53.
http://www.ukcip.org.uk/images/stories/Public_pdfs/BKCC-Results.pdf. Accessed 11 April 2010.
- Heisler G. 1986. Energy savings with trees. *Journal of Arboriculture* 12 (5): 113–125.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *International institute for applied systems analysis. Annual Review of Ecology and Systematics* 1–23.
- Howard J., 2009. Climate change mitigation and adaptation in developed nations: A critical perspective on the adaptation turn in urban climate planning. In Davoudi S., Crawford C., Mehmood A. (Hg.) *Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners*. Earthscan, London, pp. 19-32.
- Huang J., Ritschard R., Sampson N., Taha H., 1992. The benefits of urban trees. In: Akbari H, Davis S, Dorsano S, Huang J, Winnett S (Hg.) *Cooling our communities*. US Environmental Protection Agency, Washington DC, S. 27–42.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the inter-governmental panel on climate change* [Core Writing Team, Pachauri R.K., Reisinger A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- James P., Tzoulasa K., Adams M.D. Barber A. Box J., Breuste J, Elmquist T., Frith M., Gordon C., Greening K.L., Handley J., Haworth S., Kazmierczak A. E., Johnston M., Korpela K., Moretti M., Niemela J., Pauleit S. Roe M. H., Sadler J. P. Ward Thompson C., 2009. Towards an integrated understanding of greenspace in the European built environment *Urban Forestry & Urban Greening*, 8: 65–75.
- Jendritzky G, 2008: The assessment of the thermal environment. In: H Mayer (Hg.): *Celebrating the 50 Years of the Meteorological Institute, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany*. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 17, 153-164
- Jenks C., Jones M., 2010. *Dimensions of the sustainable city*. Springer, Heidelberg.
- Katzschner L., 2011. *Thermischer Komfort im städtischen Außenraum*. Vortrag auf dem Forum Building Science 2011, Krems, Powerpointfolien, www.donauuni.ac.at/imperia/md/content/department/baenumwelt/veranstaltungen/ke_4_katzschner_thermischer_komfort.pdf, heruntergeladen am 22.10.2011.
- Knez, I., Thorsson, S., 2006. Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *International Journal of Biometeorology*, 50, 258–268.
- Landsberg H.E., 1981. *The urban climate*. Academic, New York.
- Lindley, S.J, Handley, J.F., Theuray, N., Peet, E., Mcevoy, D., 2006. Adaptation strategies for climate change in the urban environment: assessing climate change related risk in UK urban areas. *Journal of Risk Research*, 9: 543-568.
- Madsen H., Arnbjerg-Nielsen K., Mikkelsen P.S., 2009. Update of regional intensity-duration-frequency curves in Denmark: tendency towards increased storm intensities. *Atmospheric Research* 92 (3): 343–349.
- Mayer, H., 2010: *Hitzestress im Stadtquartier*. *Garten+Landschaft* 120, 4/2010, 8-11.
- McGranahan G., Balk D., Anderson B., 2007. *The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones*. *Environment and Urbanization*, 19 (1): 17–37.
- McPherson E.G., Nowak D.L., Rowntree R.A. (Hg.), 1994. *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. USDA Forest Service General Technical Report NE-186, Radnor, Pennsylvania.
- Mehrotra S., Natenzon C.E., Omojola A., Folorunsho R., Gilbride J., Rosenzweig C., 2009. Framework for city climate risk assessment. In: *Fifth urban research symposium 2009, Marseille, June 28–30, 2009*. <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387->

- 1256566800920/6505269-1268260567624/Rosenzweig.pdf. Accessed 31 May 2010.
- Newman P., Kenworthy J.R., 1989. Sustainability and cities: overcoming automobile dependence. Island, Washington DC.
- Nikolopoulou, M., Steemers, K., 2003. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35: 95–101.
- Nilsson K., Nielsen T.S., Pauleit S., 2008. Integrated European research on sustainable development and peri-urban landuse relationships. *Urbanistica* 138:106–109.
- Nowak D.J., 2002. The effects of urban forests on the physical environment. In: Randrup TB, Konijnendijk CC, Christophersen T, Nilsson K (Hg.) COST action E12 'Urban Forests and Urban Trees'. Proceedings No. 1. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, S. 22–42.
- Oke T.R., 1987. Boundary layer climates, 4. Aufl. Routledge, London, New York.
- Oke T. R., 1997. Urban climates and global change. In: Perry A., Thompson R. (Hg.) *Applied climatology: principles and practice*. Routledge, London, pp 273–287.
- O'Meara M., 1999. Reinventing cities for people and the planet. Worldwatch Paper, 147. Worldwatch Institute, Washington, DC.
- Parry M., Carter T., 1998. Climate impact and adaptation assessment. Earthscan, London.
- Pauleit S., 1998. Das Umweltwirkgefüge städtischer Siedlungsstrukturen. Darstellung des städtischen Ökosystems durch eine Strukturtypenkartierung zur Bestimmung von Umweltqualitätszielen für die Stadtplanung. Dissertation, TU München, Schriftenreihe „Landschaftsökologie Weißenstephan“, Verlag Freunde der Landschaftsökologie Weißenstephan e.V., Freising, Heft 12.
- Pauleit S., Golding Y., Ennos R., 2005. Modelling the environmental impacts of urban land use and land cover change – a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 71 (2–4): 295–310.
- Pauleit S., Fryd, O., Backhaus A., Jensen M.B., im Druck. Green infrastructure to face climate change in an urbanizing world. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer, Berlin.
- Pauleit S., Liu L., Ahern J., Kazmierczak A., 2011. Multifunctional green infrastructure planning to promote ecological services in the city. In: Niemelä J. (Hg.) *Handbook of Urban Ecology*, Oxford University Press, Oxford, S. 272–285.
- Pelling M., 2003. The Vulnerability of Cities: Natural Disaster and Social Resilience: Natural Disasters and Social Resilience. Earthscan, London.
- Pickett S.T.A., Cadenasso M.L., Grove J.M., 2004. Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning*, 69: 369–384.
- Potchter O., Holst J., Shashua-Bar L., Cohe, S., Yaako, Y., Tanny J., Bar-Kutiel P., Mayer H., 2010: Comparative study of trees impact on human thermal comfort in urban streets under hot-arid and temperate climates. *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg*, Nr. 20: 467–472.
- Robel F., Hoffmann U., Riekert A., 1978. Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot-Thermographie. *Beiträge zur Stadtentwicklung* Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart.
- Robine J.M., Cheung S.L., Le Roy S., Van Oyen H., Herrmann S.R., 2008. Report on excess mortality in Europe during summer 2003. EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114. http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf. Accessed 27 Jan 2010.
- Roloff A., Korn S., Gillner S., 2009. The climate-species-matrix to select tree species for urban habitats considering climate change. *Urban Forestry and Urban Greening*, 8: 295–308.
- Rosenzweig C., Karoly D., Vicarelli M., Neofotis P., Wu Q., Casassa G., Menzel A., Root T. L., Estrella N., Seguin B., Tryjanowski P., Liu C., Rawlins S., and Imeson, A., 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453: 353–357.
- Santamouris M., Pavloua C., Doukasa P., Michalakakoub G., Synnefaa A., Hatzibiroso A., Patargias P., 2007. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy* 32 (9): 1781–1788.
- Saiz S., Kennedy C., Bass B., Pressnail K., 2006. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental Science and Technology* 40: 4312–4316.
- Satterthwaite D., 2008. Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and Urbanization* 20: 539–549.
- Schmidt M., 2008. Gebäudebegrünung und Verdunstung. *Garten und Landschaft*, 1/2008: 15–18.

- Schwarz N., Seppelt R., 2009. Analyzing Vulnerability of European Cities Resulting from Urban Heat Island. Vortrag, 5. Urban Research Symposium in Marseille.
- Sieker F., Sieker H., Bandermann S., 2003. Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. 3. Aufl., Expert-Verlag, Malmsberg.
- Tosics I., im Druck. Sustainable land use in peri-urban areas: government, planning and financial instruments. In: Pauleit S., Bell S., Aalbers C., Nilsson K., Nielsen T.S. (Hg.) Peri-urban futures: land use and sustainability. Springer, Heidelberg.
- Tyrväinen L., Pauleit S., Seeland K., de Vries S., 2005. Benefits and uses of urban forests and trees: a European perspective. In: Konijnendijk CC, Nilsson K, Randrup TB, Schipperijn J (Hg.) Urban forests and trees in Europe – a reference book. Springer, Berlin, S. 81–114.
- Tzoulas K., Korpela K., Venn S., Yli-Pelkonen V., Kazmierczak A., Niemela J., James P., 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81 (3): 167–178.
- UN (United Nations), 2008. World urbanization prospects: the 2007 revision. United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division, New York.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2001. Inside the greenhouse: a state and local resource on global warming. USEPA, Washington DC.
- Von Stülpnagel A., 1987. Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen, dargestellt am Beispiel von Berlin (West). Doktorarbeit, TU Berlin, Berlin.
- Voogt J.A., 2004. Urban heat islands: hotter cities. ActionBioscience.org, American Institute of Biological Sciences. <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>. Accessed 07 May 2010.
- Watts M., Goodess C.M., Jones .P.D., 2004. The CRU daily weather generator. Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich.
- Whitford V., Ennos A.R., Handley J.F., 2001. "City form and natural process" – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 57 (2): 91–103.
- Wilbanks T., Romero Lankao P., Bao M., Berkhout F., Cairncross S., Ceron J.-P., Kapshe M., Muir-Wood R., Zapata-Marti R., 2007. „Industry, Settlement and Society“ in Parry M, Canziani O, Palutikof J, van der Linden P, Hanson C (eds) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wilby R.L., 2007. A review of climate change impacts on the built environment. *Built Environment*, 33 (1): 31–45.
- Willows, R., Connell, R. (Hg.), 2003. *Climate adaptation: risk, uncertainty and decision-making*, Oxford, UKCIP.
- Wilson, E., Nicol, F., Nanayakkara, L., Ueberjahn-Tritta, A., 2008. Public Urban Open Space and Human Thermal Comfort: The Implications of Alternative Climate Change and Socio-economic Scenarios. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 10 (1): 31-45.

Ergänzende Angaben zu Quellen der Abbildungen

- Abb. 2: Nachdruck mit Genehmigung des Springer Verlags
- Abb. 3: Nachdruck mit Genehmigung des Autors
- Abb. 4: Nachdruck mit Genehmigung des Elsevier Verlags
- Abb. 5: Nachdruck mit Genehmigung der Autorin
- Abb. 6: Nachdruck mit Genehmigung von Alexandrine Press
- Abb. 7: Nachdruck mit Genehmigung von Alexandrine Press
- Abb 8: Nachdruck mit Genehmigung der Autorin

Autorenanschrift:

Prof. Dr. Stephan Pauleit
Technische Universität München
Hans-Carl-v.-Carlowitz-Platz 2
85354 Freising
pauleit@wzw.tum.de

Hitzestress im Stadtquartier

Heat stress within the urban quarter

HELMUT MAYER und JUTTA HOLST

Zusammenfassung

Städte sind in atmosphärische Hintergrundbedingungen auf regionaler Ebene eingebettet. Diese werden in Städten durch die urbanen Strukturen und Prozesse modifiziert, so dass sich ein lokales Stadtklima ausbildet. Charakteristisch dafür sind spezifische urbane Mikroklimata und damit differierende human-biometeorologische Bedingungen. Sie stellen in der Regel eine Belastung für Stadtbewohner dar. In mitteleuropäischen Städten wird sie durch das Zusammenwirken von Erscheinungsformen des regionalen Klimawandels (insbesondere Intensivierung von Hitzewellen) und städtebaulicher Dynamik verstärkt. Damit erhöht sich die Belastung zu Stress für Stadtbewohner, was unter Berücksichtigung des demographischen Wandels, insbesondere des Anwachsens der Risikogruppe „Senioren“, einen stadtplanerischen Handlungsbedarf verursacht. Die Stadtplanung steht vor der Herausforderung, geeignete Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen, mit denen sich der großräumig vorgegebene Hitzestress lokal reduzieren lässt. Dafür werden grundlegende Erkenntnisse aus der urbanen Human-Biometeorologie benötigt. Sie beziehen sich (i) auf Verfahren, mit denen sich Hitze so bewerten lässt, dass sie für Menschen relevant ist, was zur Anwendung von thermischen Bewertungsindizes führt, und (ii) auf meteorologische Größen, die die Wahrnehmung von Hitze durch Stadtbewohner entscheidend beeinflussen. Bei großräumiger Hitze in Mitteleuropa lässt sich die thermische Belastung für Stadtbewohner nicht allein über die Lufttemperatur quantifizieren. Die größte Bedeutung geht tagsüber von der mittleren Strahlungstemperatur aus. Daher sollten stadtplanerische Maßnahmen, die an der lokalen Reduzierung von Hitzestress in Stadtquartieren orientiert sind, primär darauf abzielen, die mittlere Strahlungstemperatur zu erniedrigen. Dies lässt sich am effektivsten über die Abschattung der direkten Sonnenstrahlung durch breite Kronen von Laubbäumen erreichen. Ergebnisse aus human-biometeorologischen Fallstudien, die in verschiedenen Stadtquartieren in Freiburg (Südwestdeutschland) durchgeführt wurden, belegen, dass sich tagsüber die Wahrnehmung von Hitze durch Menschen im städtischen Freiraum lokal durch Straßenbäume um zwei thermophysiologische Empfindungsstufen reduzieren lässt.

Regionaler Klimawandel, Hitzestress, urbane Human-Biometeorologie, thermische Bewertungsindizes, mittlere Strahlungstemperatur, Straßenbäume

Summary

Cities are embedded in a setting of regional atmospheric conditions. Within cities, they are modified by urban structures and processes leading to different local climate zones and, therefore, varying human-biometeorological conditions. Usually this constitutes a strain on citizens. In Central European cities, these conditions are amplified by the combination of the effects of regional climate change (particularly the increase of heat waves), urban dynamics as well as the demographic development of urban population and actually can become a real stress factor. Thus, it is the challenge of urban planning to develop and implement suitable methods to reduce locally large-scale conditions of heat stress. For that, fundamental findings of urban human-biometeorology are of advantage. They refer (i) to methods, by which heat can be assessed in a human-biometeorologically significant way, which leads to the application of thermal assessment indices, and (ii) to meteorological variables, which crucially affect the perception of heat by citizens. During large-scale heat waves in Central Europe, the perception of heat by citizens cannot be quantified by air temperature alone. The most important factor is the local mean radiant temperature. Therefore, urban planning methods oriented to mitigate heat stress within urban quarters should be primarily aimed at lowering the mean radiant temperature. Most effectively, this can be achieved through the shading of direct solar radiation by broad canopies of deciduous trees. Results from human-biometeorological case studies conducted in different urban quarters within the city of Freiburg (southwestern Germany) show that street trees reduce the local perception of heat by citizens below the canopy by two thermo-physiological sensation levels.

1. Urbane Mikroklimata

Das Klima einer Stadt hängt von den regionalen atmosphärischen Hintergrundbedingungen ab (Mayer et al. 2008; Kuttler 2010 a). Diese atmosphärische Hintergrundsituation wird zum einen durch die jeweilige großräumige Wetterlage, durch die regionale Topographie und Landnutzung selbst beeinflusst und zum anderen wird sie in Städten durch das Muster von Baukörperstrukturen, die besonderen Raumnutzungen und dort ablaufenden Prozesse um ein $\pm\Delta$ verändert (Holst & Mayer 2010). Es handelt sich dabei um keine konstante Größenverschiebung, sondern um eine Funktion, die von den genannten und weiteren Variablen dynamisch variiert wird. So hängt $\pm\Delta$ z.B. von Wetterlage, Zeit (Tages- und Jahreszeit) und Raumnutzung (lokaler Standort) ab. $\pm\Delta$ bezieht sich sowohl auf meteorologische Variable, z.B. Lufttemperatur, Dampfdruck oder Windvektorkomponenten, als auch auf Luftkomponenten, z.B. Stickstoffdioxid, bodennahes Ozon oder Feinstaub. Aus $\pm\Delta$ resultiert das Stadtklima, wenn eine Stadt als Ganzes im Vergleich zum ländlichen Umland aufgefasst wird. Bei innerstädtischer Differenzierung, wie sie für Fragen der Stadtplanung von Bedeutung ist, ergeben sich verschiedene urbane Mikroklimata. Diese lassen sich nach dem Konzept der „local climate zones“ (Stewart & Oke 2010) in entsprechende stadtklimatische Teilräume untergliedern. Die verschiedenen „local climate zones“ führen zu unterschiedlichen human-biometeorologischen Bedingungen für Stadtbewohner, die fast durchweg über die Beeinträchtigung von Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden eine Belastung für den Organismus der Menschen in den Städten darstellen (Mayer 1993).

2. Regionaler Klimawandel

Simulationen zum regionalen Klimawandel mit geeigneten Klimamodellen benötigen als Eingangsvariable Ergebnisse aus Simulationen mit globalen Klimamodellen. Da die räumliche Auflösung von regionalen Klimamodellen deutlich höher als bei globalen Klimamodellen ist, haben sie für regionale Fragestellungen einen besonderen Stellenwert.

Der regionale Klimawandel hat zwei Erscheinungsformen: Trends von Klimavariablen und Extremwetter, das in die Trends eingelagert ist. Für Städte in Mitteleuropa stellen extreme Hitze und konvektive Niederschläge die Ausprägungen von Extremwetter dar, auf die mit geeigneten Maßnahmen zu reagieren ist. Spätestens seit den beiden extremen Hitzewellen im Juni und August 2003 in Mittel- und Westeuropa ist die Stadtbevölkerung für extreme Hitze sensibilisiert (Matzarakis et al. 2009), da sie, wie die folgenden Sommer 2006, 2009 und

2010 zeigten, gehäuft auftritt, länger andauert und intensiver ist. Daraus resultieren Akkumulationseffekte in der Belastung für Menschen und Pflanzen in der Stadt.

Durch Trends von Klimavariablen und eingelagertem Extremwetter verändern sich die regionalen atmosphärischen Hintergrundbedingungen von Städten. Aus Ergebnissen von regionaler Klimasimulationen für Mitteleuropa folgt, dass sich nicht nur die bodennahe Lufttemperatur erhöhen, sondern sich auch der Hitzetrend, der sich in Mitteleuropa im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts bereits angedeutet hat, erheblich verstärken wird (Rowell & Jones 2006). Diese Art von Extremwetter ist großräumig vorgegeben, kann sich aber lokal in Abhängigkeit vom Muster der Stadtstrukturen einschließlich des Straßendesigns verschärfen.

Durch die Kombination von regionalem Klimawandel, Dynamik des Stadtklimas und demographischer Entwicklung der Stadtbevölkerung verstärken sich die Belastungen, die das Stadtklima ohnehin auf Stadtbewohner in Mitteleuropa ausübt, zu einer Stresssituation. Sie kann erhebliche negative Auswirkungen auf die Gesundheit von Stadtbewohnern haben, die sich über eine erhöhte Morbidität bis zu einem Anstieg der Mortalität zeigen.

Obwohl in Mitteleuropa die urbanen Strukturen im Bereich von Gebäuden, Raumnutzungen und Prozessen weitgehend vorgegeben und in den Grundstrukturen kaum veränderbar sind, gibt es dennoch Spielräume für Flächennutzungen, bauliche Verdichtungen und effizientere Energienutzungen. Das Schlagwort der Stadtplanung lautet derzeit: *Die Herausforderung liegt im Bestand.*

3. Urbane Human-Biometeorologie

In Mitteleuropa tritt extreme Hitze entweder in Form von trockener oder feuchter Hitze auf. Umgangssprachlich wird feuchte Hitze als „Schwüle“ bezeichnet. Da es sich dabei um eine ausgesprochen subjektive Empfindung handelt, die sich nicht über objektivierte Ansätze in reproduzierbarer Form beschreiben lässt, wird „Schwüle“ in der Human-Biometeorologie durch „feuchte Wärmebelastung“ ersetzt und über Methoden quantifiziert, die auf der Energiebilanz des Menschen basieren (Höppe 1993).

Für Stadtbewohner lässt sich die Problematik der Hitzebelastung in zwei verschiedene Handlungskategorien einordnen, auf die die Stadtplanung konzeptionell und durch konkrete planerische Maßnahmen reagieren sollte. Tagsüber gilt es, den Hitzeeintrag in städtische Freiräume zu reduzieren, während nachts die Hitze in Innenräumen einzuschränken ist. Die

in Bezug auf Stadtbewohner bewertete Hitze erreicht tagsüber im städtischen Freiraum ein deutlich höheres Niveau als nachts in den Innenräumen (Mayer et al. 2008). Allerdings kann die nächtliche Hitze belästigend bis gesundheitsgefährdend wirken, weil die physiologischen Anpassungsmöglichkeiten an thermische Belastungen nachts herabgesetzt sind und somit die Menschen anfälliger für Hitze macht (Höppe 2002; Schmidt et al. 2011).

Extreme Hitze stellt für Städte in Mitteleuropa ein in der Zukunft zunehmendes Problem dar, u.a. deshalb, weil die dortige Stadtbevölkerung an dieses Phänomen bisher nicht angepasst ist. Damit entsteht für die Stadtplanung auf verschiedenen räumlichen Skalen, von der Stadtregion bis zum einzelnen Baublock, ein Handlungsbedarf, Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen, mit denen sich die Auswirkungen von großräumiger Hitze auf Stadtbewohner reduzieren lassen (Mitigation). Dabei sind auch die Grenzen stadtplanerischer Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen. So stellt sich z.B. die Frage, ob und inwieweit solche Maßnahmen vor dem Hintergrund von trockener und feuchter Hitze überhaupt effektiv sind. Wenn feuchte Hitze auftritt, dann weist nicht nur die Lufttemperatur, sondern auch der Dampfdruck relativ hohe Werte auf. Beim Dampfdruck handelt es sich jedoch um eine meteorologische Variable, die sich lokal nur marginal verändern lässt. Falls das Niveau der Lufttemperatur nicht grundsätzlich herabgesetzt werden kann, gibt

es bei feuchter Hitze kaum effektive Planungsmaßnahmen, die zu einer thermophysiologischen Entlastung von Menschen in der Stadt führen.

Für die Entwicklung von Mitigationsmaßnahmen benötigt die Stadtplanung methodische Grundlagen aus der urbanen Human-Biometeorologie. Dazu zählen Verfahren, mit denen sich Hitze in einer Art bewerten lässt, die für human-biometeorologisch relevante Aussagen über thermische Belastungen von Stadtbewohnern einsetzbar sind.

Die dafür vorhandenen Methoden, die auf der Energiebilanz von Menschen beruhen, beziehen sich immer auf ein Kollektiv von Menschen, weil sich ihre individuellen Eigenschaften bis jetzt noch nicht in Form eines physikalischen-thermophysiologischen Konzepts beschreiben lassen. Aus pragmatischen Gründen wird das Kollektiv von Menschen durch eine standardisierte human-biometeorologische Referenzperson symbolisiert, die eine stehende Position einnimmt.

Am Beispiel des weltweit verwendeten thermophysiologischen Bewertungsindex „physiologisch äquivalente Temperatur PET“ (Mayer & Höppe 1987) wird die Methode zur human-biometeorologisch signifikanten Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas in der Abb. 1 schematisch erläutert.

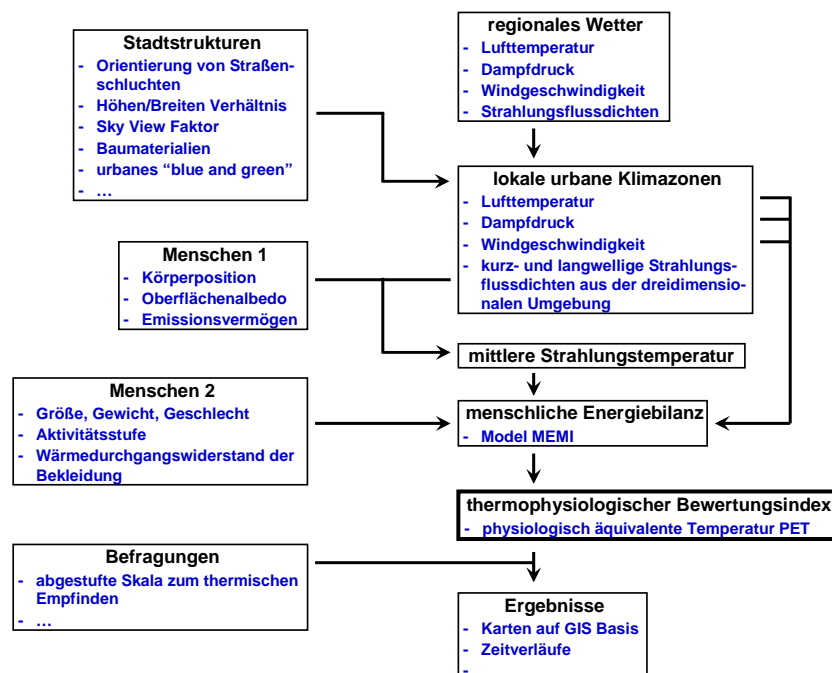


Abb. 1: Schema zur human-biometeorologisch relevanten Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas über die physiologisch äquivalente Temperatur PET als thermophysiologischer Bewertungsindex (nach Holst & Mayer 2010)

Daraus geht hervor: (i) das regionale Wettergeschehen wird durch Stadtstrukturen so modifiziert, dass lokale urbane Klimazonen entstehen, die sich über die meteorologischen Variablen charakterisieren lassen, die für die menschliche Energiebilanz von Bedeutung sind; (ii) physikalische Kenngrößen von Menschen bilden weitere Einflussgrößen für die menschliche Energiebilanz; (iii) der zu berechnende thermophysiological Bewertungsindex ist aus der menschlichen Energiebilanz abgeleitet; (iv) der Bewertungsindex PET beruht auf der Modellversion MEMI (Höppe 1984, 1993) der menschlichen Energiebilanz; (v) aus Ergebnissen von Befragungen der Stadtbewohner über ihre aktuelle Wahrnehmung von Wärme bzw. Hitze lassen sich die PET Resultate graduell abstufen und damit in einer GIS basierten Form darstellen, die im Abwägungsprozesse der Stadtplanung benutzt werden kann, und (vi) über die Einbeziehung von Befragungsergebnissen lässt sich die Akklimatisation von Stadtbewohnern an ihre atmosphärische Hintergrundsituation berücksichtigen.

Die meteorologischen Variablen, die in Stadtstrukturen zur lokalen Berechnung von PET benötigt werden, können entweder über direkte Messungen vor Ort (Mayer et al. 2008; Holst & Mayer 2010) oder über Simulationen mit geeigneten mikroskaligen Modellen (z.B. ENVI-met) ermittelt werden.

4. Mitigationsmaßnahmen zur lokalen Abschwächung der human-biometeorologischen Auswirkungen von großräumiger Hitze

4.1 Übersicht

Für Städte in Mitteleuropa stellt extreme Hitze ein Phänomen im Sommer dar. In dieser Jahreszeit ist der Tag länger als die Nacht. Die unterschiedlich langen Tag- und Nachtzeiten bilden die Rahmenbedingungen für Planungsmaßnahmen, die auf die Aufrechterhaltung von thermischem Komfort für Stadtbewohner bei großräumiger Hitze abzielen. Primär sollten die Planungsmaßnahmen zu einer Reduzierung des Eintrags von Hitze tagsüber in die Stadt führen, und zwar in allen Planungsebenen bzw. urbanen Raumskalen. Ziele des Umweltschutzes sollten dabei eingehalten werden, wie etwa die Vermeidung von elektrisch angetriebenen Klimaanlage.

Sekundär muss die primäre Zielsetzung durch die Sicherung einer ausreichenden Belüftung unterstützt werden. Städte in komplexem Gelände, wie z.B. Freiburg oder Stuttgart, profitieren hier vom nächtlichen Kaltluftabfluss am Hang und nächtlichen Bergwind („Höllentäler“ in Freiburg). Städte an der Meeresküste oder

an großen Seen kommen tagsüber in den Genuss der kühlenden Wirkung des Seewinds.

Der Eintrag von Hitze in Stadtquartiere während des Tages lässt sich am wirkungsvollsten über eine sinnvolle Kombination von verschiedenen Maßnahmen reduzieren, die auf die Abschattung der direkten Sonnenstrahlung ausgerichtet sind: (i) Förderung von „urban green“, z.B. über Straßenbäume, Dach- und Fassadenbegrünung, Vorgärten, Straßenbegleitgrün und größere, zusammenhängende urbane Grünflächen, (ii) optimiertes Straßen- und Gebäudedesign einschließlich der Verwendung von „kühlen“ Baumaterialien und (iii) Verschattung von Hausdächern durch Anlagen für solare Energiesysteme. Größere, zusammenhängende Wasserflächen in der Stadt sind hier wirkungslos, weil sich dadurch die direkte Sonnenstrahlung nicht beeinflussen lässt.

4.2 Human-biometeorologische Wirkung von Baumkronen

Zur Abschattung der direkten Sonnenstrahlung eignet sich, wie in Mittelmeerländern schon lange praktiziert, ein optimiertes Straßen- und Gebäudedesign, das durch Arkaden, Markisen, Sonnenschirme oder weitere Abschattungsvorrichtungen wie in subtropischen Ländern (Abb. 2) unterstützt wird.

Die räumlichen Muster der mitteleuropäischen Städte und die Bauweise der Gebäude sind jedoch nach anderen Kriterien ausgerichtet und lassen sich daher nicht ohne weiteres verändern. Daher kann das Straßen- und Gebäudedesign nicht immer im erforderlichen Ausmaß so optimiert werden, dass die gewünschte lokale Reduzierung von Hitzestress für Stadtbewohner erzielt wird. Aus diesem Grund gewinnt in mitteleuropäischen Städten die Förderung von „urban green“ erheblich an Bedeutung.



Abb. 2: Beispiel für die Abschattung der direkten Sonnenstrahlung in einer subtropischen Stadt (Jaffa, Israel)



Abb. 3: Beispiel für die human-biometeorologische Wirkung der Abschattung der direkten Sonnenstrahlung in einem Innenhof in Freiburg (Südwestdeutschland)

Jeder Stadtbewohner hat selbst schon erfahren, dass bei großräumiger Hitze der Aufenthalt unter den breiten Kronen von Laubbäumen (Abb. 3) als thermisch angenehm empfunden wird. Im Gegensatz zur Abschattung der direkten Sonnenstrahlung durch Arkaden, Markisen oder Sonnenschirme weisen Laubbäume noch weitere Effekte auf, die von Stadtbewohnern als positiv empfunden werden. Durch die dreidimensionale Struktur von Baumkronen und die dort erfolgende Transpiration erreichen der Strahlungshaushalt und der turbulente Strom fühlbarer Wärme ein vergleichsweise niedrigeres Niveau. Zu berücksichtigen ist auch die psychologische Wirkung von Baumkronen auf Menschen, weil sie deren grüne Farbe als angenehm empfinden.

Für Planungszwecke ist es erforderlich, dass die qualitative Wahrnehmung der Stadtbewohner, sich im abgeschatteten Bereich unter Baumkronen thermisch wohlfühlen, so quantifiziert wird, dass sie eine human-biometeorologische Relevanz hat. Das wird im Folgenden exemplarisch durch Ergebnisse einer Fallstudie erläutert, die am 24. Juli 2008, einem typischen mitteleuropäischen Sommertag, in einer Ost-West orientierten Straßenschlucht im Freiburger Stadtteil Vauban (Südwestdeutschland) durchgeführt wurde. An zwei Standorten auf dem nördlichen Bürgersteig dieser Straßenschlucht wurden über eine spezielle human-biometeorologische Station alle meteorologischen Parameter gemessen, die für die Berechnung des thermischen Indexes PET notwendig sind.

Beide Standorte waren ca. 100 m voneinander entfernt. Sie unterschieden sich jedoch deutlich dadurch, dass der eine Standort (Sky View Factor, bestimmt über die Auswertung nur des

südlichen Halbraums (90° - 270°) eines fish-eye Fotos der oberen Hemisphäre, SVF_{90-270} : 6 %) weitgehend durch die Kronen von Kastanienbäumen abgeschattet war (Anteil der Baumkronen im südlichen Halbraum des fish-eye Fotos der oberen Hemisphäre: 81 %), während der zweite Standort (SVF_{90-270} : 70 %) fast keine Abschattung durch Baumkronen aufwies (Anteil der Baumkronen im südlichen Halbraum des fish-eye Fotos der oberen Hemisphäre: 13 %) und damit aufgrund seiner Exposition nach Süden weitgehend besonnt war.

Frühere Analysen (Holst & Mayer 2010) haben gezeigt, dass es wegen der Wärmewirkung der direkten Sonnenstrahlung zweckmäßig ist, die Quantifizierung der Abschattung nicht auf das gesamte fish-eye Foto der oberen Hemisphäre zu beziehen, sondern nur den Ausschnitt 90° - 270° , d.h. von Ost über Süd nach West bzw. den südlichen Halbraum, zu berücksichtigen.

Der Verlauf der bodennahen Lufttemperatur T_a unterschied sich am Vormittag zwischen den beiden Standorten kaum (Abb. 4). Erst ab Mittag war T_a am abgeschatteten Standort etwas niedriger. Dieser Abschattungseffekt in Bezug auf T_a erreichte maximal -1.7° C. Er lag damit in der Größenordnung der aus der Literatur bekannten T_a Werte (maximal -3° C).

Die mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} , die ein Maß für die von der human-biometeorologischen Referenzperson absorbierte Strahlungswärme darstellt, wurde in dieser Fallstudie nach dem Verfahren von Höppe (1992) über Messungen der kurz- und langwelligen Strahlungsflussdichten aus dem dreidimensionalen Raum bestimmt, der diese Referenzperson umgibt.

Bei T_{mrt} fällt das deutlich höhere Niveau am besonnten Standort mit T_{mrt} Werten von über 60° C am Nachmittag auf (Abb. 5). Ab 10 Uhr, dem Zeitpunkt, ab dem der Standort unter den Baumkronen abgeschattet war, traten für T_{mrt} höhere Unterschiede zwischen den beiden Standorten auf, als sie für T_a ermittelt wurden. Sie waren hauptsächlich durch die Abschattung der direkten Sonnenstrahlung und somit durch die Veränderung des Strahlungshaushalts unter den Baumkronen verursacht. Unter dem Kronenschirm war T_{mrt} um maximal -37.6° C niedriger.

Die unterschiedlichen Werte des lokalen Strahlungshaushalts spiegeln sich auch in der Differenz zwischen T_{mrt} und T_a an beiden Standorten wider (Abb. 6). Sie erreichte am besonnten Standort mit maximal 39.9° C ein wesentlich höheres Ausmaß als am abgeschatteten Standort (maximal 9.4° C im Zeitraum der Abschattungswirkung).

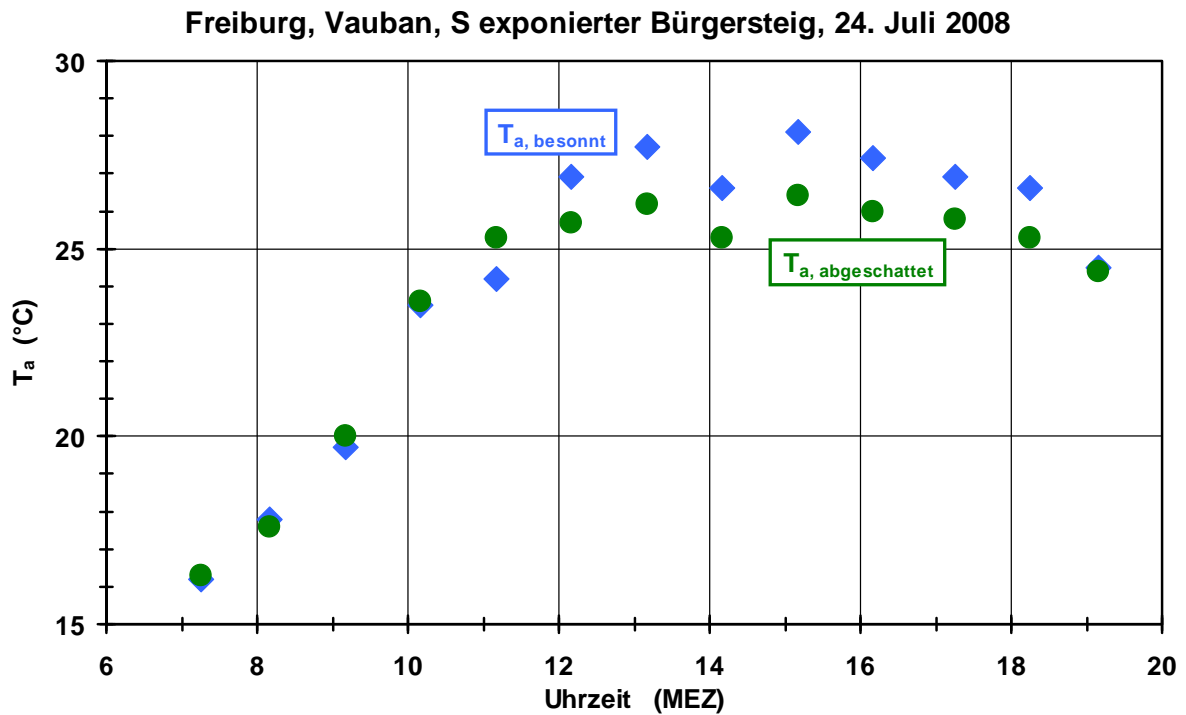


Abb. 4: Lufttemperatur T_a in der human-biometeorologischen Standardmesshöhe von 1.1 m Höhe über Grund an einem besonnten und einem benachbarten, aber durch Baumkronen abgeschatteten Standort auf einem nach Süden exponierten Bürgersteig einer Ost-West orientierten Straßenschlucht in Freiburg an einem typischen Sommertag

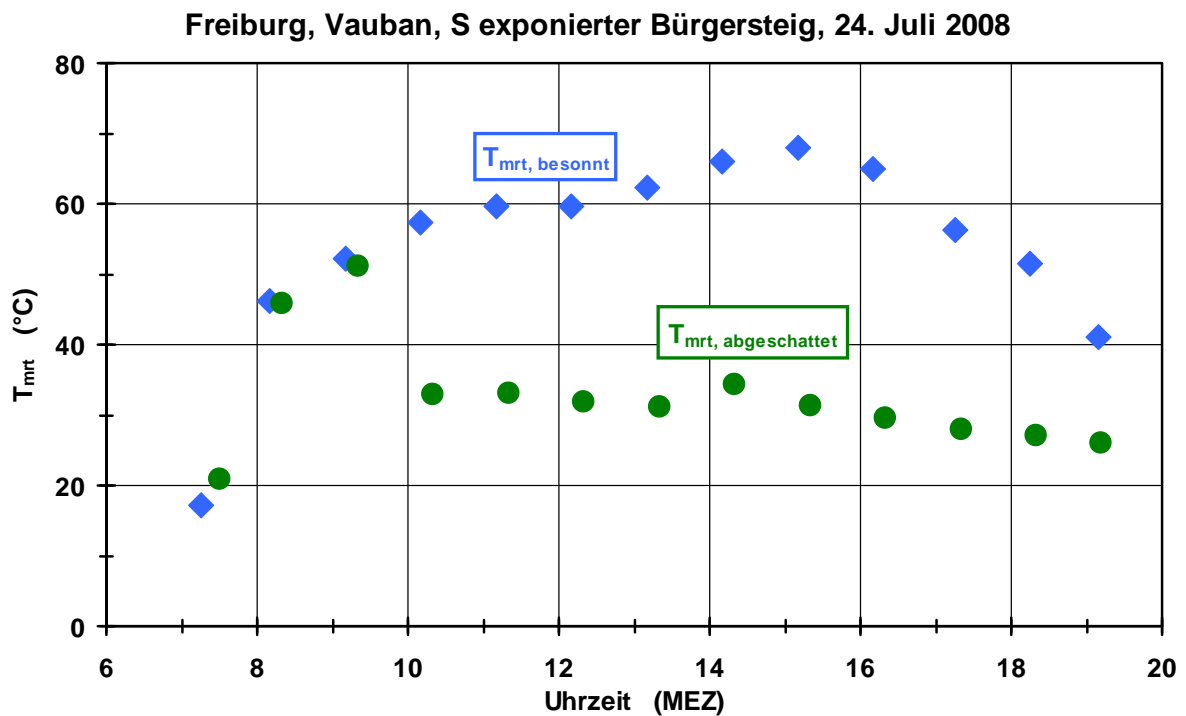


Abb. 5: Mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} in der human-biometeorologischen Standardmesshöhe von 1.1 m Höhe über Grund an einem besonnten und einem benachbarten, aber durch Baumkronen abgeschatteten Standort auf einem nach Süden exponierten Bürgersteig einer Ost-West orientierten Straßenschlucht in Freiburg an einem typischen Sommertag

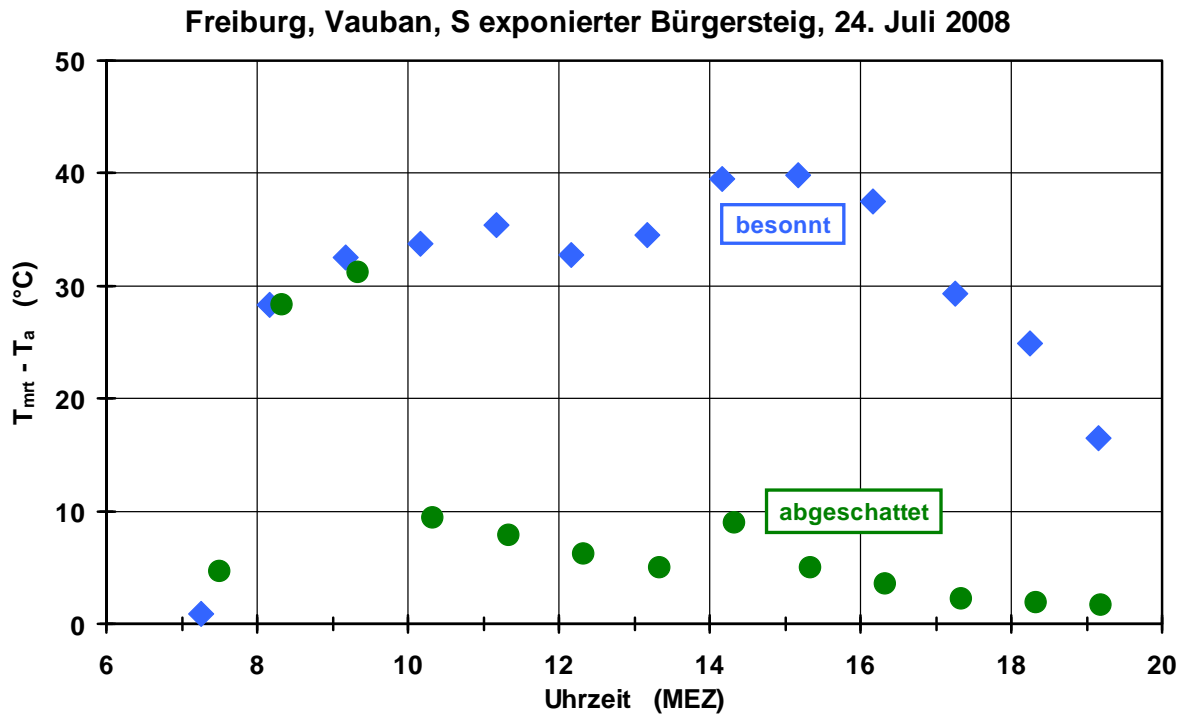


Abb. 6: Differenz zwischen mittlerer Strahlungstemperatur T_{mrt} und Lufttemperatur T_a in der human-biometeorologischen Standardmesshöhe von 1.1 m Höhe über Grund an einem besonnten und einem benachbarten, aber durch Baumkronen abgeschatteten Standort auf einem nach Süden exponierten Bürgersteig einer Ost-West orientierten Straßenschlucht in Freiburg an einem typischen Sommertag

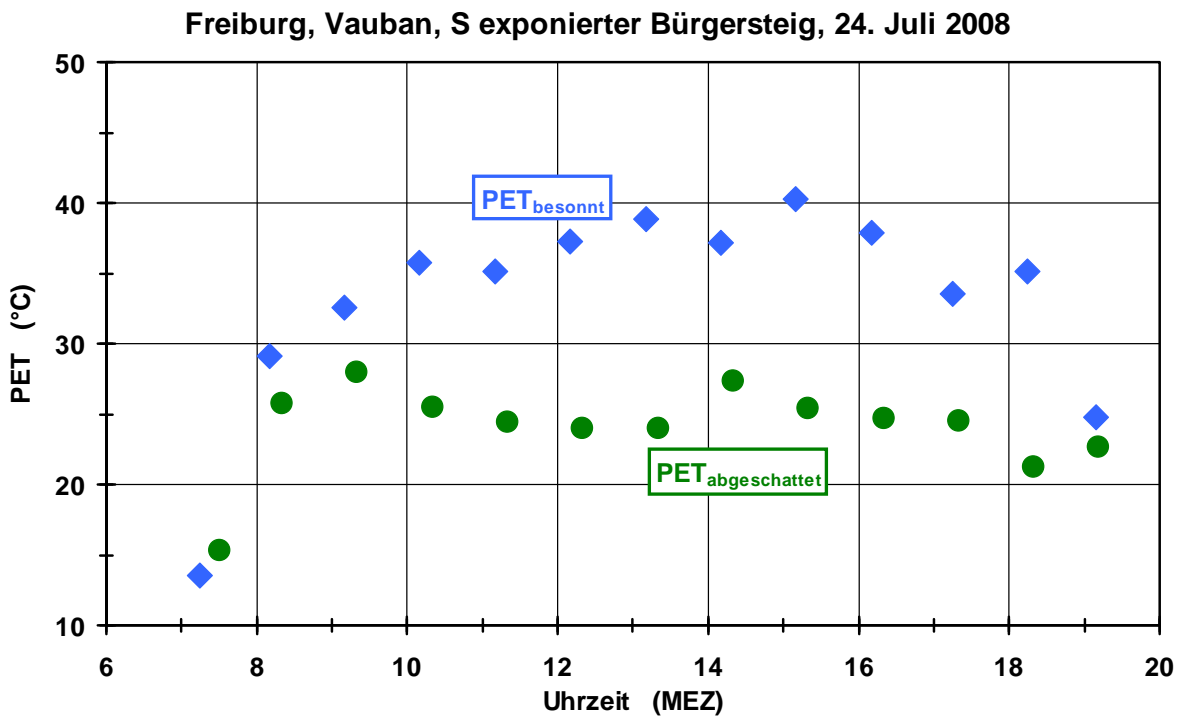


Abb. 7: Physiologisch äquivalente Temperatur PET in der human-biometeorologischen Standardmesshöhe von 1.1 m Höhe über Grund an einem besonnten und einem benachbarten, aber durch Baumkronen abgeschatteten Standort auf einem nach Süden exponierten Bürgersteig einer Ost-West orientierten Straßenschlucht in Freiburg an einem typischen Sommertag

Die physiologisch äquivalente Temperatur PET wurde aus den gemessenen meteorologischen Daten nach der Methode berechnet, die auch bei Ali Toudert & Mayer (2007), Mayer et al. (2008) sowie Holst & Mayer (2010) angewendet wurde. Da sich der Dampfdruck und die Windgeschwindigkeit zwischen den beiden benachbarten Standorten kaum unterschieden, waren die PET Differenzen (Abb. 7) zwischen beiden Standorten hauptsächlich auf die T_{mrt} Unterschiede zurückzuführen. Sie traten deutlich ab dem Zeitpunkt auf, ab dem der Strahlungshaushalt am Standort mit Bäumen durch deren Kronen nachhaltig verändert worden war. Am abgeschatteten Standort lag PET um maximal 14.9°C unter den PET Werten am besonnten Standort. Das entspricht nach der PET Bewertungsskala von Matzarakis & Mayer (1996) einer Erniedrigung um zwei thermophysiologische Empfindungsstufen für Menschen (von starker zu leichter Wärmebelastung).

5. Diskussion

Aus den Ergebnissen dieser Fallstudie, die sich in der Tendenz auch in Resultaten aus anderen vergleichbaren Untersuchungen zeigen (u.a. Mayer & Matzarakis 2006; Mayer et al. 2009; Potchter et al. 2010, Shashua-Bar et al. 2010 a, b), wird deutlich, dass sich in mitteleuropäischen Städten bei großräumig vorgegebener Hitze der thermische Komfort von Stadtbewohnern lokal über Abschattungsmaßnahmen durch Baumkronen in gewisser Weise aufrecht erhalten lässt. Zur Quantifizierung dieses Phänomens ist die Lufttemperatur T_a nicht geeignet, weil (i) sie nicht den einzigen meteorologischen Einflussfaktor auf die Energiebilanz des Menschen darstellt und (ii) sich der Abschattungseffekt von Baumkronen direkt nur in der mittleren Strahlungstemperatur T_{mrt} widerspiegelt. Da sie in Mitteleuropa an typischen Sommertagen die dominierende Auswirkung auf thermische Bewertungsindizes wie PET ausübt, ist die über PET quantifizierte Empfindung von Menschen, sich unter Baumkronen thermisch wohler als im besonnten Bereich zu fühlen, letztlich eine Folge der über T_{mrt} angegebenen, absorbierten Strahlungswärme. Wie diese Fallstudie im Kontext mit analogen Ergebnissen aus anderen Untersuchungen zeigt, ist T_{mrt} unter einem Kronendach immer wesentlich geringer.

Somit lässt sich der großräumig verursachte Hitzestress lokal in Stadtquartieren über die Abschattungswirkung von Bäumen nachhaltig reduzieren. Voraussetzung dafür sind allerdings vitale Straßenbäume, deren Wasser- und Nährstoffversorgung auf natürliche Weise gesichert und die an die Erscheinungsformen des regionalen Klimawandels angepasst sind.

Neben dieser positiven Wirkung weisen Straßenbäume potenziell auch negative Effekte auf. Dabei handelt es sich um ihre Rolle als Strömungshindernisse und die Freisetzung von biogenen Kohlenwasserstoffen. Strömungshindernisse in Form von belaubten Straßenbäumen könnten sich nachteilig auf die Konzentration von Luftschadstoffen auswirken, weil ihre Erniedrigung behindert wäre. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Luftschadstoffe einen Jahresgang mit maximalen Werten im Winter aufweisen. Da es sich bei Straßenbäumen in Mitteleuropa fast immer um Laubbäume handelt, liegen die Schadstoffmaxima in der laubfreien Phase, in der die Beeinträchtigung der bodennahen Strömung ein unwesentliches Ausmaß annimmt. Bei dieser Diskussion muss andererseits auch die positive Filterwirkung von Laubbäumen in Bezug auf Partikel erwähnt werden (Litschke & Kuttler 2008).

Biogene Kohlenwasserstoffe (BVOC) tragen zur Ozonbildung bei. Die Intensität der BVOC Emissionen von Straßenbäumen steigt mit der Oberflächentemperatur der BVOC emittierenden Blattorgane an. Sie ist also bei großräumiger Hitze besonders ausgeprägt. Berücksichtigt man die Verfügbarkeit von NO aus dem Kfz Verkehr in Straßen und die dadurch verursachte Titration von Ozon, dürften höhere BVOC Emissionen nur einen relativ geringen Anstieg von bodennahem Ozon in Städten verursachen. Werden zusätzlich als Straßenbäume vorwiegend solche Arten verwendet, die wenig biogene Kohlenwasserstoffe freisetzen (low BVOC emitting plants), verliert dieses Problem in mitteleuropäischen Städten an Bedeutung (Kuttler 2010 b).

Bei einer fachgerechten Beurteilung der verschiedenen Wirkungen von Straßenbäumen hat insgesamt der Abschattungseffekt mit seinen thermischen Konsequenzen die größte Bedeutung für Menschen in der Stadt.



Abb. 8: Beispiel für die individuelle Anpassung an Hitze im Freien



Abb. 9: Beispiel für die individuelle Anpassung an Hitze im Innenraum, hervorgerufen durch großräumige Hitze



Abb. 10: Beispiel für die individuelle Anpassung an Hitze durch die Inanspruchnahme einer lokalen Abkühlungsmöglichkeit in einem „Bächle“ in einer Straßenschlucht im Stadtzentrum von Freiburg (Südwestdeutschland)

6. Schlussfolgerung

Die Wirkung von großräumiger Hitze auf Menschen in der Stadt lässt sich lokal durch geeignete Planungsmaßnahmen abschwächen. Sie sind zukünftig in mitteleuropäischen Städten von besonderer Bedeutung, weil belastbare Ergebnisse aus regionalen Klimasimulationen für Mitteleuropa darauf hinweisen, dass Hitzewellen häufiger auftreten und länger andauern sowie intensiver werden.

An diese Art von Umweltstress sind die bestehenden Baustrukturen, Raumnutzungsmuster und Menschen in mitteleuropäischen Städten bisher nicht angepasst. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass durch den demographischen Wandel die Risikogruppe „Senioren“ in Mitteleuropa größer wird. Für die dadurch bedingten Herausforderungen an die Stadtplanung stellen Straßenbäume ein sehr wirkungsvolles Planungsinstrument zur lokalen Reduzierung von großräumig verursachten Hitzeeffekten auf Stadtbewohner dar. Diese thermische „Wohlfahrtswirkung“ lässt sich über derzeit gängige Methoden in der urbanen Human-Biometeorologie quantifizieren. Sie sind entwickelt und gut erprobt, so dass sie angewendet werden können. Voraussetzung dafür ist jedoch ein permanenter Dialog zwischen den Entwicklern und Anwendern solcher Methoden, d.h. den urbanen Human-Biometeorologen und Stadtplanern.

Neben der langfristig präventiven Maßnahme, urbane Räume mit Methoden der Planung hitzegerecht zu gestalten, kann jedoch auch der einzelne Stadtmensch durch sein hitzeangepasstes Verhalten dazu beitragen, dass für ihn die Hitze erträglich wird. Beispiele für solche individuellen Verhaltensweisen sind in den Abb. 8 bis 10 aufgezeigt.

7. Anmerkung

Diese Untersuchung wurde im Rahmen des Projekts KLIMES ALUF (FZK: 01LS05020) innerhalb der Fördermaßnahme **klimazwei** durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie im Rahmen des Projekts Nr. 955-36.8/2007 der German-Israeli Foundation for Scientific Research and Development (GIF) durchgeführt.

Literatur

- Ali Toudert, F., Mayer, H. (2007): Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theor. Appl. Climatol.* 87. p. 223-237
- Höppe, P. (1984). Die Energiebilanz des Menschen. *Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München* Nr. 49
- Höppe, P. (1992). Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im Freien. *Wetter und Leben* 44. p. 147-151
- Höppe, P. (1993). Heat balance modelling. *Experientia* 49. p. 741-746
- Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings* 34. p. 661-665
- Holst, J., Mayer, H. (2010). Urban human-biometeorology: Investigations in Freiburg (Germany) on human thermal comfort. *Urban Climate News* 38. p. 5-10
- Kuttler, W. (2010a). Urbanes Klima, Teil 1. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 70. p. 329-340
- Kuttler, W. (2010b). Urbanes Klima, Teil 2. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 70. p. 378-382
- Litschke, T., Kuttler, W. (2008). On the reduction of urban particle concentration by vegetation - a review. *Meteorol. Z.* 17. p. 229-240
- Matzarakis, A., Mayer, H. (1996). Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO News* 18. p. 7-10
- Matzarakis, A., de Rocco, M., Najjar, G. (2009). Thermal bioclimate in Strasbourg - the 2003 heat wave. *Theor. Appl. Climatol.* 98. p. 209-220
- Mayer, H. (1993). Urban bioclimatology. *Experientia* 49. p. 957-963
- Mayer, H., Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environment. *Theor. Appl. Climatol.* 38. p. 43-49
- Mayer, H., Matzarakis, A. (2006). Impact of street trees on the thermal comfort of people in summer: a case study in Freiburg (Germany). *Merhavim* 6. p. 285-300
- Mayer, H., Holst, J., Dostal, P., Imbery, F., Schindler, D. (2008). Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorol. Z.* 17. p. 241-250
- Mayer, H., Kuppe, S., Holst, J., Imbery, F., Matzarakis, A. (2009): Human thermal comfort below the canopy of street trees on a typical Central European summer day. *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg* Nr. 18. p. 211-219
- Potchter, O., Holst, J., Shashua-Bar, L., Cohen, S., Yaakov, Y., Tanny, J., Bar-Kutiel, P., Mayer, H. (2010). Comparative study of trees impact on human thermal comfort in urban streets under hot-arid and temperate climates. *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg* Nr. 20. p. 467-472
- Rowell, D.P., Jones, R.G. (2006). Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. *Climate Dynamics* 27. p. 281-299
- Schmidt, R.F., Lang, F., Heckmann, M. (2011). *Physiologie des Menschen*. 31. Aufl. Springer, Berlin. 979 S.
- Shashua-Bar, L., Tsiros, I.X., Hoffman, M.E. (2010a). A modelling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. *Building and Environment* 45. p. 2798-2807
- Shashua-Bar, L., Potchter, O., Bitan, A., Bol-tansky, D., Yaakov, Y. (2010b). Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *Int. J. Climatol.* 30. p. 44-57
- Stewart, I., Oke, T. (2010). Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. *Proc. Ninth AMS Symposium on the Urban Environment* 1.1. p. 1-7.

Autorenanschrift:

Prof. Dr. Helmut Mayer und Dr. Jutta Holst
 Meteorologisches Institut
 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
 Werthmannstr. 10
 D-79085 Freiburg
 helmut.mayer@meteo.uni-freiburg.de

Zunehmende sommerliche Hitzeperioden und deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit im Kontext der Raumplanung

Vulnerabilitätsanalyse und Raumentwicklungsstrategien für die MORO-Region Westsachsen

Increasing hot spells during the summer and their effects on human health in the context of spatial planning

Vulnerability assessment and spatial development strategies for the MORO region (Western Saxony)

JAN KOLODZIEJ

Zusammenfassung

Hitzeperioden können sich äußerst negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken. Die Projektionen aktueller Klimamodelle lassen auf eine Zunahme von Hitzeerscheinungen und damit auch auf deren Folgen schließen. Daher wird aktuell nach innovativen methodischen Ansätzen gesucht, um Risiken abschätzen und Anpassungsstrategien formulieren zu können.

Der folgende Beitrag umfasst Empfehlungen zum Umgang mit dem Klimawandel im Zusammenhang mit der menschlichen Gesundheit. Sie beziehen sich auf die Ergebnisse der regionalen Vulnerabilitätsstudie Westsachsens, einer Untersuchung im Rahmen des Modellvorhabens Raumordnung (MORO), in welcher die Region auf ihre zukünftige klimatische Exposition, räumliche und nutzungsbedingte Empfindlichkeiten sowie bestehende Vorbelastungen untersucht wurde.

Wenngleich die bestehenden Daten der Landschaftsrahmenplanung bereits ein großes Anpassungspotential beinhalten, können der Regionalplanung durch gezielte Analysen wichtige Grundlagen zur Koordination verschiedener Nutzungs- und Funktionsansprüche bereitgestellt werden. Gerade die Landschaftsrahmenplanung kann vor dem Hintergrund des Klimawandels zu einer nachhaltigen Regionalentwicklung beitragen.

Die Studie gibt darüber hinaus konkrete Anregungen zur Fortschreibung des Regionalplans Westsachsens. Sie zeigt, dass eine Region auch mit den gängigen Instrumenten der Raumplanung dem Klimawandel begegnen kann. Allerdings sollten bestehende regionalplanerische Ausweisungen geprüft, ggf. neue Ziele formuliert, neue Ausweisungskriterien ergänzt und so bestehende Kategorien gestärkt werden.

Klimawandel, Hitze, menschliche Gesundheit, Vulnerabilitätsanalyse, Methodik, Anpassung, Raumentwicklungsstrategien.

Summary

Hot spells can have a severely negative impact on human health. Current climate models suggest an increase in the occurrences of heat waves and of its consequences. As a result, new methodological approaches to assess risks and to develop adoptive strategies have been discussed.

This article contains recommendations on how to deal with climate change in relation to human health issues. It is based on the results of the regional vulnerability assessment of Western Saxony. The study was carried out as part of the MORO "planning strategies in climate change" initiative. The aim was to investigate the region and to assess the impact of its prospective climatic exposure, previous developments and the susceptibility of land to frequent usage.

Even though existing data from landscape planning can provide useful information, additional data from analysis focused specifically on the characteristics of a region may be necessary. Thereby regional planners can establish fundamental principles and use these to coordinate competing claims of land use and its functions. Especially in regard to climate change this information can be used in general landscape planning to contribute to a sustainable regional development.

Furthermore the study contains suggestions to update the regional plan of Western Saxony. The study highlights that regions are able to counter climate change using established planning methods. However, these methods need to be examined and explored further, eventually leading to the formulation of a new regional policy. To achieve this regional planning criteria, the recommendations for special sites must be supplemented and existing categories need to be enhanced.

1. Einleitung - Folgen der Hitze auf die menschliche Gesundheit

Der menschliche Organismus befindet sich in einer dauernden Auseinandersetzung mit den thermischen Rahmenbedingungen, die vor allem durch den Fluss fühlbarer und latenter Wärme sowie über Strahlung wirken. Optimale Bedingungen für physiologische Funktionen liegen dann vor, wenn körperliche Wärmeproduktion sowie -abgabe in einem Gleichgewicht vorliegen und die Körperkerntemperatur konstant verbleibt (Koppe; Jendritzky; Pfaff 2003:152).

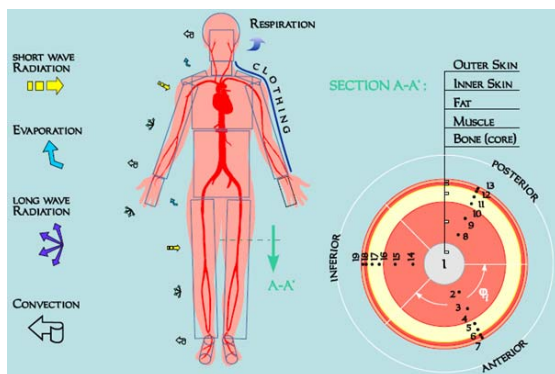


Abb. 1: Schematische Darstellung eines physiologischen Modells der Thermoregulation (MATZARAKIS; MEYER 2007).

Während kurzzeitiger Hitzestress von den meisten Personen noch relativ gut toleriert wird, erhöhen länger dauernde Hitzeperioden das Gesundheitsrisiko maßgeblich (Kromp-Kolb 2006).

Hitzestress wirkt sich differenziert auf den Menschen aus. So können direkte Salz- und Flüssigkeitsverluste, aber auch ein gänzlich Versagen der Temperaturregulation des Organismus vorkommen. Mit zunehmendem Wärmestress steigen die Anforderungen an Atmung und das Herz-Kreislaufsystem. Ein durch Hitze induziertes Herz-Kreislauf-Versagen sowie Hirngefäß- und Atemwegsbeschwerden können zu Krankheit und Tod führen (Zebisch et al. 2005).

Während das Thermoregulationssystem des gesunden Menschen eine effektive physiologische Anpassung an extreme Witterungsbedingungen ermöglicht, sind vor allem alte und erkrankte Menschen einem besonderen Risiko ausgesetzt. Auch Kinder können als besonders sensitiv eingeschätzt werden (Parry 2000). Der Mortalitätsanstieg unter Wärmebelastung variiert je nach Sensitivität der betrachteten Gruppe von 0,5 % (z. B. junger gesunder Erwachsener, Landbevölkerung) bis zu 64 % (alte Menschen, Multimorbidität, Bettlägerigkeit,

Stadtbevölkerung etc.) (Basu & Samet 2002; in: Koppe; Jendritzky; Pfaff 2003:160).

Neben der Lufttemperatur sind auch Windgeschwindigkeit (turbulenter Transport), Wasserdampfdruck und mittlere Strahlungstemperatur bedeutend für die empfundene „Hitze“ (Koppe; Jendritzky; Pfaff 2003:152). Untersuchungen in Österreich (Kromp-Kolb 2006) zeigen aber deutlich, dass bereits die Zunahme der Maximaltemperatur zu einer signifikanten Erhöhung der täglichen Anzahl an Todesfällen führt.

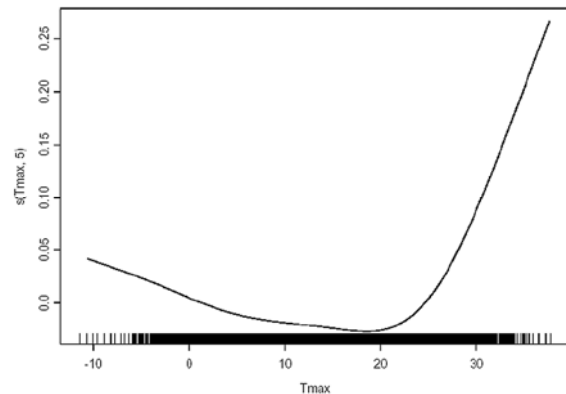


Abb. 2: Relative Änderung der täglichen Zahl an Todesfällen in Abhängigkeit von der täglichen Maximaltemperatur (Kromp-Kolb 2006:21).

Koppe und Jendritzky (2003) konnten anhand vergleichender Untersuchungen zeigen, dass an Tagen mit extremer Wärmebelastung eine signifikante Erhöhung der Mortalität festzustellen ist. Auch Gabriel und Endlicher (2011) zeigten für den Raum Berlin und Brandenburg für einen Zeitraum von 17 Jahren eine derartige Korrelation auf. In Phasen großen Hitzestresses waren vor allem ältere Menschen in den am dichtesten besiedelten Gebieten besonders gefährdet. Internationale Studien u.a. aus Holland, Belgien, Australien und den USA (Sartor et al. 1997, Smoyer 1998, Huynen et al. 2001, Nitschke et al. 2007) unterstützen diese Ergebnisse.

Für Baden-Württemberg wurde eine ungewöhnlich hohe Mortalität von 900 bis zu 1 300 zusätzlichen Todesfällen allein im August 2003 nachgewiesen (vgl. Abb. 3). Das entspricht einer Zunahme um ca. 16-24 % (Zebisch et al. 2005) und damit der Größenordnung epidemischer Grippetage.

Im Hitze-Sommer 2003 starben in Deutschland insgesamt vermutlich ca. 7 000 und europaweit wohl zwischen 25 000 und 60 000 Menschen mehr als in durchschnittlichen Sommern (Kromp-Kolb 2006).

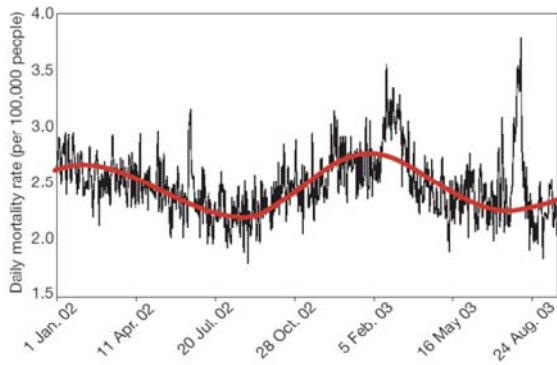


Abb. 3: Einfluss der Hitzewelle 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg (Koppe, Jendritzky 2004; in: Zebisch et al. 2005).

Wenngleich derartige Hitzeerscheinungen als durchaus ungewöhnlich gelten, konnten Schönwiese et al. (2008) nachweisen, dass sich die Wahrscheinlichkeit solcher Extremereignisse in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöhte.

2. Der Klimawandel

Der menschliche Einfluss auf den Klimawandel ist global und regional nachgewiesen (IPCC 2007, 4. Sachstandsbericht).

Bereits aktuell sind Auswirkungen und Vorboten des Klimawandels zu spüren. So stiegen in

den letzten hundert Jahren die Temperaturen

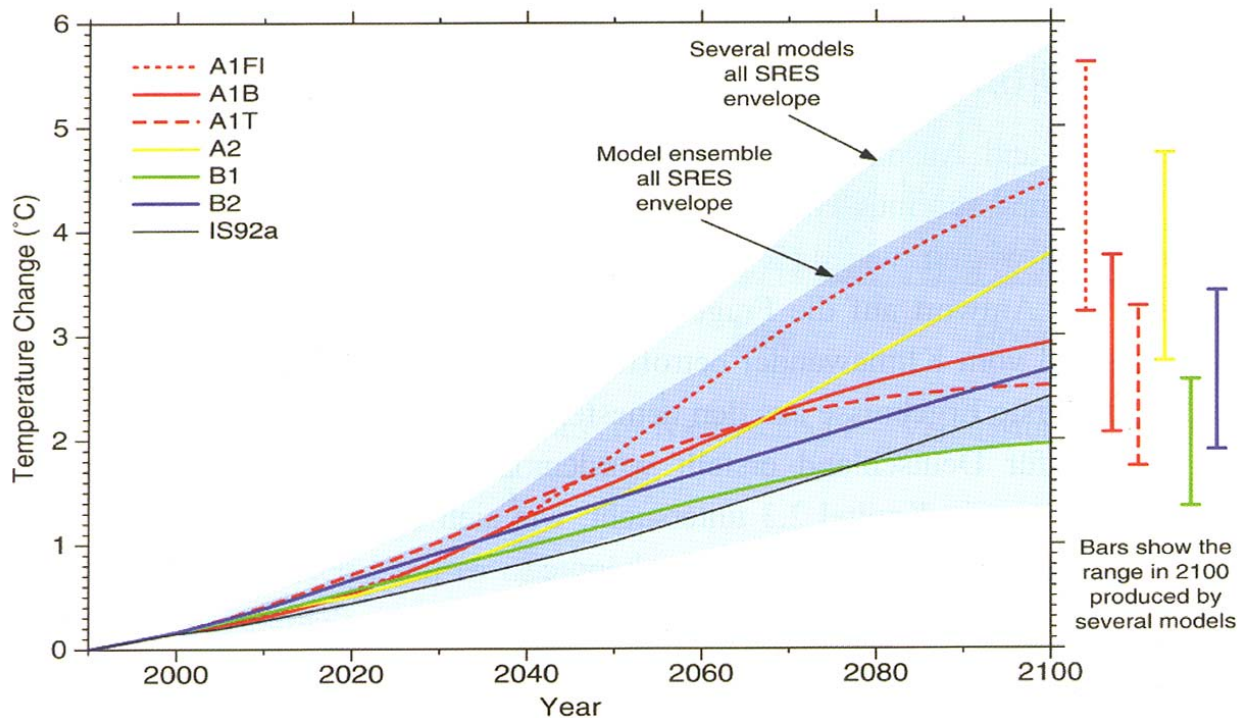


Abb. 4: Änderung der globalen mittleren bodennahen Temperatur nach unterschiedlichen Modellen und Varianten der SRES Szenarien bis 2100 (Nakićenović 2000; in: Hagemann; Jacob 2007:3).

in Deutschland um ca. 1° C an (Schönwiese et al. 2008).

Vor allem die anthropogen verursachten Treibhausgase forcieren den Klimawandel. Nach wie vor können extreme Treibhausgasemissionen nachgewiesen werden. Selbst das fossil-intensive A1FI-Szenario (Abb. 4: rotgepunktete Linie) kann unter diesen Rahmenbedingungen derzeit nicht ausgeschlossen werden.

Der Klimawandel wird sich in den nächsten Jahrzehnten aber auch dann fortsetzen, wenn weltweit umgehend drastische Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen umgesetzt würden (SMUL 2009:8).

Nach wissenschaftlichen Projektionen wird die Temperatur bis zum Jahr 2100 global um bis zu 6,4° C steigen (IPCC 2007).

Neben der Erhöhung der mittleren Temperatur ist aber auch von einer Zunahme der Extremereignisse und damit einhergehend der Maximaltemperatur auszugehen. Eine Auswertung von Schönwiese, Jonas und Staeger (2008) verdeutlicht für den Zeitraum 1761 bis 2005 - und dabei vor allem ab 1900 - eine deutliche Zunahme von „heißen“ Jahresanomalien, die sich um die Jahrtausendwende zu einem bisherigen Maximum einfanden.

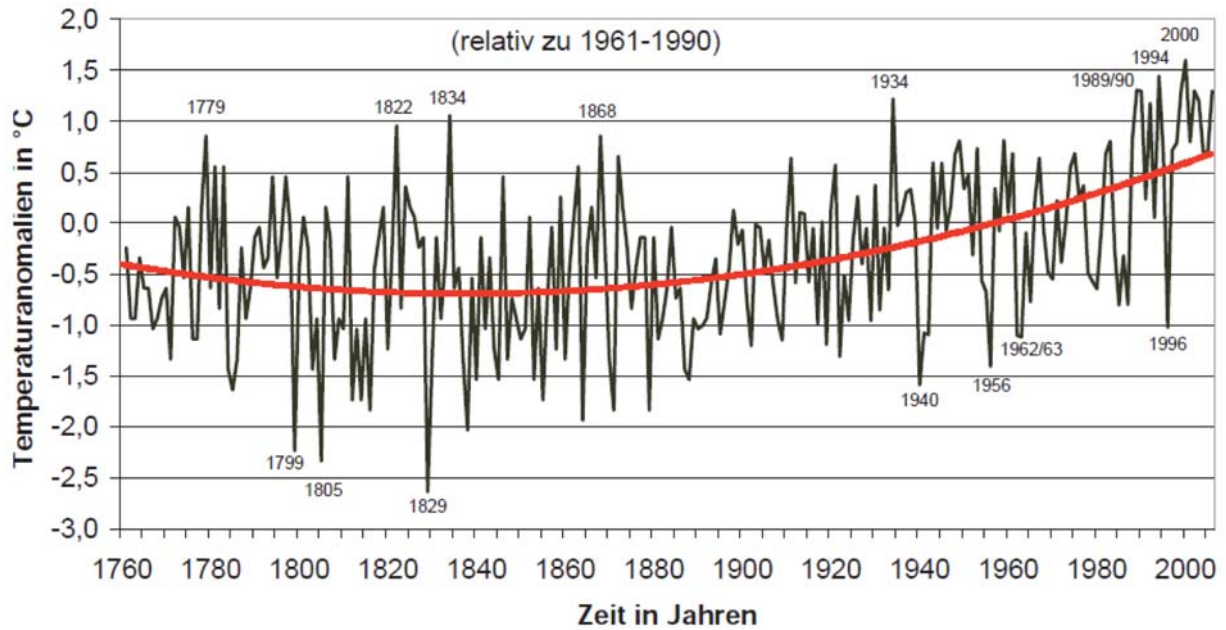


Abb. 5: Jahresanomalien des Flächenmittels der bodennahen Lufttemperatur (schwarz) und polynomialer Trend (rot) (Rapp 2000).

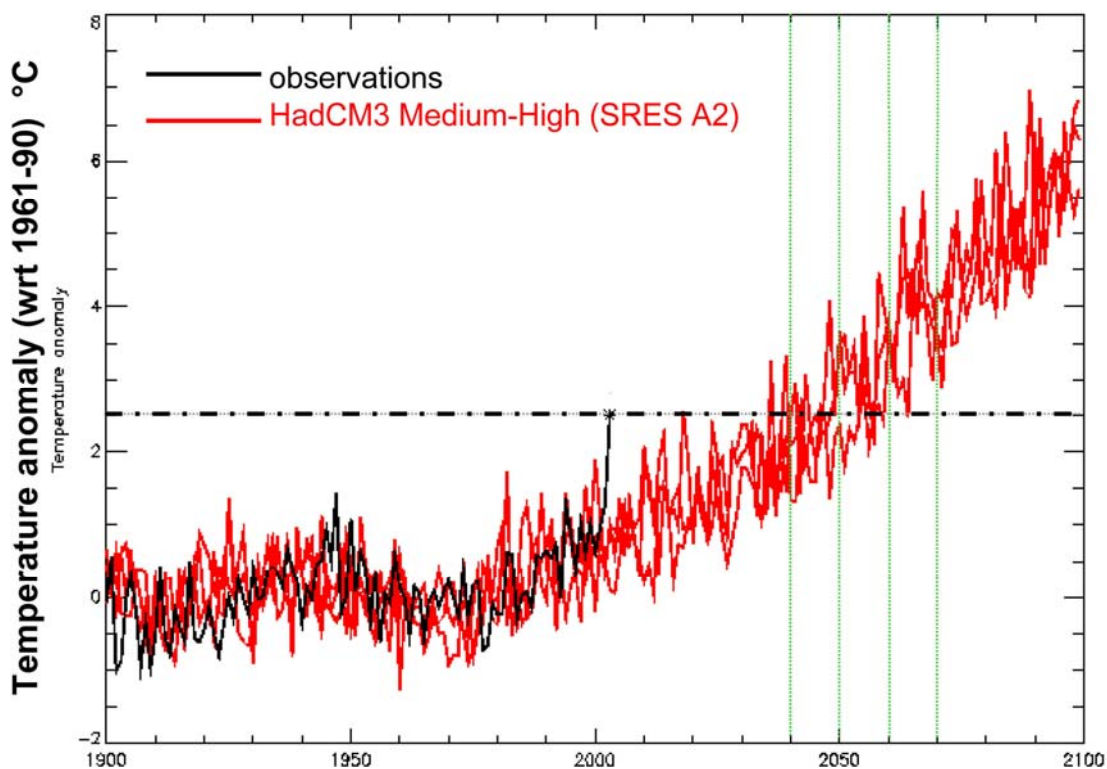


Abb. 6: Vergleich der gemessenen Temperaturanomalie des Hitzesommers 2003 (schwarz) mit projizierten Temperaturen (rot) bis 2100 (Stock 2007).

Aufgrund der durch den Klimawandel zukünftig wohl weiter steigenden Temperaturen und der damit verbundenen erhöhten Häufigkeit von extremen Temperaturereignissen kann davon ausgegangen werden, dass die Hitzeperiode des Jahres 2003 stellvertretend für einen zukünftig häufig zu erwartenden Zustand stehen

könnte (Beniston 2004). Abbildung 6 zeigt zudem auf, dass Hitzeerscheinungen wie im Jahr 2003 bereits ab dem Zeitraum 2040 bis 2070 die Regel werden könnten.

3. Vulnerabilität und Anpassungsmaßnahmen im Kontext der Raumplanung

In (Mensch-)Umwelt-Systemen resultiert die Vulnerabilität als Schadensrisiko aus den Faktoren Exposition, Sensitivität und Anpassung (Turner et al. 2003). Die Sensitivität meint in diesem Systemverständnis den Grad der Anfälligkeit gegenüber funktionellen Einschränkungen unter dem Einfluss der Exposition. Letztere umschreibt, in welchem Maß ein bestimmtes Gebiet bestimmten Klimaveränderungen (Climate Impacts) unterliegt. Demgegenüber steht die Anpassungsfähigkeit als Fähigkeit eines Systems, sich an veränderte klimatische Bedingungen ohne Funktionsverlust bzw. funktionelle Einschränkungen zu adaptieren.

Die geschilderten, von Hitze und Hitzeperioden hervorgerufenen, gesundheitlichen Probleme könnten in Zukunft stark zunehmen (vgl. Abb. 6). Dies fordert nicht nur das Gesundheitssystem, sondern kann als gesamtgesellschaftliche Aufgabe hoher Relevanz verstanden werden. Umfangreiche Anpassungsmaßnahmen sind notwendig.

International wird seit geraumer Zeit über die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen sowie das Grünbuch der Kommission „Anpassung an den Klimawandel in Europa - Optionen für Maßnahmen der EU“ eine verstärkte Anpassung an den Klimawandel gefordert. Dies soll durch innovative Programme sowie neue Strategien und Methoden geschehen.

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (beschlossen vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008) fordert langfristig ausgerichtete Konzepte. Die Verletzlichkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme soll verringert werden. Dazu sollen Handlungsziele und Entscheidungsgrundlagen ermittelt werden, die verschiedenen Akteuren Vorsorgemöglichkeiten eröffnen. Auswirkungen des Klimawandels sollen frühzeitig erkannt werden, um ihnen entgegenwirken zu können. Dabei nimmt die Raumordnung eine zentrale Rolle ein. Ihr wird eine koordinierende Funktion zum Schutz, zur Sicherung und nachhaltigen Entwicklung von Siedlungs-, Verkehrs- und Freiraumstrukturen sowie natürlicher Ressourcen beigemessen. Dazu muss sie aus den verschiedenen Vulnerabilitäten konkrete Anpassungsmaßnahmen formulieren und sie sektorenübergreifend zu klimawandelangepassten Raumstrukturen integrieren.

Dies kann nur gelingen, wenn ausreichend Abwägungsgrundlagen vorhanden sind. Hier können Vulnerabilitätsanalysen bedeutend sein. Sie können - zusammen mit der Land-

schaftsrahmenplanung - als unverbindliche Grundlage des Regionalplans die Funktion eines überörtlichen Fachkonzeptes einnehmen. Durch Bestandsaufnahme und Bewertung werden relevante fachliche Grundlagen ermittelt und problemorientiert aufbereitet. Sie bilden die Basis zur Ableitung von Leitlinien, Zielen sowie schlussendlich konkreten Maßnahmen und Erfordernissen. Maßstabsangepasst erfolgt dabei eine inhaltlich-räumliche Konkretisierung.

Als Grundlage einer späteren strategischen Umweltprüfung (SUP) des Regionalplans können diese Studien vor allem auch Aspekte sommerlicher Hitzeperioden und deren Auswirkungen auf das Schutzzut der menschlichen Gesundheit beleuchten, da diese Aspekte z. B. in der in Deutschland rechtlich verankerten Landschaftsrahmenplanung üblicherweise keine Beachtung finden.

Gelingt diesen Studien eine fundierte Aufbereitung möglicher Folgen der Klimaänderungen und die Ableitung schlüssiger Anpassungsstrategien, dürfte ihnen eine Vielzahl interessierter Anwender sicher sein, beispielsweise der Regionalplanung, der verschiedenen Fachplanungen auf regionaler Ebene und nicht zuletzt der Kommunen. Notwendig ist aber, dass verschiedene räumlich differenzierte Vulnerabilitäten und damit konkrete Anpassungsmaßnahmen ableitbar werden. Damit kann die Regionalplanung dann sektorenübergreifend resiliente und klimawandelangepasste Raumstrukturen entwickeln.

Allerdings ist im Einzelfall stets zu hinterfragen, mit welchem Aufwand adäquate Ergebnisse erzielt werden können und wie sich die Aspekte des Klimawandels in das ohnehin schon breite Betrachtungsspektrum der Raumplanung integrieren lassen.

4. Anspruch der Raumplanung an Datengrundlagen

Klimaprognosen und -projektionen liegen mittlerweile in den meisten Bundesländern in Auflösungen vor, die trotz ihrer Unsicherheiten eine Auseinandersetzung mit den Folgen des Klimawandels in der Raumplanung ermöglichen. Bewertung und Vorhersage thermischer Umweltbedingungen des Menschen in einer physiologisch korrekten Weise stellt nach Jendritzky et al. (2009) die zentrale Fragestellung in der Human-Biometeorologie dar. Seit 1970 wurden seitdem diverse Ansätze verfolgt, die diesem Anspruch in verschiedenen Modellen immer exakter entsprechen. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) entwickelte beispielsweise bereits 1990 das Klima-Michel-Modell, ein Energiebilanzmodell für den menschlichen Organismus. Eine Fülle thermischer Indizes -

wie z. B. PMV (Predicted Mean Vote), PET (Physiologische Äquivalente Temperatur) oder SET (Standard Effective Temperature) - beruhen ebenfalls auf der menschlichen Wärmebilanz.

Aktuell kann aber davon ausgegangen werden, dass im Hinblick einer besonders präzisen Einschätzung der Aspekte Thermoregulation und Wärmeaustausch, dem „Universal Thermal Climate Index“ (UTCI) der Vorzug zu geben ist (vgl. Jendritzky 2009). Dieser, unter dem Dach der World Meteorological Organization (WMO), entwickelte Index, berücksichtigt sogar die unterschiedliche Verteilung der Bekleidung über die verschiedenen Segmente des menschlichen Körpers.

Derartige Modelle wurden bereits für einige Analysen, die sich u.a. als Grundlage für die Raumplanung eignen, erfolgreich verwendet. So wurde z. B. in Berlin das Modell UBIKLIM (Urbanes BloKLImaModell) entwickelt, welches auf dem Klima-Michel-Modell aufbaut und die Idee der Klimatope, als Gebiete mit ähnlicher mikroklimatischer Ausprägung, verfolgt. Unter Beachtung der VDI Richtlinie 3787 Blatt 2 (VDI 2008) über die gefühlte Temperatur und des eindimensionalen Stadtklimamodells MUKLIMA_1 konnte eine Projektion des Bioklimas für Zeiträume des Klimawandels erfolgen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2010).

Während die Human-Biometeorologie immer diffizilere Modelle entwickelte, mit dem Ziel die thermischen Umweltbedingungen des Menschen immer exakter einzuschätzen, kann aber festgestellt werden, dass viele Städte und Kommunen sich nicht dieser Modelle bedienen. Dies ist im Kontext der geschilderten Bedrohung durch den Klimawandel und den damit einhergehenden Methoden kritisch einzuschätzen. Wo aber können die Ursachen hierfür vermutet werden?

Der Aufwand zur experimentellen oder modellmäßigen Ermittlung der meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und mittlerer Strahlungstemperatur ist „sehr erheblich“ und für Nicht-Meteorologen kaum durchführbar (Mayer & Matzarakis 1998:181). Diese Parameter werden aber für die Bestimmung der thermischen Indizes PMV, PET etc. in besonders hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung in der human-biometeorologischen relevanten Höhe von 1,1 m über Grund benötigt. Bioklimakarten können aber in dieser Form von Trägern der Regionalplanung allein aber zumeist nicht angefertigt werden. Diesem Problem kann durch interdisziplinäre Zusammenarbeit begegnet werden.

Im Kontext von Studien wie UBIKLIM ist aber kritisch zu hinterfragen, ob eine derartige, feingliedrige Unterteilung in Mikroklimata notwen-

dig ist, um schließlich für die Raumplanung stark abstrahierte Vorbehalts- und Vorranggebiete im Maßstab von z. B. 1:100 000 abzugrenzen, deren Detailunschärfe zusätzlich oftmals durch eine nicht geschlossene Grobschraffur unterstrichen wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es gerade auf regionaler Ebene vielfach an inhaltlich, zeitlich und räumlich geeigneten planungsrelevanten Methoden zur Analyse und Begegnung des Klimawandels und damit auch künftig vermehrt zu erwartenden Hitzeperioden fehlt. Entsprechende innovative Methoden müssen für Nicht-Meteorologen anwendbar sein, dem Detaillierungsgrad und zugleich dem Flächendeckungsanspruch der regionalen Ebene entsprechen und auch dem engen, zeitlichen sowie finanziellen Rahmen bei der Aufstellung eines Regionalplans genügen.

5. Das MORO-Vorhaben: Ziel und Einbindung der Vulnerabilitätsstudie

Für die Region Westsachsen - eine von acht Modellregionen im Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ - wurde im Zeitraum 9/2009 - 3/2010 im Auftrag des Regionalen Planungsverbandes Westsachsen eine Vulnerabilitätsstudie erarbeitet (Schmidt et al. 2010). Sie baut auf den Daten der Landschaftsrahmenplanung Westsachsens auf (Regionaler Planungsverband Westsachsen 2007) und leitet ohne eigene Klimamodellierungen oder Grundlagenerfassungen erste Ansätze und Strategien für die Klimaanpassung der Region Westsachsen ab. Die Differenzierung der Aussagen entspricht der regionalen Betrachtungsebene bzw. den Maßstabsebenen der Regionalplanung.

Während der Regionalplan Westsachsen (2008) - wie viele andere Regionalpläne auch - bereits im umfassenden Maße Ziele und Grundsätze im Bereich des Klimaschutzes (Mitigation) enthält, sollte die Vulnerabilitätsstudie Westsachsens die Grundlagen für erweiterte regionalplanerische Festsetzungen im Bereich der Klimaanpassung (Adaption) liefern und dabei sowohl Anstöße für eine spätere Fortschreibung des Regionalplanes (formelle Handlungsebene) als auch für die informelle Handlungsebene geben. Wesentliche Ziele sind der aktive und selbstbestimmte Umgang mit den Folgen des Klimawandels durch die Entwicklung innovativer raumordnerischer Handlungsansätze und neuer Instrumente, der modellhaften Erprobung integrierter Handlungskonzepte und konkreter Lösungsansätze, der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis, der Einbindung regionaler Akteure sowie Akteursnetzwerke und das Stärken regionalen Denkens. Dem Leitbild einer vorsorgenden Regionalplanung ist zu entsprechen.

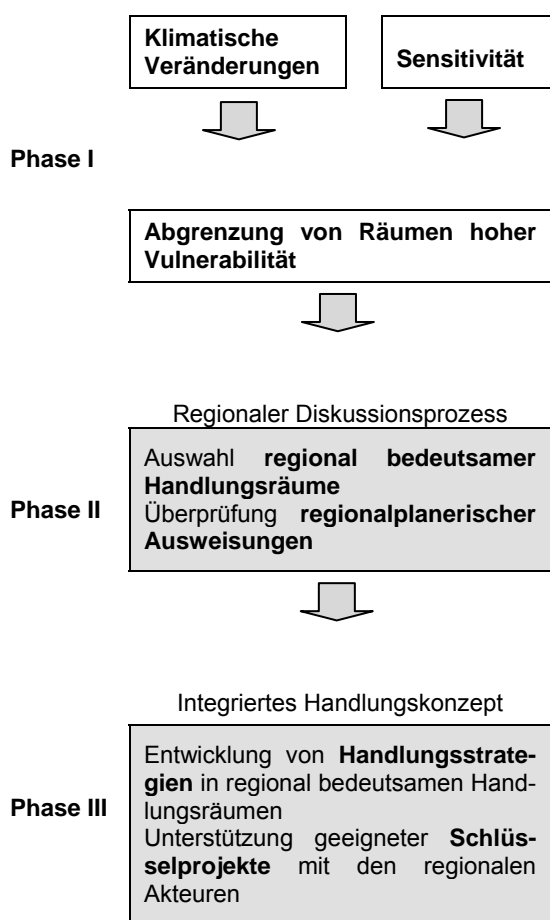


Abb. 7.: Vulnerabilitätsstudie (Schwerpunkt Phase I) als Grundlage des regionalen Handlungskonzeptes in Westsachsen (vgl. Schmidt et al. 2010)

Insbesondere sollten auch auf der Basis einer flächendeckenden Betrachtung der Region begründet „Fokusgebiete“ bestimmt werden, in denen in den folgenden Projektphasen im regionalen Diskurs Schlüsselprojekte diskutiert, initiiert und forciert werden sollen.

6. Die Methode der Vulnerabilitätsanalyse

6.1 Gesamtmethodik

Abbildung 8 gibt einen Überblick des Untersuchungsansatzes. Aus dem Zusammenspiel von Exposition, Sensitivität und bestehenden Anpassungskapazitäten wurde die Vulnerabilität gegenüber klimatischen Veränderungen abgeleitet.

6.2 Exposition

Die Auswertung der für eine Region vorliegenden Klimaprognosen ist mit einem nicht unerheblichen Aufwand verbunden, stellt aber eine unverzichtbare Grundlage dar, um sich fundierter mit Folgewirkungen des Klimawandels auseinandersetzen zu können.

Als Klimamodell wurde zum Zeitpunkt des Studienbeginns (2009) WEREX IV ausgewählt. Hierbei handelt es sich um ein vom Landesamt für Umwelt und Geologie speziell auf die sächsischen Verhältnisse zugeschnittenes, statistisches Regionalisierungsverfahren, welches Szenarienläufe individuell und vergleichsweise schnell berechnen kann.

ENSEMBLE-basierte Vorhersagen zum Klimawandel, die parallele Anwendungen verschiedener Erdsystem- und Klimamodelle nutzen, kamen nicht zum Einsatz. Unter Nutzung von Unsicherheitsbändern bzw. zugewiesener Wahrscheinlichkeiten und unter Beachtung physikalischer, chemischer, biologischer und anthropogener Rückkopplungen in Erdsystem-Modellen können heute hierdurch deutlich fundiertere Vorhersagen zu den Parametern des Klimawandels getroffen werden (van der Linden et al. 2009; CESR 2011).

In der Studie Schmidt et al. 2010 wurde den bestehenden Unsicherheiten der zu Grunde liegenden Klimaprognosen begegnet, indem Entwicklungstendenzen mehrerer Szenarien als Spannweite abgebildet wurden.

Zudem hat sich in Westsachsen als hilfreich erwiesen, nach der Analyse einzelner Klimatelemente eine gewisse Abstraktion vorzunehmen, indem „Klimaräume“ unter Berücksichtigung des Klimawandels abgegrenzt und - unter Verzicht auf Absolutwerte - in ihren Entwicklungstendenzen zusammengefasst werden.

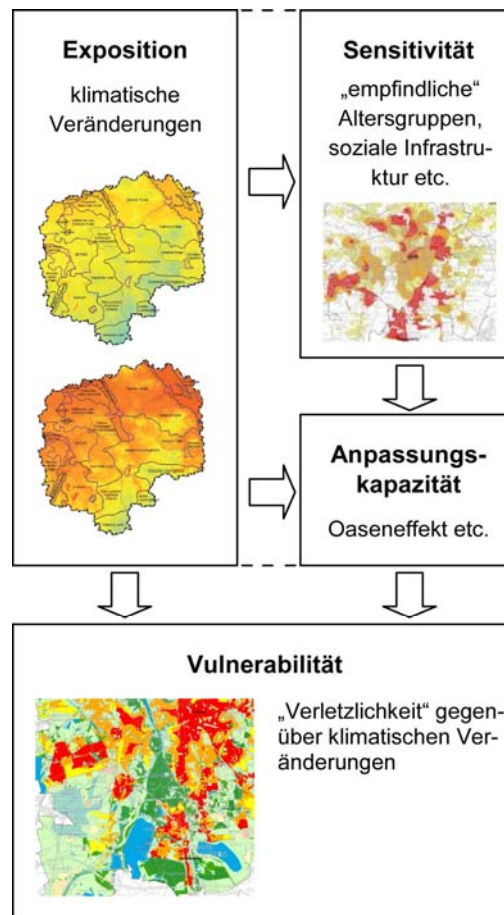


Abb. 8.: Methodik zur Bestimmung der Verletzlichkeit gegenüber klimatischen Veränderungen (vgl. Schmidt et al. 2010)

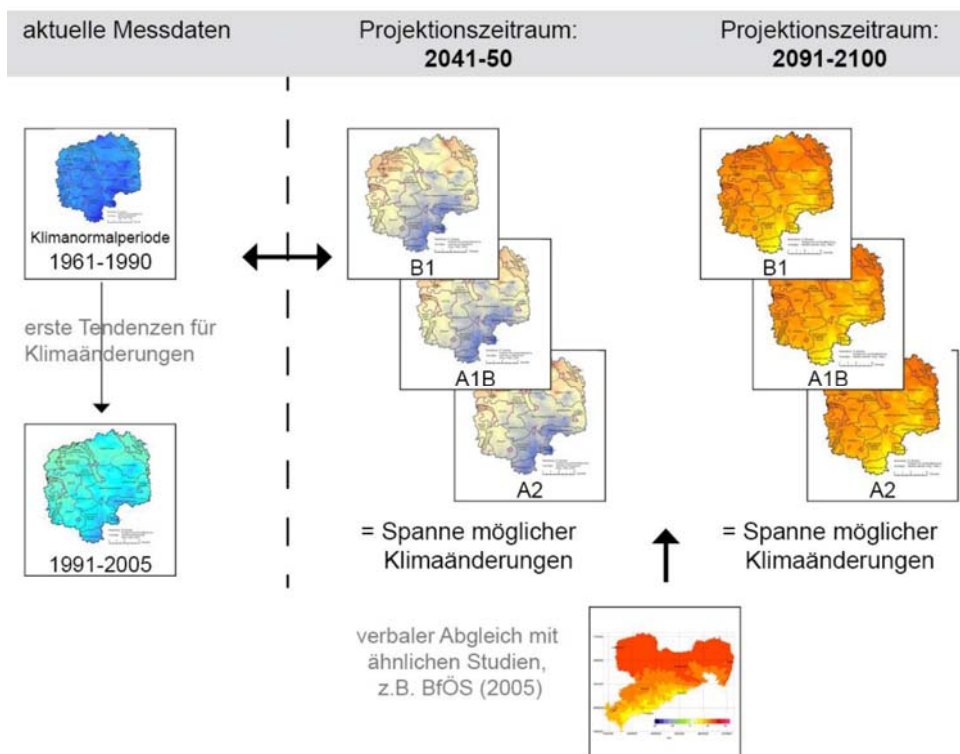


Abb. 9: Auswertungsschema der Rasterklimadaten (vgl. Schmidt et al. 2010)

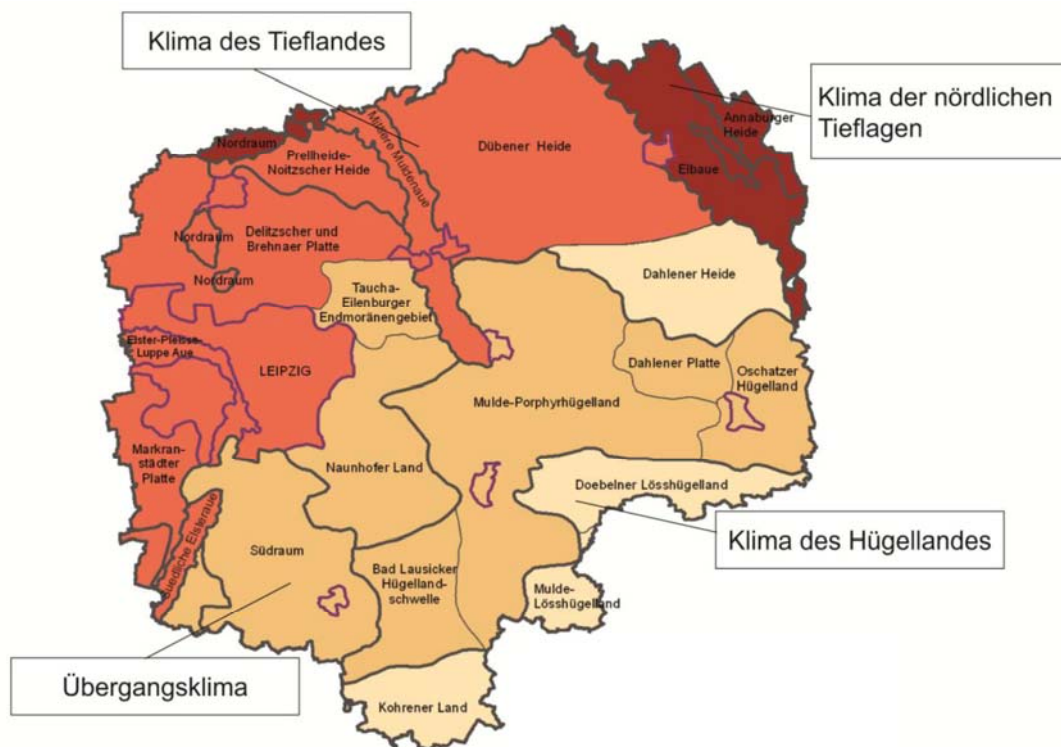


Abb. 10: Klimaräume der Region Westsachsen (vgl. Schmidt et al. 2010)

Die Bildung von Klimaräumen erwies sich als besonders hilfreich bei der Bearbeitung der Themengebiete Hochwasser und Starkregenereignisse sowie verringertes Wasserdargebot mit Auswirkungen auf Landnutzungen, Wasser- und -entsorgung, Bergbaufolgelandschaft, Erholung sowie Kulturlandschaft. Bei dem Schwerpunkt „sommerliche Hitzeperioden

und menschliche Gesundheit“, der auf Siedlungen fokussiert war, mussten die Klimaräume um Hitzeerscheinungen ergänzt werden. Dies wurde durch modellierte Werte des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) ermöglicht. Die Anzahl an Hitzetagen über 30° C wurde auf die Klimaräume bezogen und ermöglichte so eine Ableitung räumlicher Schwerpunkte.

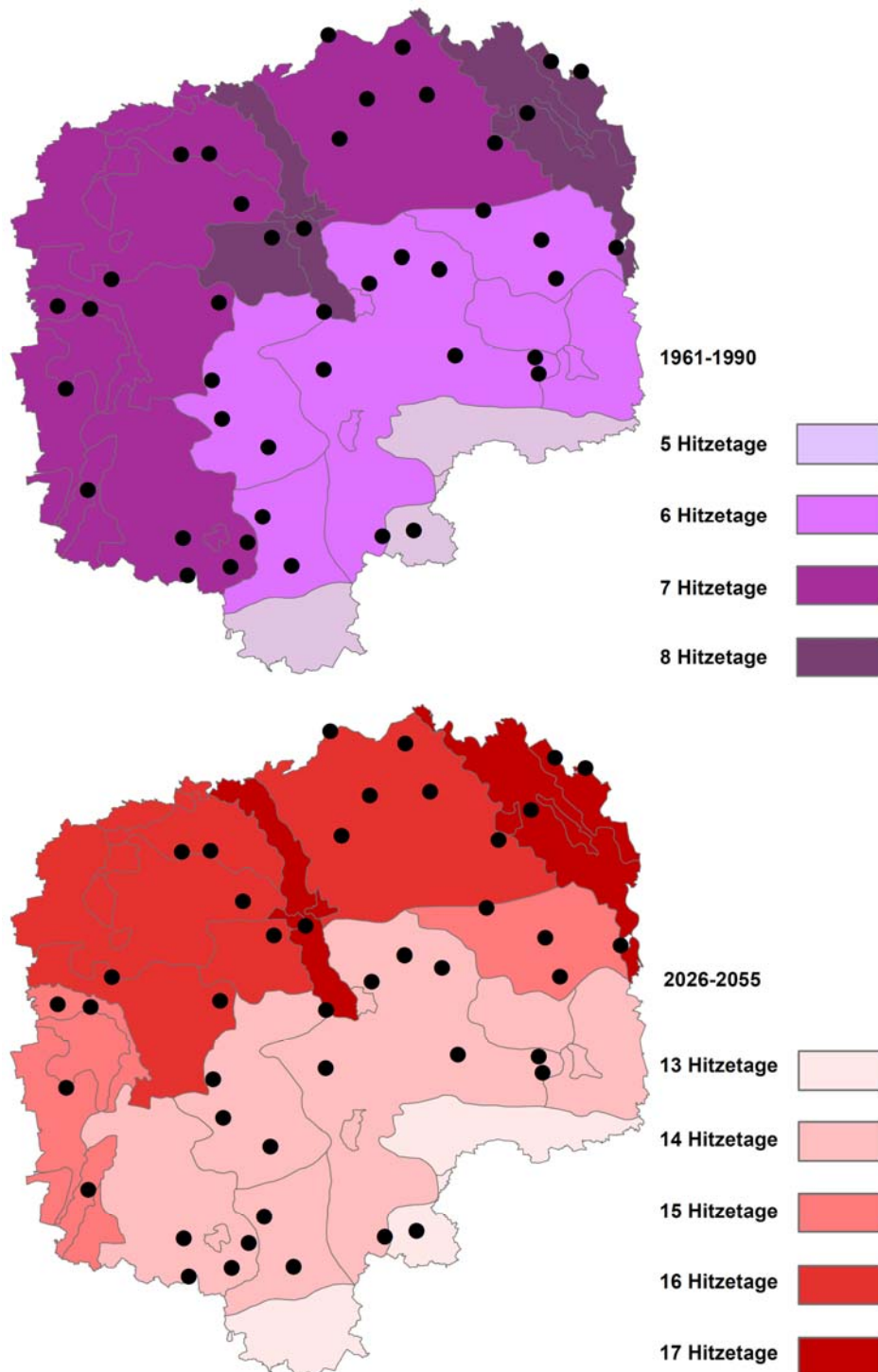


Abb. 11.: Vergleich der modellierten Anzahl an Hitzetagen der Periode 1961-1990 und 2026-2055 (vgl. Schmidt et al. 2010)

6.3 Sensitivität

Die ableitbare voraussichtliche Verdopplung der Hitzetage bis zur Mitte des Jahrhunderts führt aber wohl nicht zwangsläufig zu gesundheitlichen Belastungen und Beeinträchtigungen der Bevölkerung. Ob Hitze als Belastung empfunden wird und negative Auswirkungen auf

die menschliche Gesundheit hat, ist vielmehr von weiteren Faktoren abhängig. So kann dieselbe Lufttemperatur in gut durchlüfteten Gebieten weniger belastend als in Niederungen oder topographischen Senken empfunden werden, in denen ein verminderter Luftaustausch stattfindet (naturräumlich bedingte Sen-

sivität). Wälder sind für ihr ausgeglichenes Bioklima bekannt und können Hitzebelastungen vermindern, während Versiegelungen zu einer weiteren Aufheizung führen. Städte können nach Kuttler (1998) je nach Bebauungsdichte bis zu 10 Kelvin höhere Lufttemperaturen als ihr Umland aufweisen (nutzungsbedingte Sensitivität). Darüber hinaus ist die Sensitivität demographisch bedingt (Alter der Bevölkerung) (vgl. Kap. 1).

Diese drei Aspekte - die naturräumliche, nutzungsbedingte und demographische Sensitivität - wurden für die Region analysiert. Der Fokus lag dabei auf Siedlungen über 20 000 Einwohnern. Besondere Betrachtung fand die Stadt Leipzig.

Der Aspekt Demographie beinhaltet eine Dichteanalyse von sensiblen Altersgruppen (Senioren und Kinder) und sozialen Einrichtungen.

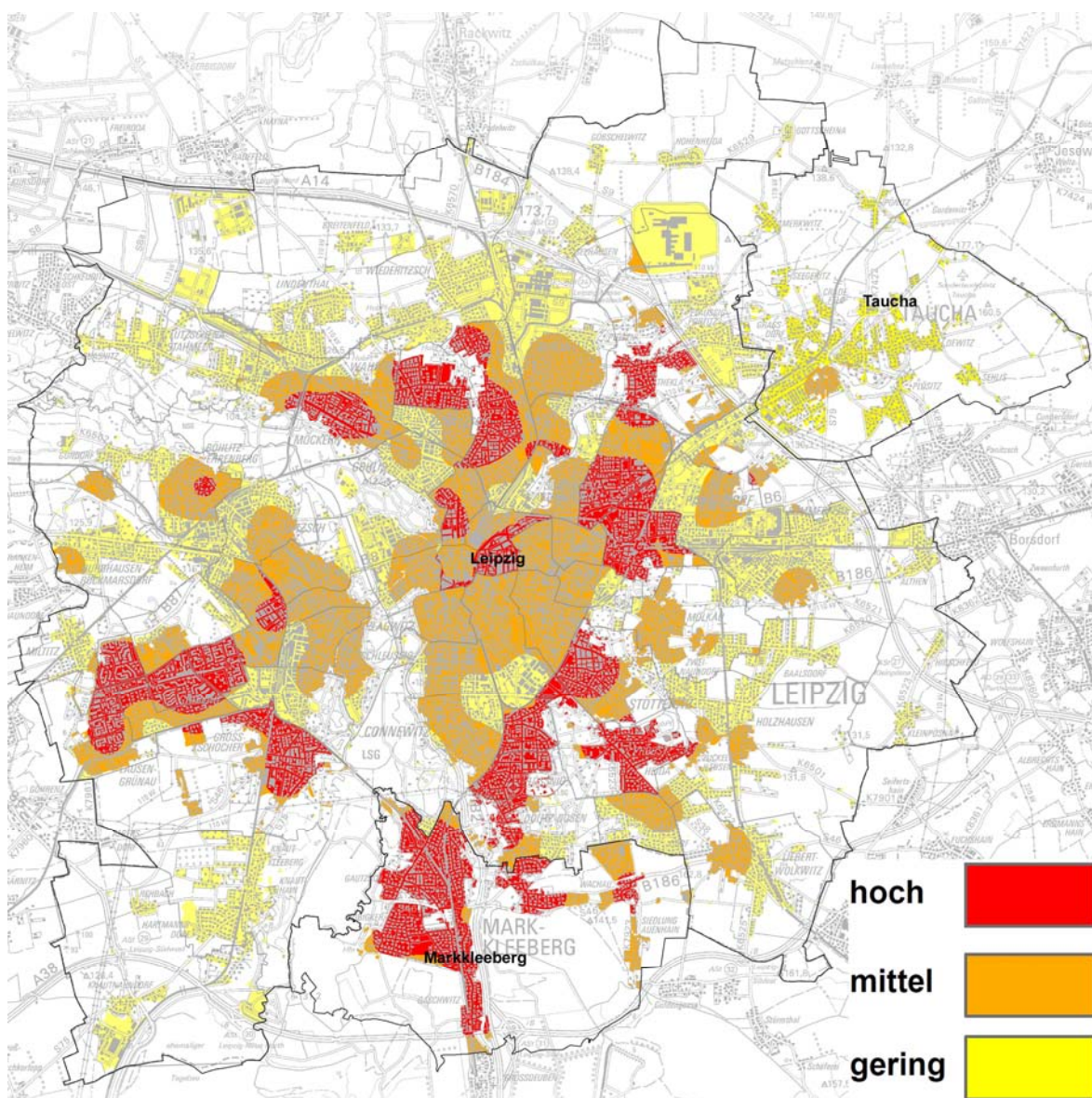


Abb. 12.: Dichte vulnerabler sozialer Einrichtungen und empfindlicher Bevölkerungsgruppen von Leipzig, Markkleeberg und Taucha (vgl. Schmidt et al. 2010)

Zur Einstufung des Versiegelungsgrades wurde die Biotop- und Landnutzungskartierung (BTLNK 2005) ausgewertet. Auf Basis einer Literaturstudie von Mosimann (1999) gelang es überschlüssig einen hohen (>70 %) von einem mittleren (≤ 70 bis 50 %) und einem geringen Versiegelungsgrad (<50 bis 25 %) abzugrenzen. Dazu waren einzelne Nachkartierungen und eine Plausibilitätsprüfung notwendig.

6.4 Anpassungskapazität

Die Anpassungskapazität wird durch Kalt- und Frischluftabflussbahnen und „klimaökologische Komfortinseln“ bestimmt. Während die Abflussbahnen bereits im Regionalplan festgelegt sind, mussten die bioklimatisch-lufthygienisch bedeutsamen Komfortinseln neu definiert werden. In Anlehnung an Mosimann (1999) wurden sie als Grün-, Gehölz- und Wasserflächen mit einer Mindestgröße von drei Hektar definiert. Diese sind zumindest dreiseitig direkt von versiegelter Fläche (> 5 ha) umgeben, maximal 400 m davon entfernt und emissionsarm (Mindestabstand Autobahn 400 m, Bundes- und Staatsstraßen 100 m).

Die positive Wirkung von Grünanlagen auf das Klima und die Luftqualität in Städten wird durch Größe, Aufbau und Zusammensetzung vegetationsbestandener Flächen bestimmt. Bereits ausschließlich mit Gras bewachsene Flächen zeigen günstige Veränderungen in ihrer Strahlungs- und Energiebilanz gegenüber der bebauten Umgebung. Dieser Effekt verstärkt sich durch das Vorhandensein von Sträuchern, hohen Bäumen oder gar Gewässern. Letztere absorbieren Strahlungsenergie, verfügen über eine hohe Wärmespeicherfähigkeit und eine hohe Evaporationsrate (Kuttler 1993:144).

In Abhängigkeit von der Größe und Lage der Grün- oder Wasserfläche, den Windverhältnissen und der umgebenden Nutzung wirken klimaökologische Komfortinseln mit einer Reichweite von bis zu 1 500 m in die umgebende Bebauung temperatursenkend (Kuttler 1993:146). Murakawa et al. (1988) wiesen nach, dass noch in 300 m Entfernung von einem Fließgewässer ein Straßenzug um 1 K niedrigere Werte zeigte.

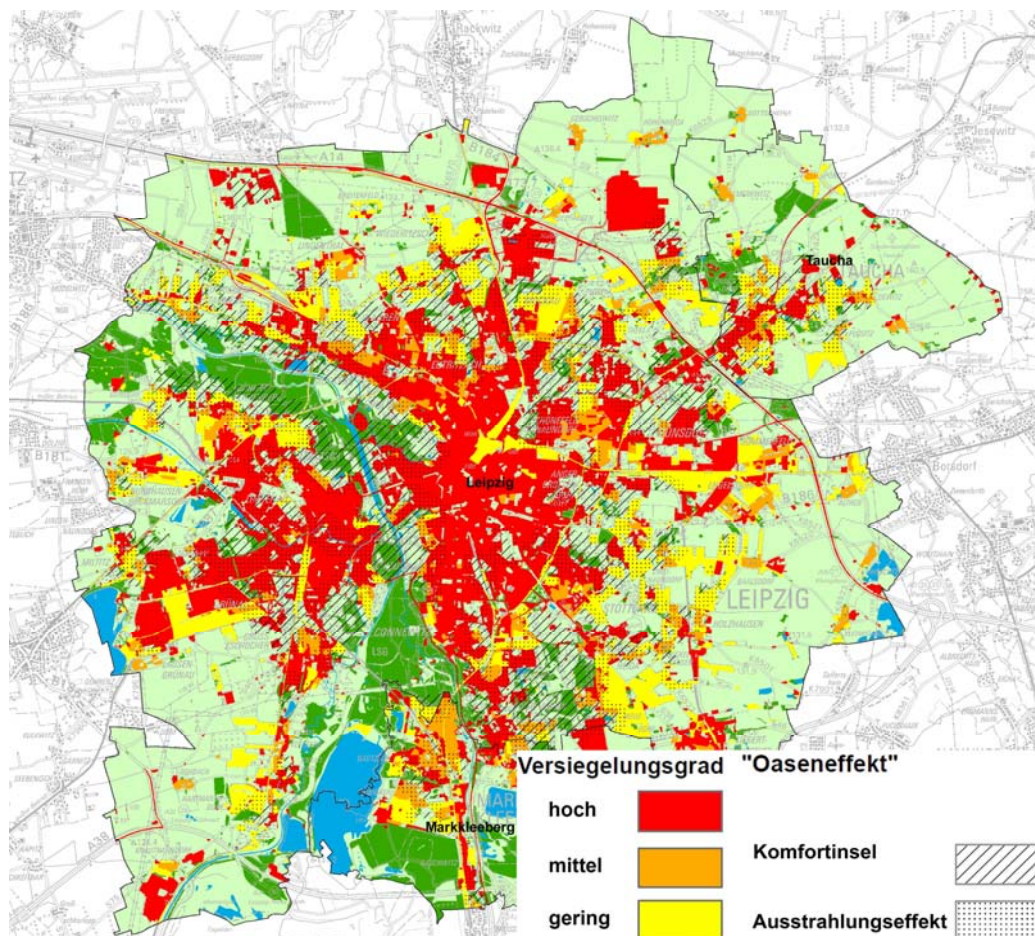


Abb. 13: Versiegelungsgrad, Komfortinseln und Oaseneffekt (vgl. Schmidt et al. 2010)

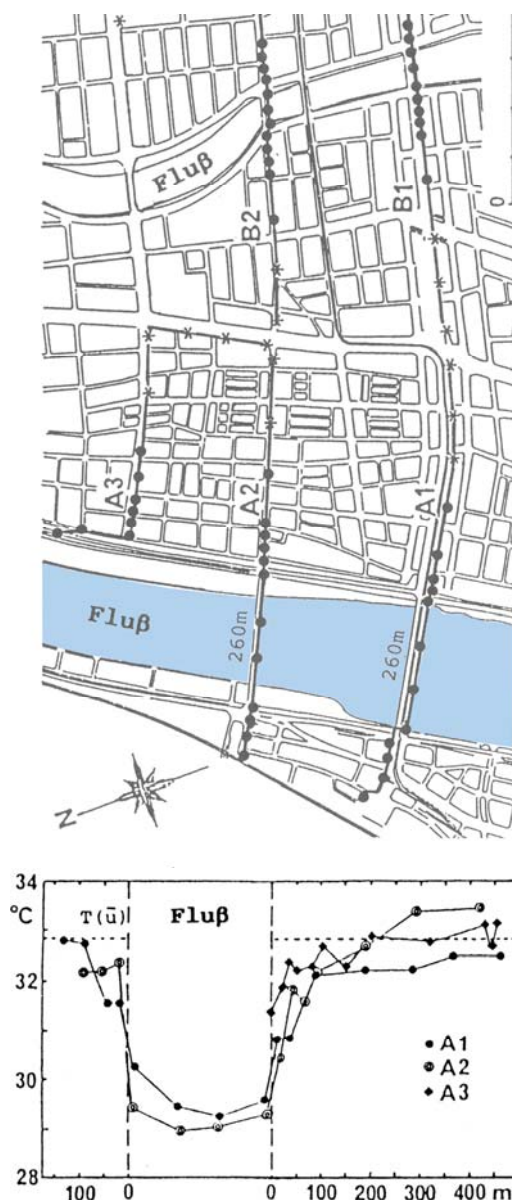


Abb. 14: Temperatursenkende Funktion eines Fließgewässers (verändert nach Murakawa et al. 1988).

Wenngleich die Breite von Straßenzügen, die überwiegenden Windrichtungen und damit die Lage zu den Komfortinseln einen maßgeblichen Einfluss auf die Größe des Ausstrahlungseffektes hat, wurde dies im Rahmen des regionalen Betrachtungsmaßstabs nicht einbezogen.

Bei Wasser- und Waldflächen wurde ein Ausstrahlungseffekt von 400 m einbezogen, bei den restlichen Komfortinseln lediglich von 200 m.

Ein weiterer Aspekt der Anpassungsfähigkeit stellen die erholungsbedeutsamen Wälder und Seen in der 30-Minuten-Naherholungszone dar. An heißen Tagen stellen sie vergleichsweise schnell erreichbare Abkühlungsbereiche dar.

Aus diesen Handlungsräumen ergaben sich

konkrete Vorschläge für eine spätere Fortschreibung des formellen Regionalplanes. Dabei ist es weder notwendig noch zielführend, Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete „Klimaanpassung“ als neue Festlegungskategorie einzuführen. Eine solche summarische Kategorie wird insbesondere der Unterschiedlichkeit nötiger Anpassungsstrategien nicht gerecht. Sie führt auch aufgrund der Einschränkungen der Überlagerungsfähigkeit bei Vorranggebieten zu nicht sinnvollen Ergebnissen. Stattdessen wird eine handlungsorientierte und differenzierte Integration der Strategien zur Klimaanpassung vorgeschlagen. Die konkrete Ausformung hängt dabei zweifelsohne von dem landesplanerisch vorgegebenen regionalplanerischen Instrumentarium ab und ist deshalb nicht zu pauschalieren.

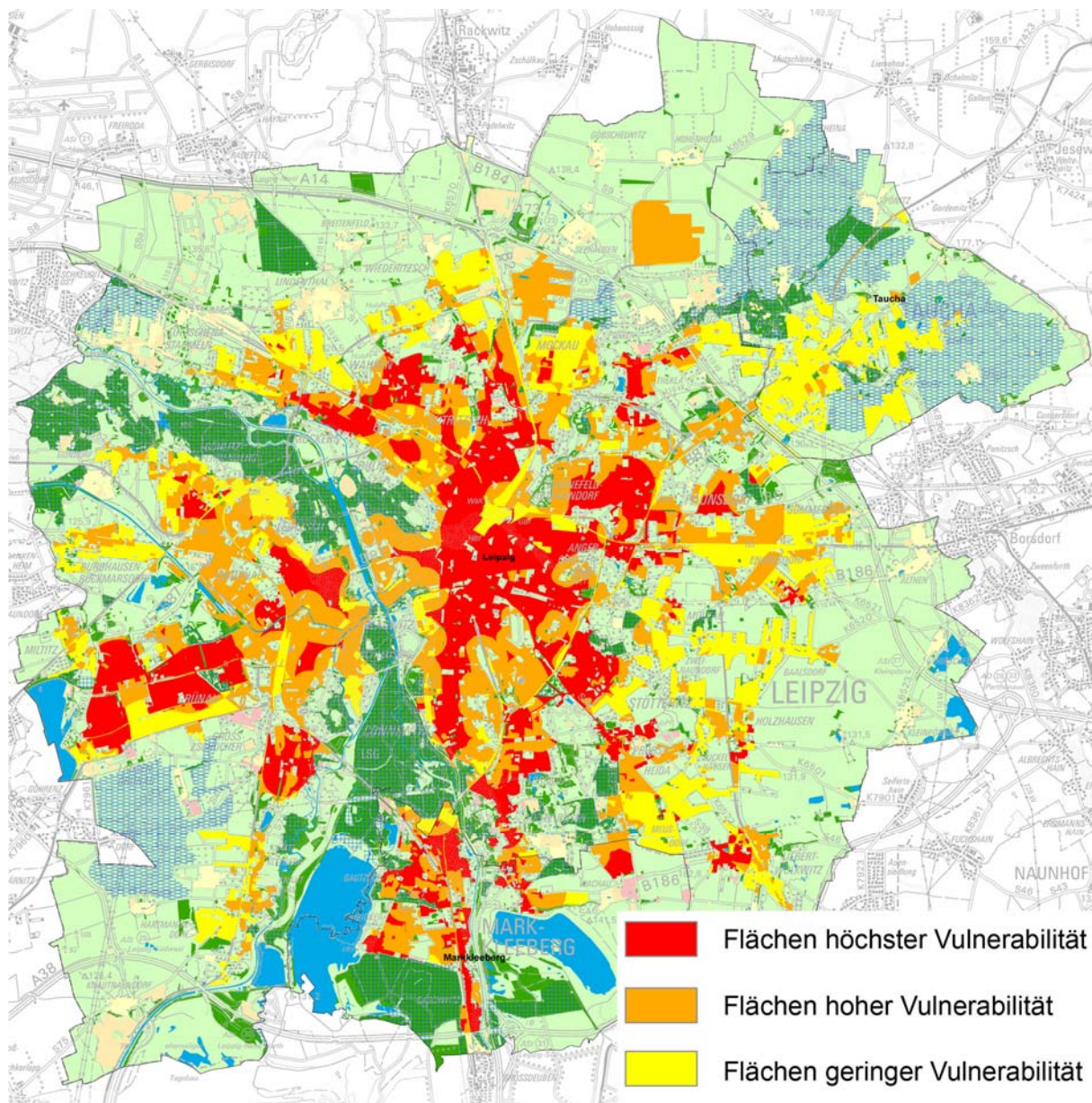


Abb. 16.: Vulnerabilität und unterschiedliche Handlungsprioritäten (vgl. Schmidt et al. 2010)

In den Räumen höchster Vulnerabilität des Themengebietes „Hitze und menschliche Gesundheit“ sollen bevorzugt klimatische Komfortinseln auf Brachflächen angelegt werden. Vorgeschlagen wird die Aufnahme einer neuen Zielkategorie in den Regionalplan: „Gebiete zur Erhöhung des Anteils an klimatischen Komfortinseln auf Brachflächen“. Hier kann auf Ebene der Vulnerabilitätsanalyse eine Rahmensetzung bzw. eine räumliche Schwerpunktsetzung vorgenommen werden, während die konkrete Ausgestaltung der Landschaftsplanung im Kontext zur Bauleitplanung obliegt.

Darüber hinaus sollen in der 30-Minuten-Naherholungszone die Ausweisungskriterien zur Ableitung von Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebieten der Waldmehrung ergänzt werden. Dazu wird das Kriterium „Bereiche der Naherholungszone mit geringer klimatischer Entlastungswirkung und hoher Einwohnerdichte“ vorgeschlagen.

Zur Formulierung von Empfehlungen für die informelle Regionalplanung werden aktuell weitere Untersuchungen durchgeführt. Konkrete Projekte zur Brachflächenentwicklung sollen im Fokusgebiet Leipzig angestoßen werden.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch Hitze können ernsthafte Gefahren für große Teile der Bevölkerung ausgehen. Zur Begegnung dieses Risikos - voraussichtlich verstärkt durch den Klimawandel - ist auch die Raumplanung als vorsorgende Planung gefordert.

Vulnerabilitätsanalysen - als externe Studien oder als ergänzender Teil der Landschaftsrahmenplanung - bilden eine bedeutsame Grundlage zur begründeten Ableitung von Handlungsschwerpunkten. Sie stellen der Regionalplanung umfangreiche Abwägungsgrundlagen zur Verfügung.

Aus der Vulnerabilitätsstudie Westsachsens ergaben sich eine Reihe konkreter Anregungen für eine spätere Fortschreibung des Regionalplanes. Dies gilt insbesondere für das Thema „Hitze und menschliche Gesundheit“. Zugleich wurde aber auch deutlich, dass regionalplanerische Festlegungen - wie z. B. Kalt- und Frischluftabflussbahnen - bereits aktuell im Sinne einer Klimaanpassung vorliegen.

Bei der notwendigen Auswertung von Klimamodellen sollten nachvollziehbare, praktikable und pragmatische Ansätze verfolgt sowie empfindliche Bevölkerungsteile einbezogen werden. Auch klimaökologische Komfortinseln sollten in die Untersuchung einbezogen werden. Deren Analyse eignet sich besonders zur strategischen Ableitung von konkreten raumplanerischen Festlegungen.

8. Literatur

Beniston, M.: Climatic Change and its Impacts - An overview focusing on Switzerland; Advances in global change research Vol. 19; Dordrecht 2004.

Center for Environmental System Research (CESR): ENSEMBLE-basierte Vorhersagen zum Klimawandel und dessen Auswirkungen; 2011; im Internet: http://www.usf.uni-kassel.de/cesr/index.php?option=com_project&task=view_detail&agid=70&lang=de vom 23.10.2011.

Die Bundesregierung: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel; vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen; im Internet: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf 13.8.2010.

Die Vereinten Nationen: Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen; New York 1992.

Gabriel, Katharina M.A.; Endlicher, Wilfried R.: Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany; Environmental Pollution 159; 2011; S. 2044-2050 im Internet:

<http://www.science>

[direct.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271833&_user=10&pii=S0269749111000388&_check=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=2011-09-30&wchp=dGLzVBA-zSkWb&md5=52af8bd226c8e904f95e25406ae04448/1-s2.0-S0269749111000388-main.pdf](http://www.science-direct.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271833&_user=10&pii=S0269749111000388&_check=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=2011-09-30&wchp=dGLzVBA-zSkWb&md5=52af8bd226c8e904f95e25406ae04448/1-s2.0-S0269749111000388-main.pdf) vom 23.10.2011.

Hagemann, Stefan; Jacob, Daniela: Regionale Klimamodelle - Konsequenzen für das Einzugsgebiet von Elbe und Rhein; in: Natura 2000 und Klimaänderungen; Naturschutz und Biologische Vielfalt Nr. 46; Bonn-Bad Godesberg 2007; S. 33-48.

Huynen, M.M.T.E.; Martens, P.; Schram, D.; Weijenberg, M.P.; Kunst, A.E.: The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population; in: Environmental Health Perspectives 109 (5); 2001; S. 463-470.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Die wichtigsten Ergebnisse des vierten Sachstandsberichtes (AR4) des IPCC 2007 - eine Zusammenfassung http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/dmg-mitteilungen/2007_1.pdf vom 14.6.2010.

Jendritzky, G.; Bröde, P.; Fiala, D.; Havenith, G.; Weihs, P.; Batchvarova, R.; DeDear, R.: Der Thermische Klimaindex UTCI; in: Klimastatusbericht 2009 Deutscher Wetterdienst (DWD); 2009; S. 96-101; im Internet: http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne_berichte/ksb2009__pdf/artikel11,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/artikel11.pdf vom 23.10.2011.

Kommission der europäischen Gemeinschaften: Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Anpassung an den Klimawandel in Europa - Optionen für Maßnahmen der EU; Brüssel, den 29.6.2007; im Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0354:FIN:DE:PDF> vom 15.7.2010.

Koppe C., Jendritzky G., Pfaff G.: Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit; in: Klimastatusbericht 2003; DWD, Offenbach 2003.

Kromp-Kolb, Helga: Klimawandel und Gesundheit; StartClim2005 Endbericht; Wien, November 2006; im Internet: http://www.austroclim.at/fileadmin/user_upload/reports/StCl05gesamt.pdf vom 23.3.2010.

Kuttler, W.: Stadtklima; in: Stadtökologie; Stuttgart 1998.

- Kuttler, Wilhelm: Stadtklima; in: Sukopp, H.; Wittig, R.: Stadtökologie; Stuttgart, Jena, New York 1993; S.113-153.
- Matzarakis; Andreas; Mayer, Helmut: Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET des Fachausschusses Biometeorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V.; in: Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg Nr. 16; Freiburg, März 2007.
- Mayer, H.; Matzarakis, A.: Probleme bei der Anwendung der human-biometeorologischen Bewertung des Stadtklimas; in: Anal. Meteorol. 37, Band 1; 1998; S. 181-182.
- Meteorologisches Institut der Universität Freiburg: UTCI Universal Thermal Climate Index; im Internet: <http://www.utci.org/index.php> vom 23.10.2011.
- Mosimann, T.: Schutzgut Klima, Luft in der Landschaftsplanung; Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan, Hannover 1999.
- Murakawa, S.; Sekine, T.; Narita, K.; Nishina, D.: Study on the effect of river on thermal environment in urban area; in: Nihon Kenchiku Gakkai 396; 1988; S. 25-34.
- Nitschke, M.; Tucker, G. R.; Bi, P.: Morbidity and mortality during heat waves in metropolitan Adelaide; in: Medical Journal of Australia 187; 2007; S. 662-665.
- Rapp, J.: Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland; Bericht Nr. 212, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach 2000.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen: Regionalplan Westsachsen; Leipzig 2008.
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) (Hrsg.): Klimawandel und Landwirtschaft; Strategien zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel; Dresden 2009.
- Sartor, F.; Demuth; C., Snacken; R.; Walkiers, D.: Mortality in the elderly and ambient ozone concentration during the hot summer, 1994, in Belgium; in: Environmental Research 72 (2); 1997; S. 109-117.
- Schmidt, Catrin; Seidel, Andrea; Kolodziej, Jan: Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen; Dresden 2010; im Internet: <http://www.rpv-west-sachsen.de/download/vulstudie1.pdf> vom 23.10.2011.
- Schönwiese, Christian-D.; Janoschitz, Reinhard: Ein neuer Klima-Trendatlas für Deutschland; Frankfurt 2008; im Internet: http://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/dkt/abstracts/klimaparameter/Schoenwiese_p.pdf vom 4.9.2010.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin: Digitaler Umweltatlas Berlin; 04.12 Klima- wandel und Wärmebelastung der Zukunft; Das Stadtbioklimamodell UBIKLIM; 2010; im Internet: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d412_02.htm#A2 vom 23.10.2011.
- Smoyer, K. E.: Putting risk in its place: methodological considerations for investigating extreme event health risk; in: Social Science & Medicine 47; 1998; S. 1809-1824.
- Stock, Manfred: Gewässerunterhaltung und Landwirtschaft aus der Sicht der Klimaforschung; Dahlewitz 2007; im Internet: http://www.dbvw.de/pdfs/fachthemen/3210_Stock_Dahlewitz.pdf vom 3.9.2010.
- Turner, B. L.; Kasperson, R. E.; Matson, P. A.; MC Cathy, J. J.; Corell, R. W.; Christensen, L.; Eckley, N.; Kasperson, J. X.; Lubes, A.; Martello, M. L.; Polsky, C.; Pul-sipher, A.; Schiller, A.: A framework for vulnerability analysis in sustainability science; in: Proceedings of the National Academy of Sciences 100; 2003; S. 8074-8079; im Internet: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC_166184/ vom 10.9.2010.
- van der Linden, P.; Mitchell, J.F.B.: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project; Exeter (UK); 2009; im Internet: <http://www.ensembles-eu.org/> vom 23.10.2011.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Richtlinie VDI 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima; 2008 Düsseldorf.
- Zebisch, Marc; Grothmann, Torsten; Schröter, Dagmar; Hasse, Clemens; Fritsch, Uta; Cramer, Wolfgang: Klimafolgen und Anpassung im Bereich Wasserwirtschaft Dessau, August 2005; im Internet: http://www.anpassung.net/nn_700710/DE/Fachinformationen/KlimaFolgenAnpassung/Wasserwirtschaft/wasserwirtschaft__node.html?__nnn=true vom 3.9.2010.

Autorenanschrift:

Dipl.-Ing. Jan Kolodziej
 Referendar der Landespflege
 Bezirksregierung Köln
 Zeughausstr. 2-10
 50667 Köln
 Tel.: +49 (0)221/147-3157
 Fax: +49 (0)221/147-3339
 E-Mail: jankolo@gmx.de

Stadtklima und Planung in Stuttgart

Urban Climate and Planning in Stuttgart

RAINER KAPP / ULRICH REUTER

Zusammenfassung

Der Klimawandel kann nicht länger vollständig aufgehalten werden. Zunehmende Wetterextreme wie Hochwasser, Stürme, Hitzewellen und Dürren sind klare Zeichen für die heftigen Auswirkungen des Klimawandels.

Es zeigt sich, dass die jahrzehntelangen Bemühungen der Stadtklimatologie zum Schutz des lokalen Klimas auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sind. Das gilt in Stuttgart besonders für den Schutz gegen die Hitze in der Stadt durch den Erhalt und die Vergrößerung der Grünflächen in der Stadt, z. B. Wald und Parkanlagen, durch die Sicherung wichtiger Frischluftschneisen und Luftaustauschbahnen, aber auch durch Verkehrsgrün, begrünte Stadtbahngleise und Dachbegrünungen. Insbesondere der planerische Schutz kaltluftrelevanter Flächen kann ein probates Mittel sein, die Verwundbarkeit im Bereich Überhitzung von Stadtquartieren durch Sicherstellung von Kaltlufteinträgen zu reduzieren.

Der folgende Beitrag beschreibt, wie die Stadtklimatologie in Verbindung mit den Rechtsinstrumenten der räumlichen Planung ein für die „Klimaanpassung“ erforderliches Instrumentarium darstellen kann und zeigt dies anhand von Beispielen auf.

Stadtklima, Klimawandel, Anpassung, Planung, Frischluftschneisen, Wärmeinseleffekt, Überhitzung

Summary

Global climate change is a process which is no longer completely reversible. The increase of extreme weather conditions such as floods, storms, heat waves and droughts are all clear indicators of climate change and its severe repercussions.

The efforts undertaken by the Section of Urban Climatology over decades to protect the local climate simultaneously serve as an effective approach of adjusting to climate change. In Stuttgart this applies mainly to the reduction of heat in the city centre. Measures undertaken here include the maintenance and expansion of vegetational areas such as woodland and parks in the city, the enhanced planting of roadsides, railway tracks and rooftops as well as the safeguarding of vital fresh air corridors and air exchange channels. Therefore preserving areas relevant for the generation of cold air becomes a key factor in reducing a city's vulnerability to excess heat. This should be considered in a city's development plans ensuring an adequate influx of cold.

The following article describes how "climate adaptation" can be successfully engineered using the tools provided by urban climatology in addition to the legal instruments of spatial planning and illustrates this by means of examples.

1. Stadtklimatische Grundlagen

Das Vorhandensein von Klimadaten bzw. Statistiken von meteorologischen Einflussgrößen ist die Voraussetzung für jedes sinnvolle Planen, Konstruieren und Bauen, schon beginnend bei Standortfragen, über die technische Normung und technische Sicherheit (Windlasten) bis zur Benutzbarkeit von Räumlichkeiten (Tageslichtbeleuchtung, Dimensionierung von raumluftechnischen Anlagen).

Die Reihe meteorologischer Disziplinen wurde im Jahr 1937 durch die Stadtklimatologie ergänzt. Anlass dazu war das in diesem Jahr von Pater Albert Kratzer verfasste Buch mit dem

Titel „Das Stadtklima“. Hier wurde zum ersten Mal systematisch der Zusammenhang aufgezeigt, dass Planen und Bauen in der Stadt die Qualität von Luft und Klima beeinflussen. Die Stadtklimatologie beruht auf der Anwendung meteorologischer Grundlagen, Arbeitsweisen und Erkenntnisse auf die durch Bauwerke geprägte Umgebung unter Einbeziehung der Luftschadstoffbelastung. Dabei hat sich herausgestellt, dass das Stadtklima wegen seiner geringen Maßstabsgröße mit der Maschenweite des regulären Welt-Wetter- und -Klimamessnetzes nicht erfasst werden kann, so dass die Stadtklimatologie auf zusätzliche mikroskalige Informationen angewiesen ist.

Negative stadtklimatische Auswirkungen lassen sich insbesondere an zwei Erscheinungen festmachen. Zum einen wird durch dichte Bebauung die Ventilation eingeschränkt und damit entstehen bei entsprechenden Emissionen Situationen hoher Schad- oder Geruchsstoffbelastung. Zum zweiten treten – besonders in Verbindung mit einem milden Standortklima – häufig thermische Belastung und Schwüleempfindung auf, bedingt durch die eingeschränkte Ventilation und die Wärmespeicherung der Baumasse. Eine weitere Rolle spielt das Fehlen natürlicher Oberflächen, die sich nicht so stark erwärmen bzw. nachts deutlich abkühlen.

Gegebenenfalls kann ein sich entsprechend der Orographie unter bestimmten meteorologischen Bedingungen (Wolkenarmut, wind-

schwache Situation) nachts ausbildendes Kaltluftsystem, die stadtklimatisch-lufthygienischen Defizite abmildern. Weiterhin kann eine sinnvoll vernetzte Grünausstattung in einer Stadt einen bedeutenden Beitrag (Kaltluftproduktion, -abfluss, thermischer Ausgleich) zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation leisten.

Kaltluft kann durchaus auch unerwünschte Wirkungen haben, z. B. wenn sie auf ihrem vorgegebenen Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnimmt und weitertransportiert. Insofern gilt es, Emissionen in kaltluftrelevanten Bereichen zu minimieren. Ebenso kann Kaltluft im Winterhalbjahr (Nebel, Glatteisbildung) oder in wuchsklimatischer Hinsicht (z. B. Weinbau) von Nachteil sein.

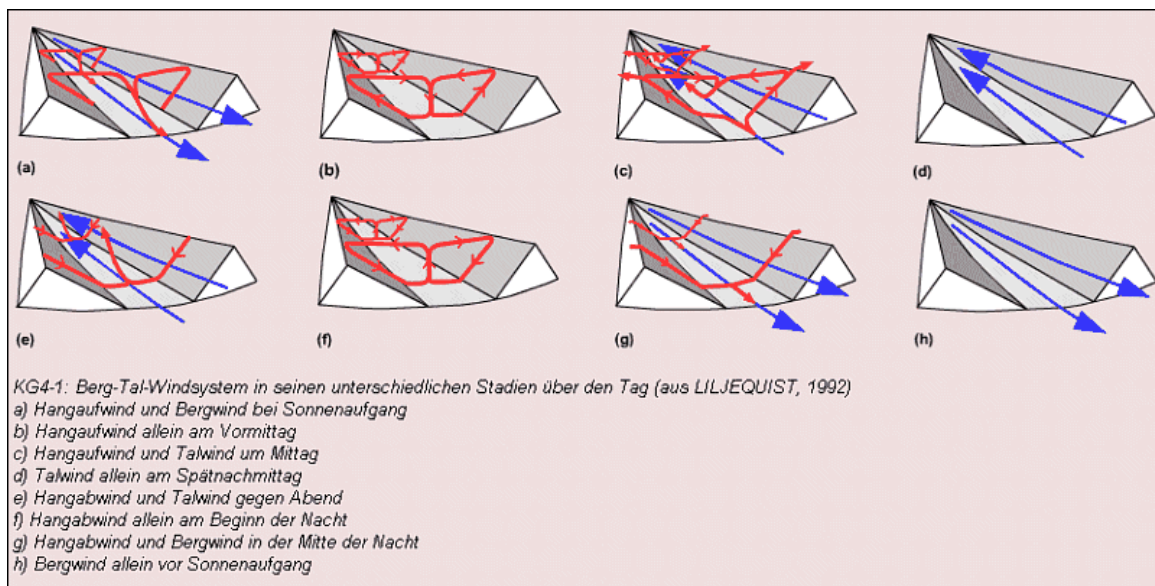


Abb. 1: Zusammenspiel der Hang- und Talwinde im Laufe des Tages (Baumüller et al. 2007)

2. Stadtklima Stuttgarts und Klimawandel in Baden-Württemberg

Im Jahr 1938 beschloss der Stuttgarter Gemeinderat die Anstellung eines Dipl.-Meteorologen, um Untersuchungen über die klimatischen Verhältnisse und deren Beziehung zum Städtebau vornehmen zu lassen. Zuvor war 1935 zur differenzierten Steuerung der Stadtentwicklung eine neue Ortsbausatzung erlassen worden, die das Stadtgebiet in Baustaffeln mit festgelegten Abstands-, Dichte- und Nutzungsvorschriften aufgliederte.

Die Schaffung dieses Arbeitsgebietes „Stadtklimatologie“ muss insbesondere vor dem Hintergrund der komplexen topographischen Situation der Stadt Stuttgart sowie der hier vorherrschenden Austauscharmut gesehen werden. In Verbindung mit dem milden Klima einer Weinbauregion resultiert das häufige Auftreten von thermischer Belastung bzw. Schwüle-Empfindung. Auch der zweite klimatisch-lufthygienische Nachteil Stuttgarts ist auf die Windarmut zurückzuführen, nämlich das oftmals episodenhafte Ansteigen der Luftbelastung, wobei die lufthygienischen Themenbereiche sich erst ab etwa 1950 zunehmend entwickelten. In Stuttgart allerdings erwuchs dieses - wie überall - wachsende Interesse aus einer meteorologischen Fragestellung: welche Bedeutung haben die Frischluftschneisen für die Luftreinhaltung und welche Folgerungen ergeben sich daraus für die Stadtplanung.

Die geländeklimatische Situation des Stuttgarter Innenstadtbereiches ist geprägt durch Höhenzüge, die die morphologischen Grenzen des Stadtkessels bilden. Der Höhenzug im Nordwesten trennt dabei den Kessel des Neesenbachs von der Talweitung des Feuerbachs. Geformt wird dieser insgesamt eher schwach gegliederte Höhenzug durch Einsattelungen und Vorsprünge, von denen der markanteste sich in die Innenstadt hineinzieht und dort langsam ausklingt. Durch die reliefbedingte Windabschattung greift der (ohnehin schwache) übergeordnete Wind im Stadtkessel nur relativ schwach ein, so dass Luftbewegungen in Bodennähe eher Kaltluftcharakter aufweisen. Dieser wird durch ein - bedingt durch die beschriebene geländeklimatische Situation ausgeprägtes - Kaltluftsystem generiert, wobei in Bodennähe gebildete kalte Luft hangabwärts fließt. Die Dicke solcher Kaltluftschichten beträgt bis etwa achtzig Meter und kann in Stausituationen auch auf über hundert Meter anwachsen. Die typische Fließgeschwindigkeit der Kaltluft liegt meist unter 1 m/s. Die Produktionsrate, aber auch die Abkühlungsrate von Kaltluft hängen stark von Untergrund und Art der Vegetation ab: "Wälder erzeugen dabei wesentlich größere Volumina relativ gering

abgekühlter Luft", während Wiesen "kleinere Mengen wesentlich kälterer Luft" liefern (Gossmann 1984, zit. in Kiese 1988). Besiedelte Gebiete verhalten sich bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel).

Außer durch Windarmut wird Stuttgart auch durch häufige Inversionswetterlagen, also fehlenden Vertikalaustausch, charakterisiert.

Die Ausbildung einer mehr oder weniger ausgeprägten Wärmeinsel ist im dicht bebauten Stuttgarter Innenstadtkessel ein bekanntes Phänomen. Insbesondere in Zeiten häufigerer und länger andauernder Hitzeperioden kommt es dabei zu ernstesten Auswirkungen auf die Bewohnerinnen und Bewohner. Diese sind eine erhöhte Mortalitätsrate, besonders bei älteren Menschen und Risikogruppen und die Minderung der Lebensqualität, wodurch auch die Produktivität und letztlich die städtische Wirtschaft beeinträchtigt wird (Kress & Drack 2007).

Für Stuttgart hat Kaltluft unter stadtklimatischen Gesichtspunkten also doppelte Bedeutung: zum einen sorgt sie nachts für Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete. Zum anderen dient sie, wenn sie aus lufthygienisch gering belasteten Gebieten kommt, der nächtlichen Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume.

Es ist davon auszugehen, dass sich der Wärmeinseleffekt in Stuttgart durch den Klimawandel eher verstärken, der Kernbereich der Stadt also immer mehr zur Hitzeinsel werden wird. Umso mehr werden die Bemühungen um thermische Entlastung durch Sicherung und Verbesserung des Kaltluftsystems an Bedeutung gewinnen und in eine Anpassungsstrategie im Bereich der Stadtentwicklung Eingang finden müssen.

Über die Klimaveränderungen und ihre Auswirkungen in Baden-Württemberg sowie hinsichtlich der regionalen Unterschiede liegen derzeit folgende Erkenntnisse vor (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.) 2010):

Nach bisher festgestellten Entwicklungen lag in Baden-Württemberg das Temperaturmittel für den Zeitraum 1931 bis 2005 $1,0^{\circ}\text{C}$ über dem Mittel des Zeitraums 1961 bis 1990, der als Referenzzeitraum für die Klimaentwicklung international vereinbart ist. Für die Zeit von 2000 bis 2008 lag das Mittel sogar um $1,1^{\circ}\text{C}$ über dem der Referenzperiode, was auf eine Beschleunigung der Entwicklung hindeutet. Damit wird in Baden-Württemberg der langjährige globale Trend der Klimaentwicklung ($0,7^{\circ}\text{C}$ in den letzten 100 Jahren) deutlich überschritten. Diese Ergebnisse sind im KLIWA-Monitoringbericht, der im Rahmen des Koope-

rationsvorhabens „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ unter Mitwirkung des Deutschen Wetterdienstes erstellt wurde, dokumentiert (Rudolf et al. 2010).

Die Temperaturzunahmen sind in Baden-Württemberg im Winterhalbjahr (November bis April) ausgeprägter (1,2° C) als im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober 1,0° C). Das Hoch- und Oberrheingebiet ist mit 1,2° C im Winter und 1,0° C im Sommerhalbjahr am stärksten vom Temperaturanstieg betroffen, gefolgt vom Neckarraum (1,2° C Winterhalbjahr, 0,9° C Sommerhalbjahr) und dem Donau- und Bodenseeraum (1,0° C Winterhalbjahr, 0,7° C Sommerhalbjahr).

Auch bei den Niederschlägen machen sich die Klimaveränderungen deutlich bemerkbar. Es ist eine sehr ausgeprägte Erhöhung der Gebietsniederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr um bis zu ca. 30 % zu beobachten, während die Gebietsniederschläge im Sommerhalbjahr eher abnehmen. Von besonderer Bedeutung ist, dass die Niederschläge vermehrt als Starkniederschläge auftreten.

Im Winterhalbjahr wurden in Baden-Württemberg regional sehr unterschiedlich zwischen 5 % und 33 % mehr Starkniederschläge festgestellt. Im Sommer regnet es weniger häufig, dann jedoch mit höherer Inten-

sität als Starkniederschlag. Die Sommertrends sind allerdings bislang überwiegend noch nicht signifikant.

Für die eine Prognose der zukünftigen Entwicklung bis zum Jahr 2050 wurden u.a. die Klimamodelle WETTREG und REMO eingesetzt (Randbedingungen jeweils: Globalmodell ECHAM4, Emissionsszenario B2, Verifikationszeitraum 1971 – 2000, Szenario 2021 – 2050). Die Ergebnisse lassen für Baden-Württemberg einen weiteren Temperaturanstieg um 2° C im Winter und ca. 1,5° C im Sommer erwarten. Damit verbunden ist eine Zunahme der Sommertage (Maximaltemperatur > 25° C) um ca. 30 %. Die Anzahl der heißen Tage (Maximaltemperatur > 30° C) wird – teilweise um nahezu das Doppelte – zunehmen. Es deutet einiges darauf hin, dass sich Hitzesommer wie im Jahr 2003 künftig öfter wiederholen könnten.

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen für die Region Stuttgart die Zahl der Tage mit Wärmebelastung heute und künftig. Modellierungen ergaben eine durchaus zu erwartende Verdoppelung der Wärmebelastungstage. Während heute 6 % der Fläche an mehr als 30 Tagen mit Hitzestress belastet sind, sind dies künftig 57 % der Fläche mit einem entsprechend höheren Bevölkerungsanteil.

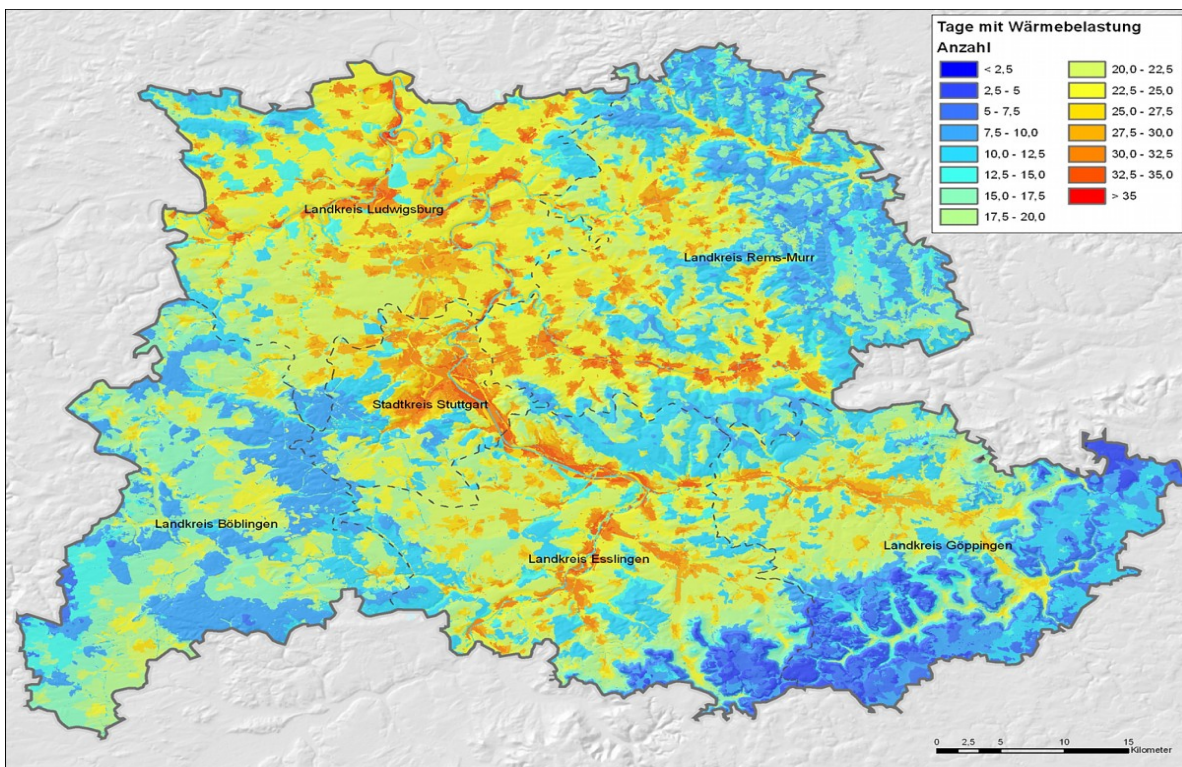


Abb. 2: Wärmebelastung Region Stuttgart

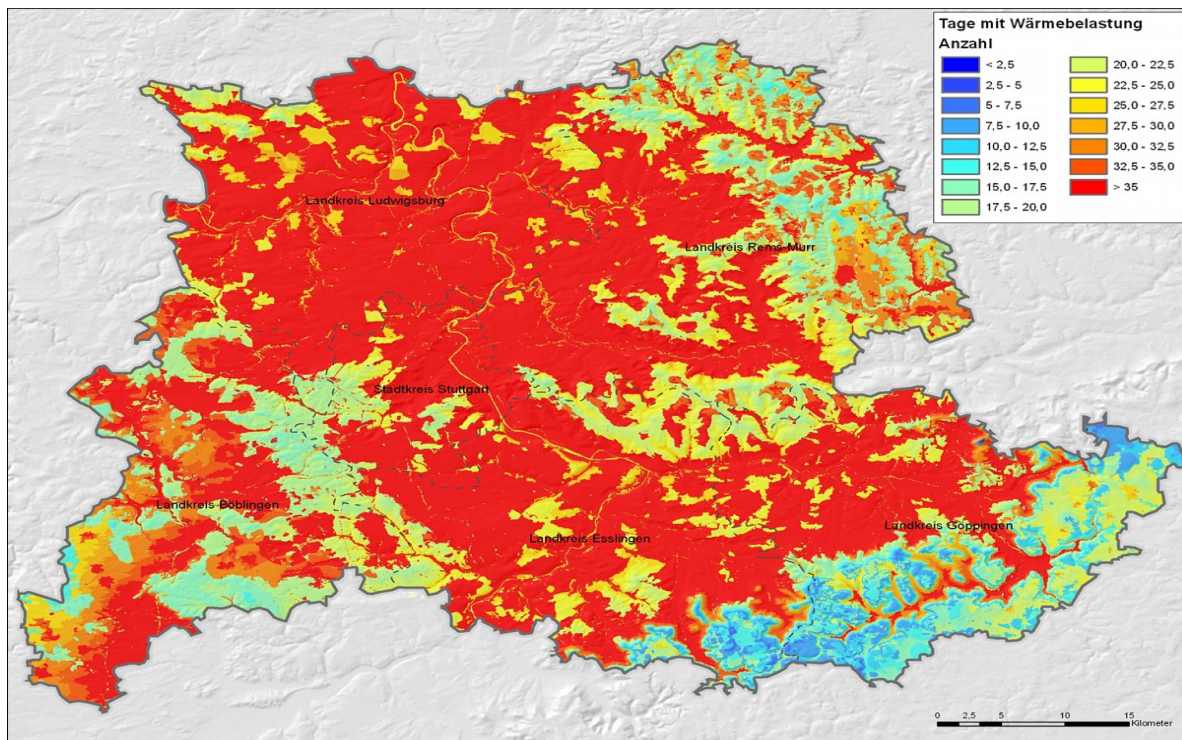


Abb. 3: Wärmebelastung Region Stuttgart künftig

Quelle jeweils: Klimaatlas Verband Region Stuttgart

Datengrundlage: Daten zum Bioklima, DWD; DHM Verwaltungsgrenzen; Verband Region Stuttgart

Bearbeitung und Kartographie: Dipl.-Geogr. Heide Esswein 2007

Die Niederschläge werden sich im Allgemeinen im Sommer weniger verändern (Abnahme < 10 %), im Winter jedoch regional unterschiedlich um bis zu 35 % zunehmen. In den Hochlagen des Schwarzwaldes wird sich in den Monaten Dezember bis Februar die Zahl der Tage mit hohen Niederschlägen fast verdoppeln.

Die Klimaveränderungen treffen mit ihren Auswirkungen praktisch alle Lebensbereiche in Baden-Württemberg. Besonders betroffen sind die menschliche Gesundheit, die Land- und Forstwirtschaft, der Bodenschutz, die Wasserwirtschaft, die Schifffahrt und die Energieversorgung, der Naturschutz und die biologische Vielfalt sowie der Tourismus.

In der Konsequenz erfordert dies entsprechende Anpassungsmaßnahmen. Ein Schwerpunkt ist dabei in der Verbesserung der Wasserrückhaltung- und Kühlkapazität der Stadt zu sehen. Das stadtklimatologische Augenmerk richtet sich dabei auf „grüne“ strukturelle Ansätze, die die Widerstandskraft der Ökosysteme, speziell auch Kaltluftsysteme verbessern.

Kaltluftsystemen kommt dabei insofern eine besondere Bedeutung zu, als dass sie einerseits nachts für Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete, andererseits auch für Abtransport und Verdünnung von Luftschadstoffen sorgen.

3. Stadtklima in der Planung

Bei der „stadtklimagerechten Planung“ stehen sowohl immissionsklimatische (Schadstoffbelastung) als auch bioklimatische (Hitze-/Kältestress) Fragestellungen im Fokus. Allerdings wird der Klimawandel mit seinen Auswirkungen in der Region Stuttgart vor allen Dingen im bioklimatischen Bereich zu negativen Veränderungen bzw. Verschärfungen führen.

„Stadtklimagerechte Planung“ als Teil einer Anpassungsstrategie bedeutet also hauptsächlich, die Frisch-/Kaltluftzufuhr in die Innenstadt über bestehende Freiflächen und Hänge oder Taleinschnitte zu sichern und gegebenenfalls auch zu verbessern. Weiterhin müssen Möglichkeiten genutzt werden, bebauten Gebiete mit unversiegelten, begrünten, klimatisch ausgleichend wirkenden Flächen zu vernetzen. Potenziale liegen zudem in der extensiven Begrünung von Flachdächern und Gleisanlagen der Stadtbahn und in der konsequenten Weiterentwicklung von Verkehrsgrünflächen hinsichtlich Trockenresistenz und/oder Baumpflanzungen zur Beschattung von öffentlichen Geh- und Aufenthaltsbereichen. Unversiegelte Flächen können außerdem als Versickerungsflächen zur Pufferung von Starkniederschlägen genutzt werden.

Die stadtklimatologischen Erkenntnisse entfalten im Wesentlichen im Rahmen der Bauleitplanung Wirkung, insbesondere auf Ebene der Flächennutzungsplanung, weil hier hinsichtlich der Stadtklimaverträglichkeit in der Regel noch echte Alternativen zur Verfügung stehen. Auf der konkreteren und verbindlichen Bebauungsplanebene führt die stadtklimatische Bewertung zu Optimierungen. Der Flächennutzungsplan eines Stadtgebietes erlaubt also die notwendige Gesamtsystembetrachtung, während im Bebauungsplan verbindliche Festsetzungen, aber nur innerhalb des – häufig sehr kleinen – Plangebietes möglich sind. Im Vorfeld und für die ersten Entwurfsphasen haben sich Planungshinweiskarten auf Basis von Klimafunktionskarten bewährt (Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz 1992). Im Laufe des Verfahrens werden dann gutachtliche Stellungnahmen, zum Teil auch vertiefte Untersuchungen und entsprechende Empfehlungen erforderlich. Als vergleichsweise neues Instrument wurde in Stuttgart ein so genannter Rahmenplan (Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, 2008) beschlossen, der sich speziell des Themas „stadtklimagerechte Hangbebauung“ annimmt. Er erreicht zwar nicht die Verbindlichkeit eines Bebauungsplans, erlaubt aber dafür eine zusammenhängende Sicht des Themas über einzelne oft auch sehr kleine Plangebiete oder Einzelbauvorhaben hinaus und bietet sich als belastbares Abwägungsmaterial an.

Rechtliche Grundlage für eine derartige Vorgehensweise ist das Baugesetzbuch (BauGB 2009), das in § 1 Abs. 5 die Gewährleistung einer nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung fordert. Ebenso soll die Bauleitplanung dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln, auch in Verantwortung für den allgemeinen Klimaschutz. Insbesondere sind nach § 1 Abs. 6 BauGB bei der Aufstellung der Bebauungspläne die Belange des Umweltschutzes zu berücksichtigen und dabei explizit die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen. Für die Belange des Umweltschutzes wird mit § 2 Abs. 4 BauGB eine Umweltprüfung verlangt, in der die voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Im Gesetz zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege (BNatSchG 2008) heißt es unter § 1 Abs. 3: „Zur dauerhaften Sicherung der

Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts sind insbesondere Luft und Klima zu schützen; dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen.“

4. Planungsinstrumente/-beispiele

4.1 Rahmenplan Halbhöhenlagen

Mit dem Rahmenplan besteht für die Stadtbezirke des Stuttgarter Innenstadtkessels eine sog. „andere Planung“, die – im Vorfeld der Bauleitplanung angesiedelt – gleichwohl eine abwägungsrelevante Bedeutung für städtebauliche Planungen hat und der notwendigen Schaffung und Erhaltung von Grün- und Freiflächen im sensiblen System der Hanglagen dient.

Es handelt sich hierbei um ein Planungsinstrument, welches unter Berücksichtigung weiterer Aspekte (Boden, Freiraum, Naherholung, Landschaftsbild) Bereiche definiert, die aus einer Zusammenfassung der Kaltluftbahnen und der Grünzüge bestehen und somit wichtige Umweltqualitäten der Hangflächen darstellen. Diesen sogenannten Qualitätsbereichen sind differenzierte Anforderungen und Maßnahmen des Rahmenplans zugeordnet, z. B. in welchem Umfang überhaupt bauliche Erweiterungen möglich sind. Die jeweils zugehörigen stadtklimatischen Sachverhalte sind so aufbereitet, dass sie unmittelbar als Abwägungsmaterial in der Bauleitplanung verwendet werden können, was im Ergebnis für die an der Planung beteiligten Stellen (Planungsamt, Amt für Umweltschutz) unter Beachtung einheitlicher Qualitätsstandards und der zu fordernden Transparenz eine erhebliche Arbeitserleichterung bedeutet und Planverfahren beschleunigen hilft.

Die Stärke dieses Planungsinstruments liegt in seiner engen Verknüpfung von Umweltbelangen mit den zu berücksichtigenden städtebaulichen Erfordernissen der einzelnen Qualitätsbereiche. Gleichzeitig trägt es dem Umstand Rechnung, dass eine isolierte stadtklimatische Begutachtung kleinerer Einzelbauvorhaben auf Probleme der Maßstabsgröße stößt, wenn die durch das Bauvorhaben zu erwartenden Veränderungen quantitativ beschrieben werden sollen.

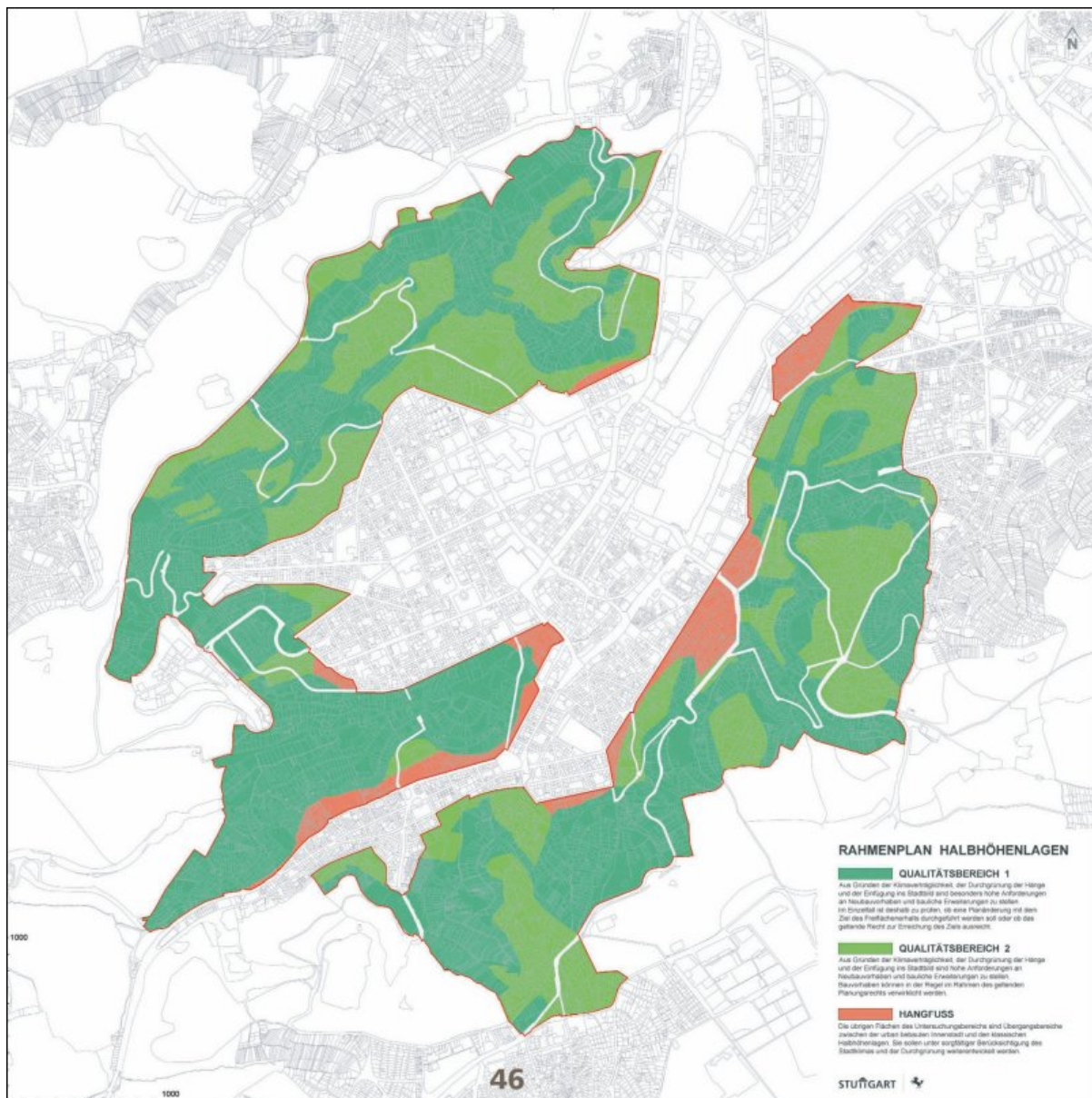


Abb. 4: Karte 10.04 Qualitätsbereiche aus Rahmenplan Halbhöhenlagen, Landeshauptstadt Stuttgart 2008

Die baulich nicht genutzten klimaaktiven Vegetationsflächen der Hanglagen unterstützen den bodennahen thermisch induzierten Luftaustausch, der in Form nächtlicher Hangabwinde zur Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse in Stuttgart beiträgt. Thermal-Luftbilder zeigen in diesem Zusammenhang den Temperatur mindernden Effekt der Hanglagen. Dieser Einfluss auf die nächtliche Abkühlung kann bis in die angrenzenden Wohnquartiere verfolgt werden.

Bauliche Erweiterungen im Bereich der Hänge würden sich wegen entsprechender Verluste durch die erhöhte mechanische und thermische Rauigkeit nachteilig auf den nächtlichen Kaltluftabfluss auswirken. Die Folge hohen

Versiegelungsgrades und hoher Bebauungsdichte sind bekanntermaßen bioklimatisch belastende Überwärmung bzw. häufigere Schwüleempfindung.

4.2 Beispiel Kaltluft

Der konkrete Bebauungsplan bietet die Möglichkeit, Kaltluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebiete von Bebauung freizuhalten, z. B. durch Festsetzung einer Grünfläche oder entsprechend angeordneter Baufenster, aber auch durch Höhenbeschränkungen oder Reduzierung der Baumasse.

Im Bereich des Gebietes *Unterer Grund* beispielsweise (Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz 2010) beginnt am Rand der Filderebene der Taleinschnitt des Elsentaales das dann wiederum in Kaltental von Westen her in das topografisch dominierende, südwest-nordost-orientierte Tal des Nesenbaches einmündet. Das Nesenbachtal weitet sich schließlich um Stuttgarter Talkessel aus. Der Höhenunterschied zwischen den Fildern und der Stuttgarter Bucht sowie das Vorhandensein Kaltluft produzierender Flächen auf den Fildern im Einzugsgebiet des Elsen-/Nesenbachtals, bilden die Gegebenheiten, auf welchen das große, die Innenstadt nächtlich belüftende thermisch induzierte Berg- und Talwindssystem beruht.

Die Randbereiche des Nesenbachtals und dessen Einzugsgebiet sind daher als Kaltluftproduzent, der Talverlauf selbst als Luftleitbahn von elementarem stadtklimatischen Interesse. Dies spricht eindeutig gegen die erweiterte bauliche Inanspruchnahme dortiger Grün- und Freiflächen.

Eingehende Besichtigungen des Geländes und seiner Umgebung, insbesondere aber die Durchführung abendlicher Rauchnebelversuche führten zur Empfehlung, die Masse der geplante Bauvorhaben so weit wie möglich in der Mitte des geplanten Baugebietes zu konzentrieren und dafür im Norden (beim Johannesgraben) und Süden (in Verlängerung des Vaihinger Friedhofes entlang der Bodensenke bei der Paradiesstraße) Freiflächen unbebaut zu belassen.



Abb.5: Ausschnitt Stadtkarte (eingenordet) „S-Vaihingen/S-Süd“ mit Kaltluftverlauf bis Nesenbachtal, Landeshauptstadt Stuttgart

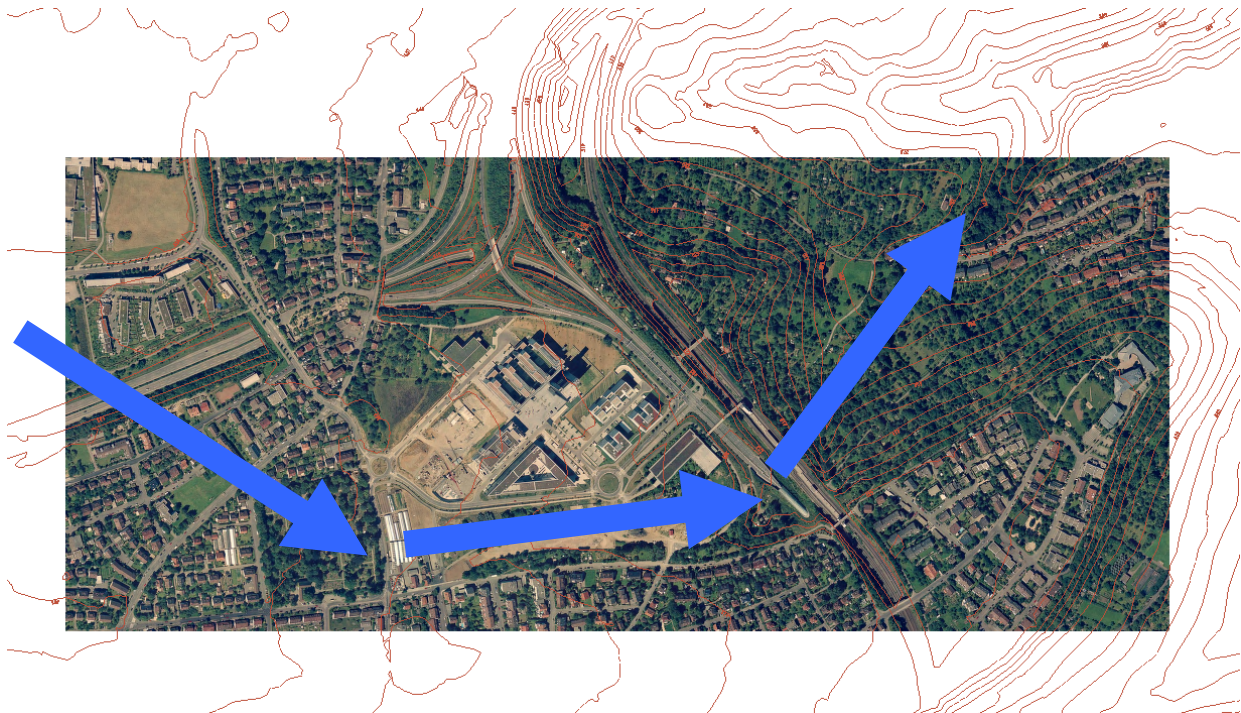
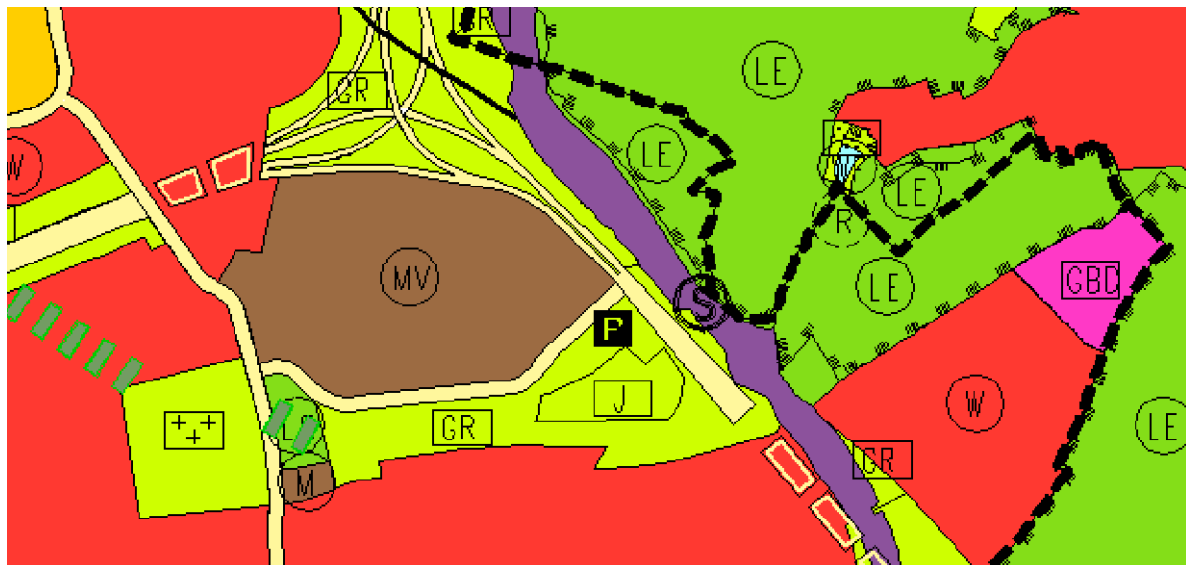


Abb. 6: Kaltluftabfluss über freigehaltene Ventilationsachse, Johannesgraben-Friedhof-Unterer Grund-Elsental

Quelle Luftbildaufnahme: Stadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, 2003



GR,LE = Grünflächen, W = Wohnbauflächen, MV,M = Gewerbliche Bauflächen

Abb. 7: Ausschnitt (eingenordet) „Unterer Grund“ aus Flächennutzungsplan 2010, Landeshauptstadt Stuttgart

Durch diese Empfehlung für die Baumassenverteilung im Unteren Grund konnte ein Kompromiss hergestellt werden zwischen den Bauabsichten einerseits und den Belangen des lokalen Luftaustausches andererseits. Im Übrigen konnte die geplante Gewerbeansiedlung auf Grund geänderter Pläne des Investors nicht realisiert werden, wobei als Ergebnis

einer notwendigen Umplanung STEP (Stuttgart Engineering Park) entstanden ist.

4.3 Beispiel Grünflächen

Zu den Grünflächen im Sinne der Bauleitplanung zählen

- Parkanlagen und Landschaftsparks

- Sonstige Grünflächen mit Angabe der Zweckbestimmung (z. B. Waldheim)
- Sportflächen
- Freibäder
- Friedhöfe
- Dauerkleingärten
- Kleintierzuchtanlagen
- Jugendfarmen/Aktivspielplätze
- Zelt- und Campingplätze
- Grünkorridore und Grünvernetzungen durch Siedlungsbereiche hindurch
- Grünsanierungsbereiche
- und Gartenhausgebiete

Die oben zusammengefassten Grönnutzungen, die eine positive Wirkung auf das Stadtklima haben, sind in Stuttgart – mit wenigen Ausnahmen – vorhanden. Allerdings zeichnen sich einige, z. B. Sportstätten wie Fußball-Stadion oder Golfplatz, durch einen großen Versiegelungsgrad, umfangreiche bauliche Anlagen oder ökologische Armut aus, oftmals durch alles zusammen.

Andere der Grünflächen werden ebenfalls durch bauliche Anlagen und Versiegelung bzw. Erschließungsanlagen aus klimatischer Sicht stark abgewertet (z. B. Freibäder, Campingplätze, Gartenhausgebiete, Kleintierzuchtanlagen). Zu Gunsten dieser Pseudo-Grünflächen sollte jedoch berücksichtigt werden, dass deren bauliche Nutzungsmaße i. d. R. weit unterhalb der sonst im Stadtgebiet realisierten Werte liegen und eine vergleichsweise umfangreiche Grünausstattung gegeben ist.

Zudem entsprechen diese Nutzungen der Bedürfnislage vieler Menschen, die auf diese Weise ihre Freizeit gestalten und sich stadtnah

erholen können. Dadurch wird die intakte Naturlandschaft z. B. stadtnahe Wälder und Gewässer vom Freizeitdruck entlastet; auch werden Fahrten ins Umland der Stadt vermieden.

Im Falle niedriger und weniger dichter Vegetation fördern Grünflächen die Ventilation des Siedlungsraumes, was Minderung der Schadstoffbelastung sowie Abbau von Wärmestau und thermischer Belastung bedeutet, insbesondere bei Hitzeperioden. Die Förderung der Ventilation ergibt sich sowohl durch die Eigenschaft von Grünflächen als Hindernisfreiflächen zum Aufleben der im Stadtgebiet ansonsten stark verminderten Windgeschwindigkeit beizutragen als auch durch ihre Eigenschaft als Kaltluftentstehungsgebiete thermisch induzierte lokale Windsysteme wie nächtliche Flurwinde, Hangabwinde und Bergwinde in Gang zu setzen und als Frischluftschneisen zu wirken.

Die Temperatur senkende Bedeutung von Vegetationsflächen kann mit der engen Korrelation zwischen dem thermischen Wirkungskomplex einer Aufsiedlung und dem dort realisierten Versiegelungsgrad aufgezeigt werden:

Nach Bründl et al. (1986) steigt der langfristige Mittelwert der Lufttemperatur im Baugbiet nach Vollzug aller Baumaßnahmen je 10% Versiegelungsgrad um ca. 0,2 Grad über die Lufttemperatur der unbebauten Umgebung. Bei Strahlungswetterlagen erhöht sich je 10% Versiegelungsgrad die mittlere Tagesmitteltemperatur um 0,3 bis 0,4 Grad, das mittlere Tagesmaximum um ca. 0,3 Grad und das mittlere Tagesminimum der Lufttemperatur um 0,5 bis 0,6 Grad. Damit ist gezeigt, dass die Grünausstattung der Stadt bzw. der unversiegelte Flächenanteil dem urbanen Wärmeineffekt entgegenwirkt.



Abb. 7: Rasenbahnkörper der Stadtbahn in Stuttgart

Grünsanierungsbereiche

Grünsanierungsbereiche werden im Flächennutzungsplan dargestellt, wenn die Grünausstattung eines Stadtviertels insgesamt mangelhaft ist und deshalb durch verschiedenartige Maßnahmen verbessert werden sollte. In Frage kommen hier Straßenbegleitgrün, Vorgärten, Hofbegrünung und die Anlage von Spielplätzen. Zwei weitere Beispiele sollen den oft punktuellen Charakter entsprechender Maßnahmen detaillierter aufzeigen:

a) Verkehrsgrün

Mit dem Bau von Stadtbahnlinien mit Rasenbahnkörper besteht in Stuttgart viel Erfahrung. Dies betrifft nicht allein Planung und Bauausführung, sondern auch die langfristige Unterhaltung und Pflege.

Entlang der Straßen von Stuttgart stehen bereits rund 35 000 Bäume; fast alle Verkehrsinseln sind begrünt. Neben der Gesunderhaltung der Bäume und einem Lückenschluss sollen

zukünftig v. a. Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Wachstumsbedingungen der Bäume und des Wasserhaushaltes im Boden durchgeführt werden. Um den Wasserbedarf und den Pflegeaufwand hinsichtlich zu erwartender häufigerer Trocken- und Hitzeperioden zu reduzieren, werden Pflanzen verwendet, die gegenüber Trockenheit widerstandsfähiger sind.

Durch die Pflege und den Ausbau dieses bedeutenden Bestandes im Rahmen der Realisierung städtebaulich ansprechender Planungsvorschläge können stadtklimatisch-lufthygienische Ziele bzw. Ziele des kommunalen Klimaschutzes verfolgt werden.

b) Dachbegrünung

Die langfristige Erhaltung und Wiedergewinnung von Grünflächen erfolgt mit den Mitteln der Bauleitplanung. Auch Dachbegrünungen können im Bebauungsplan rechtsverbindlich festgesetzt werden. Dabei beruht die Dachform (Flachdach) auf § 74 Landesbauordnung (LBO Baden-Württemberg 2010) und die Begrünung auf § 9 Abs. 1 (25) 25, wodurch die



Abb. 8: Extensiv begrüntes Dach als thermisch ausgleichende Fläche, Stuttgart

Gemeinde ermächtigt wird, u. a. Bepflanzungen für Teile baulicher Anlagen festzusetzen. Der ökologische, bauphysikalische und architektonisch/städtebauliche Nutzen von Dachbegrünung wurde in der Vergangenheit vielfach untersucht und ist wissenschaftlich belegt (Ohlwein 1984). Die dokumentierten Nutzeffekte sprechen dafür, Dachbegrünungen künftig dauerhaft festzusetzen.

Dachbegrünungen bewirken eine Minderung der Extremwerte der Oberflächentemperaturen sowohl im tageszeitlichen als auch jahreszeitlichen Verlauf. Während sich Kiesdächer und schwarze Bitumenpappe an strahlungsreichen Sommertagen auf etwa 50 bis über 80° C aufheizen, betragen die maximalen Temperaturen bei bepflanzten Dächern etwa 20 bis 25° C. In klaren Winternächten sinkt die Temperatur unbepflanzter Dächer auf bis zu -20° C, während sich begrünte Dächer im Winter nur wenig unter 0° C abkühlen. Damit mindert sich die Jahresschwankung der Dachflächentemperatur von ungefähr 100° C im unbegrünten Fall auf nur 30° C bei Dachbegrünung. Durch die reduzierte thermische Belastung vermindert sich der Verschleiß der Materialien im Dachaufbau, was die Lebensdauer eines Gründachs gegenüber einem Kiesdach verdoppelt und entsprechende Sanierungskosten drastisch reduziert (Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen, Deutscher Dachgärtnerverband, 2011).

Im Sommer wird über einem begrünten Dach ein großer Teil der eingestrahelten Sonnenenergie bei ausreichender Substrathöhe und Wasserversorgung durch die Transpiration der Pflanzen umgesetzt, was einen Schutz vor Sommerhitze bewirkt. Im Winter bewirken die Vegetationsschicht und das Dachsubstrat als eine zusätzliche Bauteilschicht eine Verminderung des Wärmedurchganges. Um diese Funktionen zu ermöglichen, werden in Stuttgart in Bebauungsplänen üblicherweise 12 cm Substrathöhe festgesetzt. Damit bedeutet Dachbegrünung einen kleinen Beitrag zur Heizenergieeinsparung im Winter sowie eine Einsparung von Kühlenergie im Sommer, was wiederum die Freisetzung schädlicher Treibhausgase mindert und dem Schutz des Klimas als natürliche Lebensgrundlage dient.

Der thermische Wirkungskomplex von Dachbegrünung ist in sommerlich überwärmten städtischen Ballungsräumen, insbesondere auch vor dem Hintergrund des eintretenden Klimawandels mit Zunahme sommerlicher Hitzeperioden mit ihren nachteiligen gesundheitlichen Folgen, positiv zu beurteilen.

Wie alle Vegetationsflächen tragen auch begrünte Dachflächen zur Staubabscheidung bzw. Staubbindung bei. Dies wurde durch vergleichende Staubmessungen vielfach belegt. Vor dem Hintergrund überhöhter Feinstaubbelastungswerte kommt deshalb der Ausweitung innerstädtischer Vegetationsflächen lufthygienische Bedeutung zu.

5. Schlussfolgerungen

Stuttgart weist aufgrund der topografischen Situation, insbesondere der Kessellage des Innenstadtbereiches, stadtklimatische Besonderheiten auf, die eine entsprechende Berücksichtigung dieser Belange in der Planung erforderlich machen. Vor dem Hintergrund des Klimawandels kommt der Stadtklimatologie eine weiter wachsende Bedeutung zu. Insbesondere Begrünungen, die Sicherung von Frischluftschneisen und die Reduzierung der Luftbelastung sind dabei wichtige Maßnahmen.

Eine sich abzeichnende verstärkte Innenentwicklung zugunsten größerer zusammenhängender Freiflächen und Kaltluftentstehungsgebiete im Außenbereich ist zwar grundsätzlich positiv zu sehen, dennoch muss – insbesondere auch vor dem Hintergrund der gesetzlich geregelten Erleichterung von Planungsvorhaben für die Innenentwicklung – eine *klimaoptimierte* Verdichtung von Stadtstrukturen gefordert werden.

Verdichtung kann zwar zu einem reduzierten Energieverbrauch und damit auch zum Klimaschutz beitragen, hat aber auch eine Verstärkung des Wärmeinseleffektes zur Folge und ist damit hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel kontraproduktiv. Um negativen Effekten der Verdichtung entgegenzuwirken, sind funktional vernetzte Freiräume und eine sorgfältige Gestaltung dieser von Nöten, ebenso eine geringe Bodenversiegelung, die Wärmedämmung der Häuser sowie die Begrünung und Beschattung mit Laubbäumen.

Zur Erreichung dieser „qualifizierten Dichte“ bedarf es einer entsprechenden strategischen Ausrichtung der Stadtentwicklung. Zu fordern wäre demnach die Entwicklung eines Leitbilds „Klimaverantwortung“, eingebettet in ein Stadtentwicklungskonzept mit entsprechenden Umsetzungsstrategien. Der Schwerpunkt der Lösungskonzepte muss dabei auf der Prävention liegen sowie auf der Ausrichtung der gesellschaftlichen und ökonomischen Strukturen dahingehend, dass eine dauerhafte umweltgerechte Entwicklung gesichert ist.

Literatur

- Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Art. 4 des Ges. vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585).
- Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege vom 25.03.2002 (BGBl. I S. 1193), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Ges. vom 22.12.2008 (BGBl. I S. 2986)

- Baumüller, J., Hoffmann U., Reuter, U. (1998). Städtebauliche Klimafibel, Hinweise für die Bauleitplanung. Neuauflage. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.). Stuttgart. Internetausgabe 2007. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>
- Kiese, O. (1988). Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. *Landschaft + Stadt* 20, H. 2, S. 67-71
- Kress, A., Drack, A. (2007). AMICA Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel - ein integrierter Politikansatz. Klimabündnis Europäische Geschäftsstelle. Frankfurt. 15 S.
- Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) in der Fassung vom 5. März 2010 (GBl. Nr. 7 vom 20.04.2010 S. 357, ber. 05.03.2010 S. 416)
- Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (1992). KlimaAtlas. Nachbarchaftsverband Stuttgart (Hrsg.). Stuttgart.
- Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung (2008). Rahmenplan Halbhöhenlagen. Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, Abteilung Städtebauliche Planung Mitte (Hrsg.). Stuttgart. 69 S.
- Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie (2010). Der Klimawandel - Herausforderung für die Stadtklimatologie. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz - Heft 3/2010. Stuttgart. 86 S.
- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2010). Klimawandel in Baden-Württemberg Fakten - Folgen - Perspektiven. Stuttgart. 47 S.
- Ohlwein, K. (1984). Dachbegrünung – ökologisch und funktionsgerecht. Bauverlag. Wiesbaden, Berlin.
- Rudolf, B., Malitz, G. Gratzki, A. (2010). Klimamonitoring für KLIWA In: Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.). KLIWA-Berichte, Heft 15. E&B Engelhardt und Bauer. Karlsruhe. S. 97-106

Autorenanschrift:

Rainer Kapp
rainer.kapp@stuttgart.de
+49711216-88658
Dr. Ulrich Reuter
ulrich.reuter@stuttgart.de
+49711216-88625
Landeshauptstadt Stuttgart
Referat Städtebau und Umwelt, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie
Gaisburgstraße 4
70182 Stuttgart

Anpassung an den Klimawandel in städtischen Siedlungsräumen – Wirksamkeit und Potenziale kleinräumiger Maßnahmen in verschiedenen Stadtstrukturtypen. Dargestellt am Beispiel des Stadtentwicklungsplans Klima in Berlin

Adaptation to climate change in urban settlement areas – Effectiveness and potentials of small-scale measures in different urban structures. The example of the Berlin ‘Urban Development Plan on Climate’

KATRIN RITTEL, CHRISTIAN WILKE, STEFAN HEILAND

Zusammenfassung

Im Rahmen des Fachgutachtens „Stadtentwicklungsplan Klima“ wurden für Berlin jene Handlungsfelder ermittelt, für die eine Anpassung von Siedlungsräumen an den Klimawandel aus Sicht der Stadtentwicklungsplanung besonders relevant und auch steuerbar ist. Neben einer Betroffenheitsanalyse wurden auch Ziele und Anpassungsmaßnahmen ermittelt. Für das Handlungsfeld „Bioklima im Siedlungsraum“ wurde hierbei nicht nur die Wirksamkeit kleinräumiger Maßnahmen, wie Entsiegelung, Erhöhung der Albedo und Baumpflanzungen, auf Block- bzw. Gebäudeebene ermittelt, sondern zusätzlich wurden Flächenpotenziale für die Umsetzung der Maßnahmen innerhalb ausgewählter Stadtstrukturen abgeschätzt. Die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte sind hier dargestellt.

Klimawandel, Anpassung, Bioklima, Betroffenheitsanalyse, Stadtentwicklung, Berlin

Summary

The expert report „Urban Development Plan Climate“ for the City of Berlin identified those fields which are of particular importance to the adaptation to climate change from the perspective of urban development. For every field an impact analysis was carried out and effective aims and measures were assessed. For the field of “Bio-climate in settlement areas” the efficiency of small-scale measures at block or building level (e.g. unsealing, increasing the albedo, planting of trees, greening of facades) was investigated and potentials for the implementation of the measures within selected urban structures were estimated. The results are presented in this article.

1. Einleitung

Die Entwicklung von Zielen und Maßnahmen zur Anpassung von Siedlungsräumen an die nicht mehr vermeidbaren Folgen des Klimawandels spielen im Rahmen der Stadtentwicklung sowie der dabei angewandten Instrumente der Stadt-, Landschafts- und Freiraumplanung eine zunehmend bedeutsame Rolle. Um die daraus resultierenden Anforderungen konkret zu ermitteln und ihnen künftig gerecht werden zu können, beauftragte die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung des Landes Berlin (SenStadt) die TU Berlin, Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung, sowie das Büro Herwarth+Holz mit der Erstellung eines Stadtentwicklungsplans Klima (StEP Klima), der als informelles Planwerk die Instrumente der räumlichen Planung wie Bauleit- und Landschaftsplanung unterstützen und Möglichkeiten zur Integration von Anpassungserfordernissen in die räumliche Planung aufzeigen soll. Der hierfür erarbeitete Bericht

bildet als Fachgutachten „StEP Klima“ die Grundlage für den durch die Senatsverwaltung endgültig zu erstellenden Stadtentwicklungsplan, der im Mai 2011 durch das Berliner Abgeordnetenhaus beschlossen wurde¹.

Oberstes Ziel des StEP Klima ist die Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität der Bevölkerung sowie ihrer Wohn- und Lebensbedingungen unter heutigen und künftigen klimatischen Bedingungen. Zu diesem Zweck wurden drei Handlungsfelder ausgewählt und bearbeitet, in denen die Anpassung besonders vordringlich ist: 1) 'Bioklima im Siedlungsraum', 2) 'Grün- und Freiflächen' sowie 3) 'Starkregen und Gewässerqualität'. Hinzu kam als viertes Handlungsfeld 'Klimaschutz'. In allen Handlungsfeldern geht es um die Qualifizierung und Veränderung der Bestandssituation, anderer-

¹ Zugänglich im Internet unter http://www.stadtentwicklung.berlin.de/aktuell/pressebox/archiv_volltext.shtml%3Farch_1105/nachricht4375.html

seits müssen die klimarelevanten Aspekte auch bei Neubauvorhaben und größeren Projekten der Stadtentwicklung in viel stärkerem Umfang berücksichtigt werden als bisher.

Der Beitrag stellt ausgewählte Ergebnisse des Fachgutachtens (SenStadt 2011) vor, die sich insbesondere auf das Handlungsfeld ‚Bioklima im Siedlungsraum‘ beziehen. Zunächst wird kurz die Methodik zur räumlich differenzierten Ermittlung der Betroffenheit Berlin erläutert (Punkt 2), anschließend wird die Wirksamkeit möglicher Maßnahmen zur kleinräumigen Verbesserung des Bioklimas durch gebäude- bzw. blockbezogene Maßnahmen am Beispiel eines Referenzgebietes dargestellt (Punkt 3), bevor abschließend Flächenpotenziale für diese Maßnahmen in unterschiedlichen Stadtstrukturtypen aufgezeigt werden (Punkt 4).

Ausführlichere Informationen zur Methodik finden sich im Fachgutachten zum StEP Klima (TU Berlin et al. 2011). Dessen Erstellung sollte zwar wissenschaftlich fundiert sein, stellte im Kern aber keine wissenschaftliche, sondern eine planerische Aufgabe im Kontext Berlin spezifischer Bedingungen dar, deren Ergebnisse nicht ohne Weiteres auf andere Städte übertragbar sein müssen.

2. Betroffenheitsanalyse als Methode zur Ermittlung der Dringlichkeit von Anpassungsmaßnahmen

Für die drei Handlungsfelder zur Anpassung an den Klimawandel wurde eine Betroffenheitsanalyse durchgeführt, die es ermöglichte, die unterschiedliche Betroffenheit verschiedener Räume innerhalb Berlins im Maßstab

1:50.000 zu ermitteln. Die Grundlage bildete der Ansatz der Vulnerabilitätsanalyse (vgl. Abb. 1), der in der Klimafolgenforschung und auch in der raumbezogenen Planung mittlerweile verbreitet ist, aber z. T. sehr unterschiedlich angewandt wird (vgl. Wilke et al. 2011). Auf die Abschätzung einer ‚Vulnerabilität‘ wurde allerdings bewusst verzichtet, da sich die hierfür erforderliche Bestimmung der ‚Anpassungskapazität‘ der jeweils untersuchten Stadtstrukturen im Rahmen des Fachgutachtens nicht ermitteln ließ und aus unserer Sicht prinzipiell mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist (vgl. hierzu ausführlicher Wilke et al. 2011, S. 92ff.). Abbildung 2 stellt die gewählte Vorgehensweise in etwas vereinfachter Form dar. Letztlich wurden die bestehende (2010) und künftig zu erwartende (Projektion für den Zeitschnitt 2046 – 2055) bioklimatische (Belastungs-)Situation für die Nacht und für den Tag (Ausprägung) mit den folgenden Empfindlichkeitskriterien überlagert: 1) Einwohnerdichte, 2) Anteil der über 65-Jährigen an der Bevölkerung, 3) die Versorgung mit wohnungsnahen Grünflächen sowie 4) die Ausstattung mit Straßenbäumen. Die erforderlichen Daten zur bioklimatischen Belastung konnten dem Umweltatlas Berlin entnommen werden oder wurden durch Modellrechnungen durch das Büro GEO-NET ermittelt. Während gemeinhin nur die Nachtsituation der Temperaturbelastung berücksichtigt wird, geschah dies im vorliegenden Fall auch für die Tagsituation, um auch die bioklimatische Belastung vor allem für Arbeitsplätze (Gewerbegebiete etc.) zu erfassen.

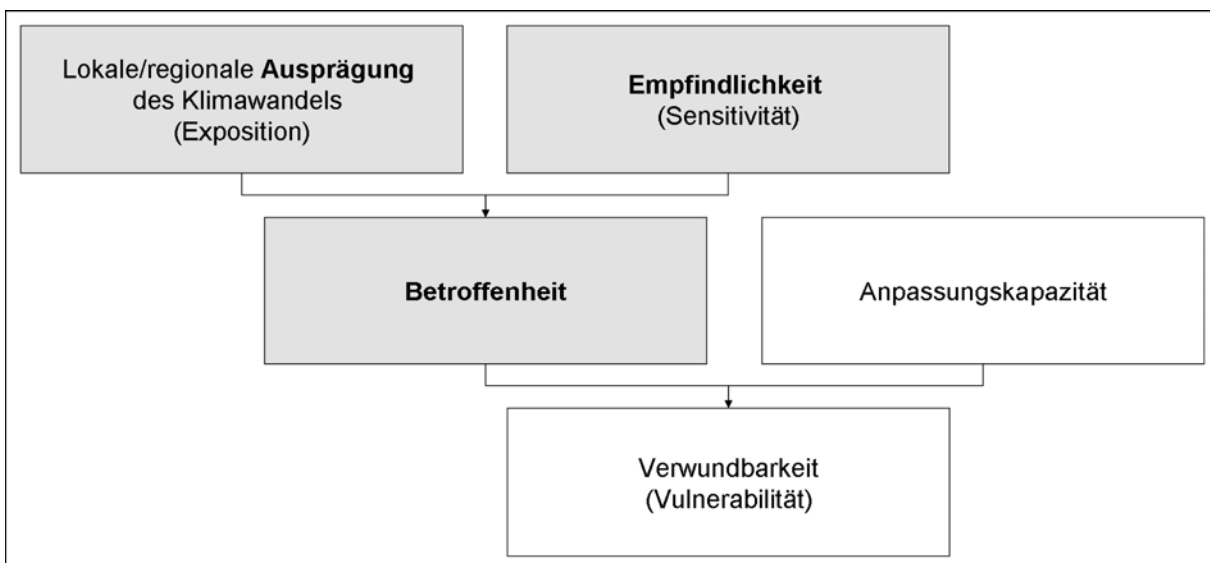


Abb. 1: Das Konzept der Vulnerabilität als methodischer Rahmen der Betroffenheitsanalysen des Fachgutachtens „StEP Klima“
 grau: Im Rahmen des Fachgutachtens „StEP Klima“ ermittelte bzw. abgeschätzte Größen
 weiß: Im Rahmen des Fachgutachtens „StEP Klima“ nicht ermittelte bzw. abgeschätzte Größen

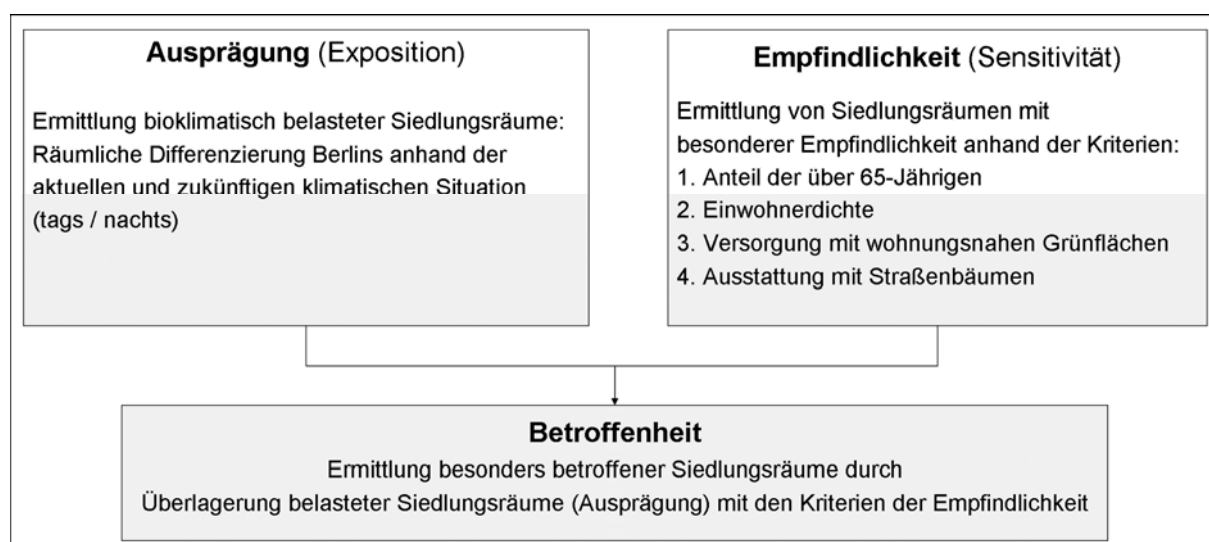


Abb. 2: Betroffenheitsanalyse im Handlungsfeld ‚Bioklima im Siedlungsraum‘ (vereinfacht)

Eine für alle Handlungsfelder identische Vorgehensweise war nicht möglich, da sich die in den Handlungsfeldern zu berücksichtigenden Variablen z. T. unterscheiden. So musste im Handlungsfeld ‚Grün- und Freiflächen‘ auch deren Bedeutung (etwa für Erholung, klimatischen Ausgleich) berücksichtigt werden, was eine Anpassung der Methodik erforderte.

3. Wirksamkeit block- bzw. gebäudebezogener Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

3.1 Vorgehensweise

Neben Maßnahmen wie der Erhaltung und Neuschaffung von Kaltluftleitbahnen und -entstehungsgebieten oder von Grünflächen (vgl. hierzu den Beitrag von Mathey et al.) können auch sehr kleinräumige Maßnahmen an Gebäuden und in Gebäudeblocks einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten, insbesondere zur Vermeidung oder Minimierung einer starken Temperaturerhöhung. Um die Größe dieses Beitrages abschätzen zu können, wurden am Beispiel eines Referenzgebiets in Berlin-Charlottenburg (vgl. Abb. 3) die Auswirkungen von sechs Maßnahmentypen auf die Umgebungstemperatur modellhaft berechnet². Ziel der Modellierung war es, die klimatische Wirkung verschiedener kleinräumiger Maßnahmen quantitativ anhand eines Referenzfalles zu ermitteln, ihre Bedeutung und Wirksamkeit für die Anpassung an den Klimawandel abschätzen zu können. Aufgrund be-

grenzter Ressourcen sowie des mit der Modellierung verbundenen Aufwandes mussten sich die Berechnungen auf ein Referenzgebiet beschränken. Somit konnte ein prinzipieller Nachweis der Maßnahmenwirksamkeit erbracht werden – ohne damit einen Anspruch auf Repräsentativität, insbesondere der jeweils ermittelten Zahlen, zu erheben. Dies ist bereits aufgrund der vielfältigen tatsächlichen Ausgangssituationen zwischen, aber auch innerhalb der verschiedenen Stadtstrukturtypen, nicht möglich. In der Praxis ist für die Auswahl von Maßnahmen also immer die Betrachtung des jeweiligen Einzelfalles erforderlich – wobei die nachfolgend dargestellten Ergebnisse jedoch eine wertvolle Unterstützung bieten.

Bei dem Referenzgebiet handelt es sich um eine 4- bis 5-geschossige Bebauung von ca. 24 m Höhe (Firsthöhe) mit Flach- und geneigten Dächern, die dem Stadtstrukturtyp ‚Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern‘ angehört. Dieser Stadtstrukturtyp wurde ausgewählt, da er in Berlin mit die höchsten bioklimatischen Belastungen aufweist und einen relativ hohen Anteil am gesamten Siedlungsraum einnimmt (genauere Ausführungen zu Stadtstrukturtypen s. u.).

Die Rechnungen wurden mit dem dreidimensionalen Strömungsmodell ASMUS bei einer Rasterauflösung von 2 x 2 m durchgeführt. Angenommener Zeitpunkt ist ein durchschnittlicher Sommertag mit austauscharmer Strahlungswetterlage (21. Juni). Ein klimawandelbedingter Temperaturanstieg wurde nicht berücksichtigt. Als hypothetische Ausgangssituation wurden vollständig versiegelte Innenhöfe, Gehwege und Straßen sowie ein fehlender Baumbestand – somit ein ‚worst-case-Szenario‘ angenommen. Genauere Erläuterungen finden sich in GEO-NET 2010.

² Die Berechnungen wurden aufbauend auf Vorgaben der TU Berlin, Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung, durch das Büro GEO-NET in Hannover durchgeführt.

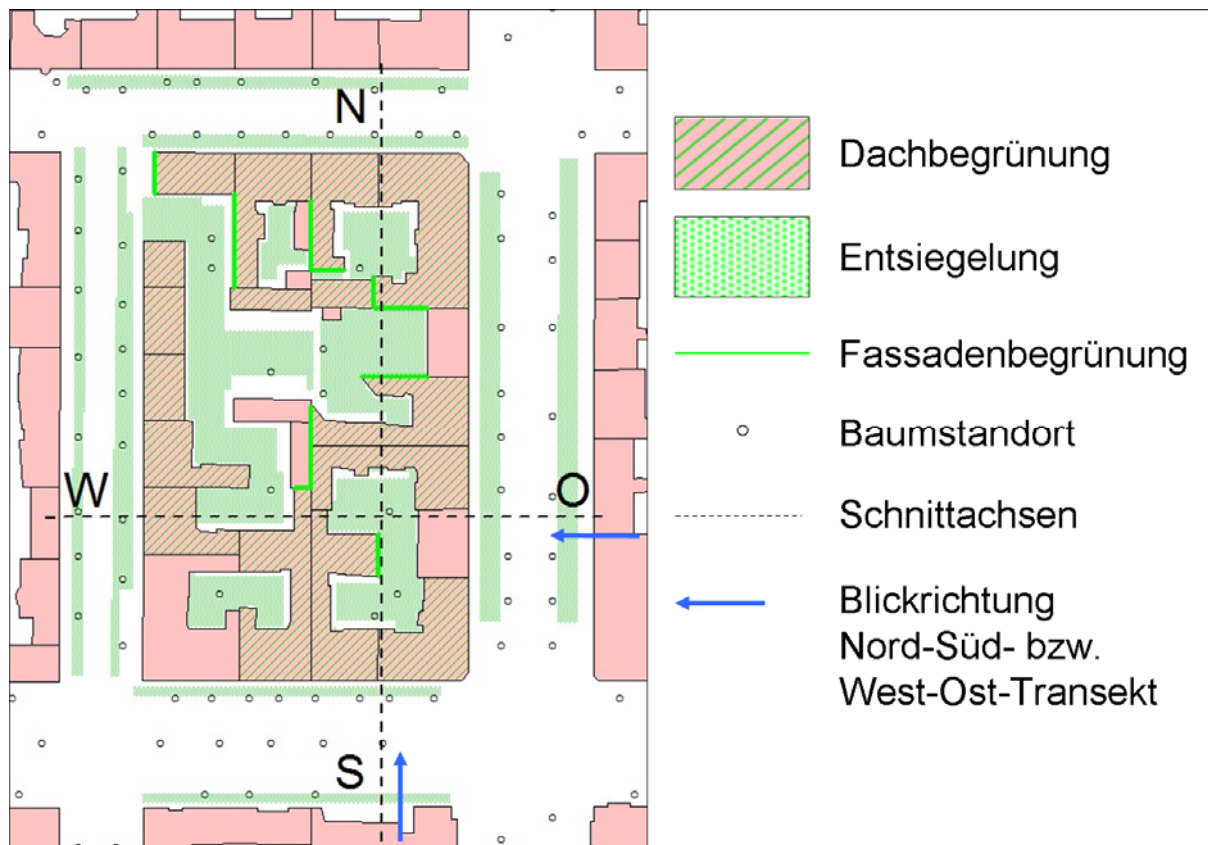


Abb. 3: Referenzgebiet in Berlin-Charlottenburg zur Überprüfung der Maßnahmenwirksamkeit (mit Maßnahmenverortung)

3.2 Art der Maßnahmen und Ausprägung in den Modellrechnungen

Die vorgeschlagenen Maßnahmen sind nicht 'neu', sondern werden seit langem zur Verbesserung des Wohnumfeldes oder im ökologischen Stadtumbau diskutiert und angewandt. Es handelt sich um die Pflanzung von Stadtbäumen, die Erhöhung des Rückstrahlvermögens von Oberflächen (Albedo), Entsiegelungen, Fassaden- und Dachbegrünung sowie die Kombination der Maßnahmen. Diese können mit hoher Wahrscheinlichkeit sowohl aktuell als auch unter verschiedenen klimatischen Szenarien zur Verbesserung der Lebensqualität beitragen ('No-Regret-Maßnahmen'). Damit wird den Unsicherheiten Rechnung getragen, die mit der Prognose klimatischer Veränderungen und deren Auswirkungen einhergehen.

Pflanzung bzw. Erhaltung von Stadtbäumen: Als Stadtbäume werden sowohl Straßenbäume als auch Bäume in Gärten, Hinterhöfen oder auf Plätzen bezeichnet. Sie tragen sowohl durch Verschattung als auch durch Verdunstungskälte zur Abkühlung bei. Für diese Modellrechnung wurde der im 'Worst-Case-Szenario' nicht berücksichtigte derzeitige Baumbestand zu Grunde gelegt und durch Neupflanzungen an den Straßen ergänzt. Die Baumkronendurchmesser wurden entspre-

chend dem derzeitigen Bestand berücksichtigt (zwischen 3 und 20 m), für neu gepflanzte Bäume wurde ein geringerer Durchmesser (5 m) angenommen.

Erhöhung der Rückstrahlung (Albedo) von Gebäuden und befestigten Oberflächen: Die Erhöhung der Albedo durch die Wahl heller Oberflächenfarben reduziert das Aufheizen von Oberflächen und somit Hitzebelastungen am Tag. Bei vielen Gebäudefassaden lässt sich dies einfach realisieren. Auch auf Dächern, Wegen und im Straßenraum bestehen Möglichkeiten durch die Verwendung heller Materialien. Für die Modellierung wurden folgende Ausgangswerte der Albedo angenommen: begrünte Fassaden 0,15; Rasen 0,2; Dachbegrünung 0,2. Für die Umsetzung der Maßnahme wurde eine gleichmäßige Erhöhung der Rückstrahlung aller Flächen um 20 % zu Grunde gelegt.

Entsiegelung: Versiegelte Flächen verhindern die Verdunstung aus Boden und Vegetation und tragen aufgrund ihrer häufig dunklen Farbe zur Erhöhung der Oberflächen- und Lufttemperatur bei. Bereits partielle Entsiegelungen oder die Verwendung wasserdurchlässiger Materialien (z. B. Rasengittersteine, fugenreiches Klein- oder Großsteinpflaster) tragen zur Senkung der Lufttemperatur bei. Für die Modellrechnung wurde eine größtmögliche Reduzierung der existierenden Versiegelung in den

Hofbereichen (nicht versiegelter Flächenanteil nach Entsiegelung 80 %) sowie der Ersatz von Asphalt durch fugenreiches Großsteinpflaster in den umliegenden Parkbuchten zu Grunde gelegt.

Fassadenbegrünung: Die Begrünung von Fassaden reduziert die bioklimatische Belastung durch Verdunstungskälte sowie durch Reduzierung der Einstrahlung auf Gebäudewände, wodurch die Wärmespeicherung und somit die nächtliche Wärmeabstrahlung reduziert werden (Schlößer 2003). Für die Fassadenbegrünung wurden zwei Modellierungen durchgeführt: 1. eine Begrünung lediglich der fensterlosen Giebelwände um möglichen Akzeptanzproblemen zu begegnen sowie 2. eine Begrünung aller Fassadenflächen.

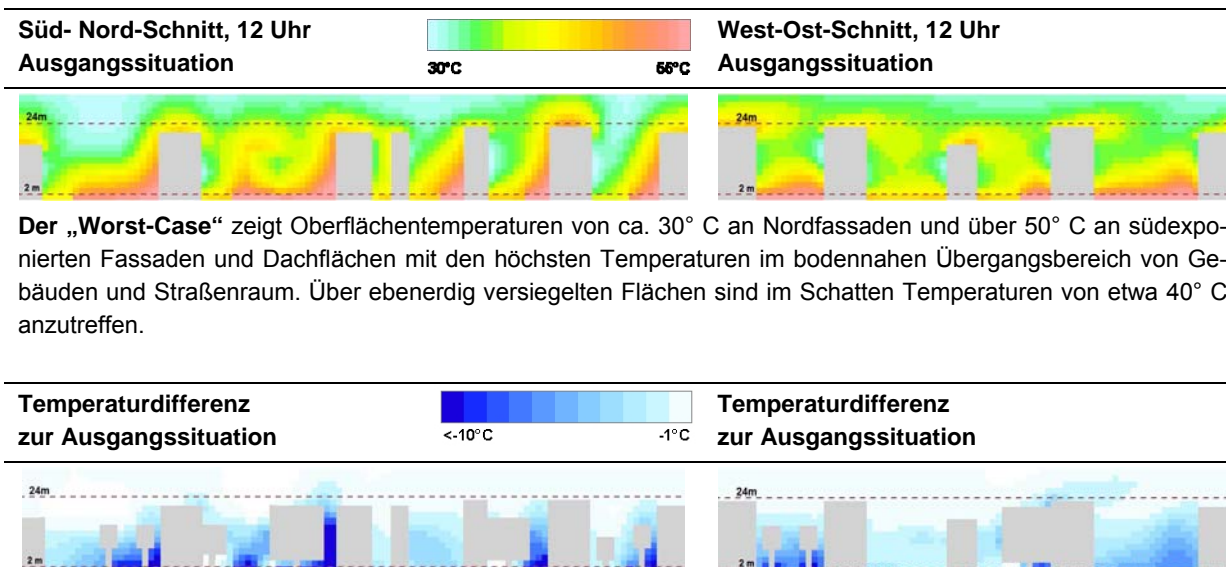
Dachbegrünung: Dachbegrünungen wirken in Abhängigkeit von ihrem Aufbau als Isolierung der Dachfläche und verhindern das Aufheizen der darunter liegenden Räume. Zugleich senken sie die Wärmespeicherkapazität der Dachfläche ab, was durch die Verdunstungskälte, insbesondere bei intensiver Dachbegrünung, noch verstärkt werden kann. Falls, etwa bei längeren Trockenperioden, die Dachbegrünung austrocknet, bleibt zwar der Kühlungseffekt für die Innenräume erhalten, allerdings können die Temperaturen über der Dachbegrünung sogar über die Werte eines Daches ohne Begrünung ansteigen (GEO-NET 2010). In die Modellierung wurde die Begrünung aller Flachdachbereiche im Referenzgebiet einbezogen.

Kombination der Maßnahmen: Die verschiedenen Maßnahmenarten lassen sich auch kombinieren, was in den Hofbereichen einer Hofbegrünung entspricht. In der Modellrechnung wurde der maximal mögliche Maßnahmenumfang ausgeschöpft.

3.3 Ergebnisse

Die betrachteten Maßnahmen tragen in unterschiedlichem Umfang zur Reduzierung der durchschnittlichen Lufttemperatur bei (vgl. Tabelle 1). Im bodennahen Bereich bis zu 2 m Höhe führen die Ausstattung mit Stadtbäumen, die Entsiegelungen sowie die Erhöhung der Rückstrahlung zu nennenswerten Effekten. Deren Wirkung nimmt zwar mit der Höhe ab, ist im Bereich des Daches aber immer noch nachweisbar. Der klimatische Effekt von Dachbegrünungen auf den bodennahen Bereich ist hingegen gering. Fassadenbegrünungen wirken vor allem, wenn sie großflächig vorgenommen werden. Die Maßnahmen führen zu einer deutlichen, allerdings lokal begrenzten, blockbezogenen Verbesserung der bioklimatischen Situation. Wie weit die Maßnahmen auch großräumiger wirken und welcher Maßnahmenumfang erforderlich wäre um zu einer teil- oder gesamtstädtisch spürbaren Verbesserung zu kommen, konnte im Rahmen der durchgeführten Modellierungen nicht überprüft werden.

Tab. 1: Zusammenstellung der Modellierungsergebnisse zur Abschätzung der klimatischen Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmenarten (Abbildungen: GEO-NET 2010)



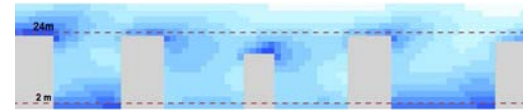
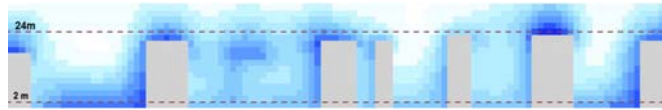
Der „Worst-Case“ zeigt Oberflächentemperaturen von ca. 30° C an Nordfassaden und über 50° C an südexponierten Fassaden und Dachflächen mit den höchsten Temperaturen im bodennahen Übergangsbereich von Gebäuden und Straßenraum. Über ebenerdig versiegelten Flächen sind im Schatten Temperaturen von etwa 40° C anzutreffen.

Pflanzung bzw. Erhaltung von Stadtbäumen: Unter den Kronen zeigt sich eine deutliche Verringerung der oberflächennahen Lufttemperaturen um bis zu 10° C, Werte über 50° C treten nur noch kleinräumig auf. Im weiteren Umfeld der Bäume sind noch Temperaturabnahmen von 1° C bis 3° C feststellbar.

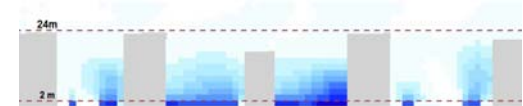
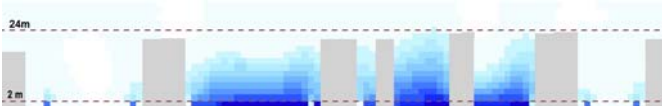
Süd- Nord-Schnitt, 12 Uhr
Temperaturdifferenz zur Ausgangssituation



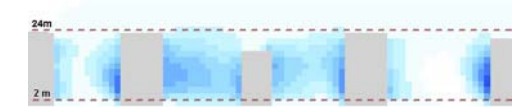
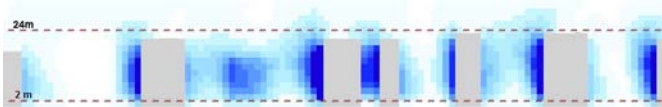
West-Ost-Schnitt, 12 Uhr
Temperaturdifferenz zur Ausgangssituation



Erhöhung der Rückstrahlung (Albedo) von Gebäuden und befestigten Oberflächen: Die räumliche Verteilung der Maximaltemperaturen entspricht im Wesentlichen der Ausgangssituation. Die Werte bewegen sich jedoch auf einem – stellenweise um bis zu 8°C – niedrigeren Niveau. Maximaltemperaturen an Oberflächen von mehr als 50°C werden kaum noch erreicht. Die Wirkung umfasst den Gebäudeblock in seiner gesamten Höhe und erstreckt sich über das Dachniveau hinaus.



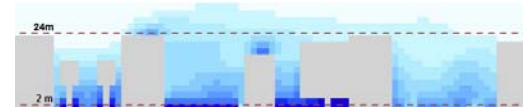
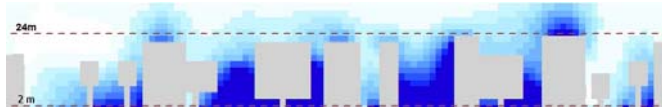
Entsiegelung: In den Innenhöfen sind bis zu 11°C geringere Temperaturen in 2 m Höhe festzustellen. Nur vereinzelt erreichen die oberflächennahen Temperaturen 45°C , es dominieren Temperaturen zwischen 35°C im Schatten und weniger als 45°C in der Sonne. Im Straßenraum liegen die Temperaturabnahmen in der Luftschicht zwischen 0 und 2 m Höhe bei 5°C bis 7°C und sind kleinräumiger ausgeprägt.



Fassadenbegrünung (alle Fassaden): Die Werte an Südfassaden gehen direkt vor der Fassade stellenweise um über 10°C auf bis zu 35°C zurück, in einer Entfernung von 6 m bis 8 m fallen die Temperaturen noch um ca. 5°C . Auch an Nord- und Ostseiten der Gebäude gehen die Temperaturen nahe der Fassadenoberfläche zurück, allerdings in deutlich geringerem Umfang. Die oberflächennahen Lufttemperaturen im Straßenraum verändern sich gegenüber dem Ausgangszustand nur geringfügig. In der Höhenausdehnung sind die Effekte für den bodennahen Bereich bis 2 m ebenfalls vergleichsweise niedrig, die stärksten Effekte werden in mittlerer Höhe erzielt.



Dachbegrünung: Die Begrünung aller Flachdachbereiche führt zu einer Absenkung der Lufttemperatur bis zu 10°C auf den Dächern, allerdings besteht kein nennenswerter Einfluss auf die bodennahe Luftschicht.



Kombination der Maßnahmen: Vor allem in den Innenhöfen kommt es zum Temperaturrückgang um über 10°C auf Werte zwischen 30°C und 40°C . Im öffentlichen Straßenraum ist ebenfalls eine kleinräumige Temperaturabnahme über 10°C zu verzeichnen. Bodennah werden Werte von ca. 50°C nur noch lokal im direkt besonnten Straßenraum erreicht. Unmittelbar über den Dachflächen sowie im Bereich der Fassaden beträgt der Temperaturrückgang zwischen 5°C und 11°C ; Lufttemperaturen von mehr als 40°C werden kaum noch angetroffen, lediglich an südexponierten Fassaden gehen die Werte leicht darüber hinaus.

Die Berechnungen wurden nicht nur, wie in Tabelle 1 dargestellt, für 12 Uhr mittags durchgeführt, sondern für den gesamten Tagesverlauf (0 – 24 Uhr). Zu allen Zeiten zeigen sich in der Tendenz ähnliche Ergebnisse. Lediglich nach Mitternacht bis zum frühen Morgen liegen die Lufttemperaturen bei den Begrüßungsmaßnahmen geringfügig (unter 1° C) über dem Ausgangszustand. Dies liegt v. a. daran, dass Vegetation nachts eine ausgleichende Wirkung hat und eine rasche Abkühlung, insbesondere unterhalb von Baumkronen, verhindert.

Im Vergleich von der Maßnahmenkombination und den Einzelmaßnahmen zeigte sich, dass bei der Kombination die durchschnittliche Lufttemperatur zu den meisten Zeiten stärker sinkt als bei den Einzelmaßnahmen. Bemerkenswert ist allerdings, dass die Wirksamkeit von Stadtbäumen oder der Albedoerhöhung zu vielen Zeiten an die Wirksamkeit der Maßnahmenkombination heran reicht. Aus bioklimatischen Gründen ist also keineswegs eine Kombination möglichst vieler Maßnahmen erforderlich, sondern bereits einzelne Maßnahmen können eine Entlastung bewirken.

Selbstverständlich ist immer zu beachten, dass die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen vom Ausgangszustand abhängt. Je besser der Ausgangszustand, umso geringer wird der Effekt zusätzlicher Maßnahmen ausfallen. Daher ist für die Wahl geeigneter Maßnahmen immer der jeweilige Einzelfall zu betrachten.

4. Flächenpotenziale für Anpassungsmaßnahmen in verschiedenen Stadtstrukturtypen

4.1 Stadtstrukturtypen und Referenzgebiete

Der Umweltatlas Berlin teilt die Siedlungsfläche in 17 Stadtstrukturtypen (SenStadt 2008) ein, die nach ihrer Entstehungszeit sowie der jeweiligen Bau- und Freiraumstruktur differenziert sind. Im Rahmen der Betroffenheitsanalyse zeigte sich zwar eine gewisse Korrelation zwischen Stadtstrukturtypen und bioklimatischer Belastung, allerdings konnte nicht sicher auf entsprechende Kausalbeziehungen geschlossen werden, da neben der Bebauungsstruktur auch andere Faktoren für die Ausprägung der bioklimatischen Situation eine Rolle spielen, wie etwa Lage im Siedlungsgebiet, Nähe zu Kaltluftleitbahnen und Grünflächen, umgebende Bebauung u. a. m.

Dennoch wurden für sieben Stadtstrukturtypen (s. Tab. 2), die zu einem hohen Anteil bioklimatisch belastet sind, Flächenpotenziale für die oben beschriebenen Maßnahmen abgeschätzt. Dies erfolgte anhand eines repräsentativ ausgewählten Referenzgebietes je Stadtstrukturtyp, mit einer für den Stadtstrukturtyp relativ

typischen Ausprägung. Allerdings können diese Referenzgebiete die jeweiligen Stadtstrukturtypen nicht zur Gänze repräsentieren, da diese in sich sehr heterogen ausgeprägt sein können, etwa hinsichtlich Fassadengröße, Oberflächenfarbe, Anteil versiegelter Fläche oder vorhandenem Baumbestand. Dennoch schien es sinnvoll, eine Abschätzung der Flächenpotenziale vorzunehmen, um erstens konkrete Möglichkeiten zur Verbesserung der bioklimatischen Situation auf Block- und Gebäudeebene aufzeigen zu können und zweitens zumindest Näherungswerte angeben zu können.

Die Referenzgebiete bestehen aus je einem Baublock samt angrenzenden Straßen und Gehsteigen. Ausnahmen bilden die Stadtstrukturtypen „geringe Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe und Industrie“ und „Hohe Bebauung der Nachkriegszeit“.

4.2 Vorgehensweise der Potenzialflächenabschätzung

Die zur Abschätzung der Flächenpotenziale notwendigen Größen wurden für jedes Referenzgebiet grob berechnet bzw. aus vorliegenden Datenquellen entnommen. Als Grundlage dienten die für die jeweilige Maßnahmenart im Referenzgebiet zur Verfügung stehenden Flächengrößen und Ausstattungsmerkmale, so etwa die Fassaden- und Dachfläche oder die Zahl der bereits vorhandenen Stadtbäume. Die für jede Maßnahmenart zu Grunde gelegten Werte werden im Folgenden kurz dargelegt.

Entsiegelung: Das Entsiegelungspotenzial kann nicht direkt über den Versiegelungsgrad eines Blocks oder Grundstücks abgeschätzt werden, da überbaut versiegelte Flächen (Gebäude) nicht für Entsiegelungsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Entscheidend ist der Anteil der un bebaut versiegelten Flächen auf dem Grundstück, wie Parkplatzflächen, Wege etc. Auch im öffentlichen Straßenraum bestehen häufig Möglichkeiten zur (teilweisen) Entsiegelung durch Verwendung durchlässiger Materialien z. B. auf Parkplätzen. Sowohl die gesamte als auch die un bebaut versiegelte Fläche können sich innerhalb eines Stadtstrukturtyps erheblich unterscheiden.

Erhöhung der Rückstrahlung: Das Potenzial zur Erhöhung der Rückstrahlung hängt erheblich vom aktuellen Albedowert einer Fläche ab – diese gebäudebezogene Information konnte nicht ermittelt werden. Um das Potenzial zur Erhöhung der Albedo abschätzen zu können, wurden vorrangig die Größe der Dach- und Fassadenflächen, daneben auch die der un bebaut versiegelten Flächen im Block sowie im öffentlichen Straßenraum berücksichtigt und ins Verhältnis zur Grundfläche des Referenzgebietes gesetzt.

Pflanzung von Straßenbäumen: Die Ausstattung mit Straßenbäumen, aber auch mit Bäumen innerhalb der Gebäudeblöcke, ist unabhängig vom Stadtstrukturtyp. Möglichkeiten der Neupflanzung sind daher immer im Einzelfall zu ermitteln. Für die Referenzgebiete wurde der derzeitige Bestand an Stadtbäumen mit Hilfe von Luftbildern ermittelt. Als Maßnahmen werden sowohl Lückenschlüsse als auch die Anlage gänzlich neuer Baumreihen im öffentlichen Straßenraum betrachtet.

Fassadenbegrünung: Für die Einschätzung der Potenziale zur Fassadenbegrünung wurden Fassadenlänge und Gebäudehöhe berücksichtigt. Aufgrund der oftmals fehlenden

Akzeptanz für Fassadenbegrünungen in Fens-ternähe wurden die Potenziale zum einen für sämtliche Fassadenflächen, zum anderen lediglich für die fensterlosen Giebelwände berechnet.

Dachbegrünung: Zur Beurteilung der Flächenpotenziale wurden der Anteil der Dachfläche an der Grundfläche der Referenzgebiete sowie die Dachform bzw. Dachneigung berücksichtigt, da lediglich Flachdächer sowie leicht geneigte Schrägdächer für Dachbegrünung geeignet sind. Da Daten zum Neigungswinkel von Giebeldächern etc. fehlten, wurden nur Flachdachbereiche in die Abschätzung einbezogen.

Tab. 2: Überblick über die Referenzgebiete des jeweiligen Stadtstrukturtyps (SenStadt 2008)

	
<p>Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern: geschlossene bis fast geschlossene Blockrandbebauung; größtenteils fünf bis sechsgeschossig; Kombination von Vorderhaus, Seitenflügel und Hinterhaus; typischer Freiraum: verwinkelte, meist betonierete, asphaltierte oder gepflasterte Blockinnenräume</p>	<p>Blockrandbebauung der Gründerzeit mit geringem Anteil von Seiten- und Hintergebäuden: fast geschlossene, viergeschossige Blockrandbebauung; Vorderhaus in Verbindung mit Seitenflügeln oder Hinterhaus; typischer Freiraum: gezahnter (bei Seitenflügeln) oder lang gestreckter Blockinnenraum (bei Hinterhäusern); Vorgärten</p>
	
<p>Blockrandbebauung der Gründerzeit mit massiven Veränderungen (durch Kriegsschäden und Wiederaufbau): fünf- bis sechsgeschossige weitgehend geschlossene Blockrandbebauung, z. T. unterbrochen durch Einfahrten, Parkplätze, Baulücken; typischer Freiraum: relativ offene, zusammenhängende oder durch Zäune gegliederte Höfe</p>	<p>Blockrand- und Zeilenbebauung der 1920er und 1930er Jahre: meist drei- bis viergeschossige, (fast) geschlossene Blockrandbebauung bzw. offene Bebauung mit parallel zueinander laufenden, lang gestreckten Häuserzeilen, z. T. durch Quergebäude oder Mischung von Zeilen- und Randbebauung aufgelockert; typischer Freiraum: große Blockinnenhöfe bzw. längliche Freiräume zwischen den Gebäudezeilen</p>



Hohe Bebauung der Nachkriegszeit: große, hohe Zeilen- und Punkthäuser ab sechs Geschossen, offen oder halboffen mit Blockrand- und Zeilenbebauung gemischt; typischer Freiraum: relativ großzügiges Abstandsgrün, teilweise großflächig versiegelte Erschließungsflächen



Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Handel und Dienstleistung: sehr kompakte Bauweise; typischer Freiraum: überwiegend stark versiegelt, gewöhnlich als Liefer- und Parkplatzflächen genutzt



Geringe Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe und Industrie: ein- bis zweigeschossige Hallen- und Gebäudekomplexe; Bebauung unter 50 %; typischer Freiraum: große Abstandsflächen, meist als Lager- oder Parkplatz genutzt

4.3 Flächenpotenziale zur Maßnahmenumsetzung innerhalb der Referenzgebiete / Stadtstrukturtypen

Die Ergebnisse der vergleichenden Abschätzung der Potenziale für die Maßnahmen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Unterschieden wird in hohes, mittleres und geringes Potenzial, wobei die Einstufung jeweils relativ zwischen den Referenzgebieten erfolgte. Das Potenzial wurde anhand des Verhältnisses der Gesamtfläche zu jener Fläche ermittelt, die für die Umsetzung der jeweiligen Maßnahme zur Verfügung steht. Dies gilt z. B. für das Verhältnis der gesamten unbebauten Fläche zur entsiegelbaren, von gesamter Dachfläche zur begrünbaren Dachfläche, oder für das Verhältnis der Zahl bereits vorhandener Bäume zu neu zu pflanzenden Bäumen. Ein hohes Potenzial ist also keineswegs gleichzusetzen mit einem 'guten bioklimatischen Zustand', sondern eher mit der Höhe in der (aufgrund eines

noch ‚kritischen Zustands‘) Verbesserungen erreichbar sind. Grau unterlegt sind jene Maßnahmen, die sich aufgrund der bestehenden Potenziale sowie der Maßnahmenwirksamkeit für eine Umsetzung besonders anbieten. Dies bezieht sich ausschließlich auf die Referenzgebiete, die jedoch Vergleiche und gegebenenfalls Rückschlüsse auf andere Blöcke des gleichen Stadtstrukturtyps zulassen. Zur Ermittlung der im jeweiligen Einzelfall geeigneten und möglichen Anpassungsmaßnahmen sind stets die lokalen Gegebenheiten zu prüfen. Allgemein kann festgehalten werden, dass der Schlüsselfaktor für die Potenziale von Anpassungsmaßnahmen das Verhältnis von versiegelten (bebaut, unbebaut) zu unversiegelten Flächen darstellt. Denn abgesehen von der Nach- bzw. Neupflanzung von Straßenbäumen beziehen sich alle Maßnahmen auf die Gebäude (Dachbegrünung, Fassadenbegrünung, Albedoerhöhung) und die unbebaut versiegelten Flächen (Entsiegelung, Albedoerhöhung).

Tab. 3: Beurteilung der Referenzgebiete hinsichtlich ihrer Potenziale zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen sowie Vorschläge für bevorzugt zu ergreifende Maßnahmen

Stadtstrukturtyp	Maßnahmen					
	Entsiegelung	Erhöhung der Albedo	Straßenbaumpflanzung	Fassadenbegrünung		Dachbegrünung
				gesamt	fensterlose Giebelwände	
Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern	●●	●●●●	●	●●●●	●●	●●
Blockrandbebauung der Gründerzeit mit geringem Anteil von Seiten- und Hintergebäuden	●●	●	●	●	●●●●	●●
Blockrand- und Zeilenbebauung der 20er und 30er Jahre	●	●●●●	●●●●	●●●●	●●	●●
Blockrandbebauung der Gründerzeit mit massiven Veränderungen	●	●●	●●	●	●	●
Hohe Bebauung der Nachkriegszeit	●●●●	●●	●	●	●●	●
Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Handel und Dienstleistung	●	●●●●	●●●●	●●	●	●
Geringe Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe und Industrie	●●●●	●●	●	●	●	●●●●
●●●● hohes Potenzial, ●● mittleres Potenzial, ● geringes Potenzial						
zu bevorzugende Maßnahme aufgrund des Potenzials im Referenzgebiet und der Wirksamkeit der Maßnahme						

5. Fazit

Kleinräumige Maßnahmen auf Block- und Gebäudeebene können einen erheblichen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel durch Reduzierung der Temperaturen leisten – wenngleich sie auf das unmittelbare Umfeld des jeweiligen Gebäudes bzw. Blocks begrenzt sind. Ob und ab wann sie durch eine Summenwirkung bei Umsetzung in vielen benachbarten Blocks eine räumlich größere Wirkung erzielen, konnte im Rahmen des Fachgutachtens zum StEP Klima nicht ermittelt werden. Dennoch sind sie insbesondere für die Verbesserung in bereits derzeit bioklimatisch belasteten Siedlungsräumen zu empfehlen, deren räumliche Kulisse sich aufgrund des Klimawandels ausdehnen wird. Welche Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination im jeweiligen Einzelfall die größte Wirkung zeigt, hängt allerdings stark von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten ab.

Literatur

- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2010): Untersuchungen zum Klimawandel in Berlin.
- Schlößer, S. A. (2003). Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung: Meinungsbilder Kölner Bürger – eine Bevölkerungsbefragung. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Dissertation an der Universität zu Köln.
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (2007): Digitaler Umweltatlas Berlin. 01.02: Versiegelung (online). <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ib102.htm> (Zugriff am 28.09.2010)
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (2008): Digitaler Umweltatlas Berlin. 06.07/08: Stadtstruktur. Kartenbeschreibung (online). http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dc607_04.htm (Zugriff am 17.09.2010)
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) (2011): Fachgutachten Stadtentwicklungsplan Klima. Auftragnehmer: Technische Universität Berlin, Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung (Prof. Dr. Stefan Heiland (Projektleitung), Dr. Christian Wilke, Katrin Rittel) und Herwart+Holz Planung und Architektur (Carl Herwarth v. Bittenfeld, Brigitte Holz, Andreas Neisen, Kerstin Thurau) in Zusammenarbeit mit GEO-NET Umweltconsulting GmbH (Peter Trute, Dirk Herrmann).
- Wilke, C., Bachmann, J., Hage, G., Heiland, S. (2011): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 109. Bonn-Bad Godesberg.

Autorenanschrift:

Dipl.-Ing. Katrin Rittel
Dr. Christian Wilke
Prof. Dr. Stefan Heiland
Technische Universität Berlin
Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt
Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung – Sekr. EB 5
Straße des 17. Juni 145
D - 10623 Berlin
Tel.: +49(0)30/314-26628
Fax: +49(0)30/314-23507
Mail: k.rittel@tu-berlin.de
www.landschaft.tu-berlin.de

Anpassung an den Klimawandel durch Stadtgrün – klimatische Ausgleichspotenziale städtischer Vegetationsstrukturen und planerische Aspekte

Adaptation to climate change by urban green spaces – cooling effects of urban vegetation structures and planning aspects

JULIANE MATHEY, STEFANIE RÖBLER, IRIS LEHMANN, ANNE BRÄUER, VALERI GOLDBERG

Zusammenfassung

In der aktuellen Debatte um die Folgen des Klimawandels bilden die positiven bioklimatischen Wirkungen städtischer Freiräume verbunden mit ihren gesundheitlichen Wohlfahrtswirkungen wichtige Ansatzpunkte für die Anpassung von Städten an die Herausforderungen des Klimawandels und für die Erhaltung städtischer Umwelt- und Lebensqualität. Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse des vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) geförderten F+E-Vorhabens „Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel“ vorgestellt. Es wurden Empfehlungen erarbeitet, die sich auf die Ausgestaltung von urbanen Freiräumen und Freiraumsystemen im Klimawandel sowie auf die instrumentelle Umsetzung freiraumplanerischer Klimaanpassungsmaßnahmen beziehen.

Als Grundlage für Modellierungen zu klimatischen Wirkungen auf teilstädtischer und gesamtstädtischer Ebene wurden 57 Stadtvegetationsstrukturtypen identifiziert und hinsichtlich ihrer Vegetationsstruktur charakterisiert. So lassen sich differenzierte flächenbezogene Aussagen in Hinblick auf klimatische Ausgleichsfunktionen von Stadt- und Vegetationsstrukturen ableiten. Aufbauend auf vorhandenen Kenntnissen und auf den im Projekt durchgeführten Modellierungen klimatischer Wirkungen für Stadtvegetationsstrukturtypen werden Planungsempfehlungen zur Ausgestaltung sowohl einzelner Vegetationsstrukturen als auch des gesamtstädtischen Freiraumsystems gegeben.

Für die Umsetzung freiraumplanerischer Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel spielen die politischen, gesetzlichen und instrumentellen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle. Hier sind Empfehlungen für die Anwendung von Instrumenten zur Umsetzung freiraumplanerischer Anpassungsmaßnahmen formuliert, die auf der Analyse und Bewertung flankierender politischer Zielstellungen, gesetzlich verankerter Ziele des Naturschutzes und der räumlichen Planung sowie von Instrumenten der Raumplanung, des Naturschutzes, der Freiraumplanung und weiterer Instrumente basieren.

Klimawandel, Klimaanpassung in Städten, urbane Resilienz, Freiraumplanung, Stadtgrün, Stadtökologie, Landschaftsarchitektur, urbane Biodiversität.

Summary

There have been current debates on the consequences of climate change, the positive bioclimatic effects of urban vegetation and green spaces and their impact on human health and well-being. These discussions provide important approaches for the adaptation of cities to preserve environmental and life quality and meet the challenges of climate change. In the following article results of the R&D project sponsored by the Federal Agency for Nature Conservation (BfN) “Still Warmer, Still Drier? Urban Nature and Green Space Structures in the Context of Climate Change” will be presented. The recommendations elaborated here deal with the design of urban green spaces and green space systems under the influence of climate change as well as with the instrumental implementation of green space planning measures for adapting to climate change.

As a basis for modelling climatic impacts on district and city-wide levels, 57 urban vegetation structure types were distinguished as suitable homogeneous units, defined in terms of their vegetational structure. Hereby a differentiated and site-specific identification of climatic compensational qualities of urban and vegetational structures can be derived. Based on existing knowledge and the results of modelling the climatic effects of urban vegetation structure types, planning recommendations were drawn up for the design of single vegetation structures as well as for the city-wide green space system.

Political, legal and instrumental conditions play an important role in implementing green space planning measures to adapt to climate change. Here recommendations are made for implementing green space planning measures to adapt to climate change. Special consideration is given to the analysis of flanking political objectives, legally entrenched nature conservation and spatial planning goals, as well as the instruments of spatial planning, nature conservation, green space planning and further tools.

1. Städte im Klimawandel

Städte sind im Vergleich zum Umland durch spezifische klimatische Bedingungen, wie verstärkte Trockenheit, höhere Temperaturen und ein verändertes Windfeld geprägt, die sie zu bioklimatischen Belastungszonen machen. Durch den Klimawandel wird sich die Situation des Stadtklimas voraussichtlich verschärfen. Die prognostizierte Zunahme der Dauer und Intensität von Hitzeperioden wird sich stark auf die Lebensqualität in Städten auswirken. Eine nachhaltige Siedlungsentwicklung muss sich daher mit den absehbaren Folgen des Klimawandels auf den Siedlungsraum auseinandersetzen.

Wichtige Ansatzpunkte für die Planung sind die klimaregulierenden und positiven bioklimatischen Wirkungen städtischer Freiräume – hier verstanden als überwiegend grüne oder begrünte Flächen im urbanen Raum – verbunden mit ihren gesundheitlichen Wohlfahrtswirkungen (u. a. Bruse 2003, Endlicher & Kress 2008, Gill et al. 2007). Klimatische Wirkungen der Stadtvegetation sind beispielsweise Temperaturabsenkung, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit, Einflüsse auf die Luftzirkulation. Allerdings sind städtische Freiräume auch den Folgen des Klimawandels ausgesetzt und in der Erfüllung der von ihnen erwarteten ökosystemaren Dienstleistungen beeinträchtigt (Gill 2004, Handley o. J., Roloff et al. 2007). Vegetation kann darüber hinaus eine wichtige Rolle beim Klimaschutz spielen, indem sie als zeitlich begrenzte CO₂-Senke zur Reduzierung von Treibhausgasen beiträgt oder durch Schatten spendende Bäume hilft, den Energieverbrauch durch Gebäudekühlung einzudämmen (Gill et al. 2007, Wende et al. 2010).

Das Wissen um die klimatischen Effekte von Grünflächen und Vegetation in der Stadt ist nicht neu (Werner 2010). Das Thema Stadtklima und die Sicherung biometeorologisch positiver Effekte in urbanen Räumen ist spätestens seit Mitte der 1980er Jahre regelmäßiger Bestandteil stadtoökologisch orientierter Landschafts- und Stadtplanung in Verdichtungsräumen. Trotzdem wird die Umsetzung stadtklimatischer und damit auch landschafts- und freiraumplanerischer Belange in der Stadtplanung oft anderen Belangen untergeordnet

(u. a. Alcoforado et al. 2009). Außerdem fehlen bislang detaillierte Kenntnisse über die (mikro-)klimatischen Wirkungen spezifischer städtischer Vegetationsstrukturen innerhalb des Freiraumsystems, welche die Vorteile von Begrünungsmaßnahmen auch quantitativ belegen und als Argumentation für die Stadtplanung bereitstellen (Bruse 1999).

Vor diesem Hintergrund zielte ein vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) gefördertes und vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung Dresden (IÖR) zusammen mit der Professur für Meteorologie der Technischen Universität Dresden bearbeitetes F+E-Projekt mit dem Titel „Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel“ auf die Entwicklung übertragbarer, praxisorientierter Klimaanpassungsstrategien für die räumliche Planung und das Management von Freiraumsystemen in urbanen Räumen. Im Mittelpunkt standen dabei folgende Fragen: (1) Welchen Beitrag leistet Stadtgrün zur Anpassung von Städten und teilstädtischen Räumen an die Folgen des Klimawandels? (2) Wie kann die Umsetzung naturschutzfachlicher und freiraumplanerischer Zielstellungen in der Stadtentwicklung in Hinblick auf den Klimawandel verbessert werden? Die im Projekt erarbeiteten Empfehlungen beziehen sich auf die Ausgestaltung von urbanen Freiräumen und Freiraumsystemen im Klimawandel sowie auf die instrumentelle Umsetzung freiraumplanerischer Klimaanpassungsmaßnahmen.

2. Klimatische Ausgleichspotenziale von Stadtgrün

2.1 Stadtvegetationsstrukturanalyse und Klimamodellierungen

Ausgangspunkt für die Untersuchungen ist die Annahme, dass Wirkungszusammenhänge zwischen typischen städtischen Vegetationsstrukturen und deren klimatischen Leistungen bestehen. Auf Grundlage der Empfehlungen zur „flächendeckenden Biotopkartierung im besiedelten Bereich“ nach Schulte et al. (1993) sowie den Stadtbiooptypenkartierungen der Stadt Dresden aus den Jahren 1993 und 1999 wurde der städtische Raum so typisiert, dass sich differenzierte flächenbezogene Aussagen



Abb. 1: Systematik der Stadtvegetationsstrukturtypen: Hauptkategorien und Beispiele für einzelne Typen (eigene Darstellung).

in Hinblick auf klimatische Ausgleichsfunktionen von städtischen Vegetationsstrukturen ableiten lassen. Als geeignete homogene Einheiten wurden 57 Stadtvegetationsstrukturtypen identifiziert und hinsichtlich ihres Grünvolumens, ihrer Vegetationsstruktur (Grünflächen- und Vegetationsschichtenanteile) sowie ihres Versiegelungsanteils charakterisiert (Arlt et al. 2005; Abb. 1). Mit diesem Ansatz kann das Vegetationsinventar einer Stadt flächendeckend beschrieben werden.

Auf Basis dieser Datengrundlage wurden mit den Programmen ENVI-Met (Bruse & Fleer 1998) und HIRVAC-2D (Goldberg & Bernhofer 2001) auf teilstädtischer und gesamtstädtischer Ebene Modellierungen zu klimatischen Wirkungen durchgeführt. ENVI-Met ist ein dreidimensionales kleinskaliges Atmosphärenmodell, welches alle notwendigen Grundgleichungen der Atmosphäre, wie 3D-Wind, Temperatur, Feuchte sowie Turbulenz, mit einer räumlichen bzw. zeitlichen Auflösung von 0,5 bis 10 m bzw. von 10 Sekunden löst und damit auf Ebene der Stadtvegetationsstrukturtypen eingesetzt wurde. HIRVAC-2D (High Resolution Vegetation Atmosphere Coupler) eignet sich stärker für teil- und gesamtstädtische Modellierungen. Es handelt sich dabei um ein atmosphärisches Grenzschichtmodell. Es verfügt über Mehrschicht-, Vegetations- und Bodenmodule, mit denen aktuelle Probleme der Boden-Vegetation-Atmosphären-Wechselwirkungen untersucht werden können. Im Ergebnis der Modellierungen standen struktur-

Aussagen zu klimatischen Wirkungen von Stadtgrün. Die jeweiligen Charakteristika der Vegetationsstruktur und die mikroklimatischen Eigenschaften für alle Stadtvegetationsstrukturtypen wurden in Steckbriefen zusammengefasst, auf deren Grundlage Planungsentscheidungen differenziert nach klimatisch relevanten Parametern der Grünausstattung und der klimatischen Wirkungspotenziale unterschiedlicher typischer städtischer Vegetationsstrukturen getroffen werden können.

2.2 Klimatische Wirkungen unterschiedlicher städtischer Vegetationsstrukturen

Die Ergebnisse der Modellierung des Temperaturverhaltens mit dem Modell ENVI-Met (Bruse & Fleer 1998, www.envi-met.com) zeigen, dass einzelne Vegetationsstrukturen in der Stadt bezüglich ihrer Potenziale zur Beeinflussung der mikroklimatischen Situation recht unterschiedlich zu bewerten sind (Temperaturdifferenzen ausgewählter Stadtvegetationstypen siehe Abb. 2). So bewegen sich die potenziellen Abkühlungseffekte verschiedener Stadtvegetationsstrukturtypen gegenüber einer Asphalt-Referenzfläche von 0,5 K bis 2,0 K Lufttemperatur (in 1,20 Meter Höhe um 14 Uhr an einem Sommertag). In bebauten Gebieten mit starker Durchgrünung zeigten sich mit 1,6 K die höchsten Abkühlungseffekte. Auch in ausgewiesenen Grünanlagen gibt es eine große Bandbreite: Während beispielsweise in Grünanlagen mit einem eher dichten Baumbestand – wie Friedhöfen – Werte von bis zu

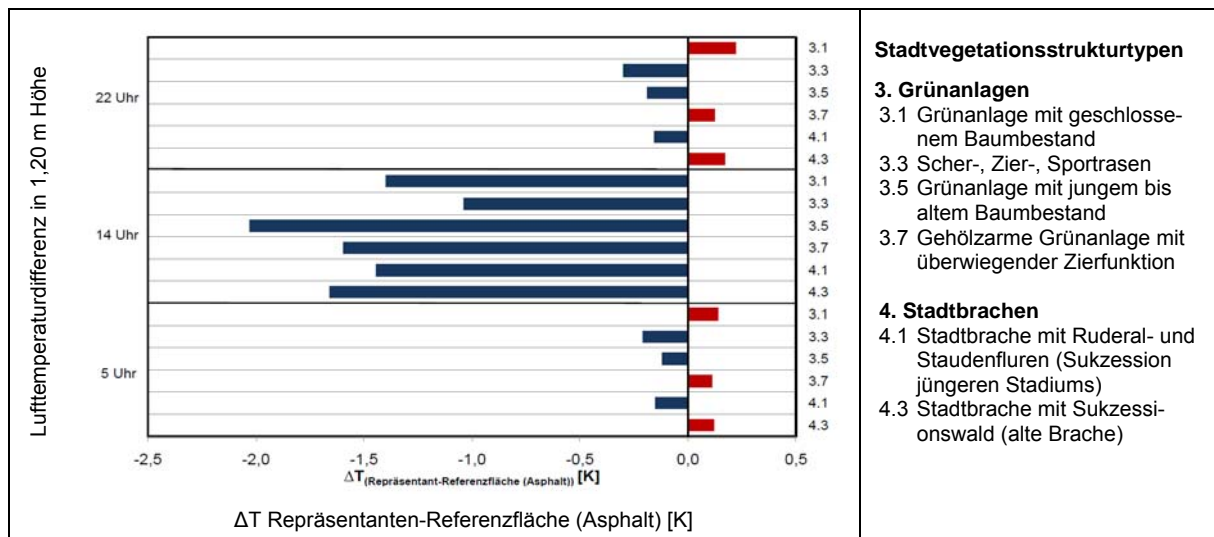


Abb. 2: Modellierungsergebnisse – Temperaturdifferenzen ausgewählter Stadtvegetationstypen der Hauptkategorien 3 „Grünanlagen“ und 4 „Stadtbrachen“ zu verschiedenen Tageszeiten: 5 Uhr, 14 Uhr, 22 Uhr (eigene Darstellung).

2,0 K potenziell erreichbar sind, können in typischen Stadtteilparks mit einem hohen Anteil an Rasenflächen und teilweise geschlossenem Baumbestand Abkühlungseffekte von durchschnittlich 1,4 K erwartet werden.

Außerdem variieren die Regulationswirkungen von städtischen Freiräumen und Vegetationsstrukturen im Tagesverlauf. Tagsüber werden die klimatischen Wirkungen bestimmt durch das Zusammenwirken von direkter Sonneneinstrahlung, Schatten und Windstärke. Beispielsweise sind an heißen Sommertagen Schattenplätze in Grünanlagen begehrte Aufenthaltsorte. Allerdings können ausgetrocknete Rasenflächen oder entlaubte Bäume ihre Potenziale zur Abkühlung nicht mehr entfalten. Dicht bebaute versiegelte Gebiete speichern die Wärme am Tag und geben sie insbesondere in den Nachtstunden an ihre Umgebung ab. Dieser Speichereffekt lässt sich durch Dach- oder Wandbegrünungen mildern. Wegen geringer Aufheizung am Tage, weniger Wärmespeicherung und hoher Evaporation ist die Kühlwirkung von Grünanlagen besonders in den Abend- und Nachtstunden viel höher als die der bebauten Umgebung (Mathey et al. 2011, Abb. 2).

2.3 Klimatische Wirkungen unterschiedlicher Freiraumsysteme

Für die Planung ist es interessant zu wissen, wie sich die Ausprägung des städtischen Freiraumsystems auf die klimatische Situation der Gesamtstadt bzw. teilstädtischer Räume auswirkt. Insbesondere stellt sich die Frage: Welche Art der Anordnung von Freiräumen in der Stadt bewirkt einen größeren Abkühlungseffekt, sind es eher wenige große Grün- bzw. Freiräume oder viele über das Stadtgebiet verteilte kleine? Um zur Klärung dieser Frage

beizutragen, wurden mit dem Modell HIRVAC-2D (Goldberg & Bernhofer 2001) für ein Gebiet von ca. 236 ha die klimatischen Wirkungen von zwei verschiedenen Freiraummustern modelliert, die hinsichtlich ihres Freiraumanteils (jeweils ca. 31,5 ha) und ihres durchschnittlichen spezifischen Grünvolumens (jeweils ca. 1,7 m³/m²) identisch sind (Abb. 3):

- Variante 1: Anordnung eines großen kompakten Freiraums in zentraler Lage (31,5 ha)
- Variante 2: Anordnung vieler kleiner über das Untersuchungsgebiet gleichmäßig verteilter Freiräume mit Flächengrößen zwischen 0,25 ha und 1 ha (Summe: 31,5 ha).

In beiden Varianten kann eine Senkung der Gesamttemperatur im betrachteten Stadtgebiet festgestellt werden. Dabei wird in Variante 1 ein Abkühlungseffekt von 0,7 K im Flächenmittel erreicht. Für die Variante 2 ist eine mittlere Abkühlung von 0,4 K potenziell möglich. Für die bioklimatische Wirkung ist weiterhin der maximale Abkühlungseffekt innerhalb des Freiraums bedeutsam. Der maximal erreichbare Abkühlungseffekt ist mit 2,6 K in dem großen zusammenhängenden Freiraum (Variante 1) größer als jeweils bei einem einzelnen der kleinen Freiräume von ca. 1 ha Größe (bis zu 0,6 K, Variante 2). Der augenscheinliche Vorteil des zentral gelegenen großen Freiraums relativiert sich allerdings, wenn man bedenkt, dass kleinere und gut verteilte Freiräume aus den angrenzenden Wohngebieten schneller und leichter erreichbar sind. So ist es den Stadtbewohnern eher möglich, dem Hitze stress auf kurzem Wege auszuweichen. Ebenso werden über eine Erhöhung potenzieller Randeffekte mehr Austauschwirkungen mit angrenzenden bebauten Gebieten möglich.



Abb. 3: Potenzielle Verteilungsmuster von Freiräumen in der Stadt (eigene Darstellung).

2.4 Klimatische Effekte von Flächennutzungsänderungen

Die Stadtvegetationsstruktur ist durch bauliche bzw. freiraumplanerische Maßnahmen beeinflussbar. Planerische Entscheidungen können somit zu einer Beeinträchtigung oder Verstärkung der (potenziellen) mikroklimatischen Wirkungen von Stadtgrün führen. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden sechs typische städtebauliche Situationen (Quartier mit gründerzeitlicher Blockrandbebauung; Villenbebauung; Gemischte Bebauung aus Wohn-, Industrie- und Gewerbeflächen sowie Bahnanlagen; Stadtteilpark; innerstädtischer Stadtplatz; Großwohnsiedlung) ausgewählt, um die mikroklimatischen Auswirkungen von Planungsentscheidungen und Vorhaben zu verdeutlichen. Für die Flächennutzungsszenarien wurden mögliche stadtplanerische Entscheidungen zu Grunde gelegt. Dabei wurden aktuelle stadtplanerische Rahmenbedingungen und Zielvorstellungen berücksichtigt: (1) Vor dem Hintergrund städtischer Wachstumsprozesse, innerstädtischen Nutzungsdrucks und dem Bestreben zur Eindämmung der Flächeninanspruchnahme wurden Szenarien entwickelt, die eine Nachverdichtung bestehender Baugebiete oder die Umwidmung von Brach- und Grünflächen in Baugebiete abbilden. (2) Als Reaktion auf städtische Schrumpfungsprozesse sowie Forderungen nach mehr Lebens- und Umweltqualität wurden Szenarien erstellt, die auf eine Neuausweisung von Grünflächen, eine stärkere Durchgrünung bestehender Wohngebiete oder Strukturanreicherung bzw. Erhöhung des Grünvolumens in bestehenden Freiräumen abzielen.

Mit Hilfe des Modells HIRVAC-2D (Goldberg & Bernhofer 2001) wurden jeweils die Ausgangssituationen der Untersuchungsgebiete sowie die Auswirkungen der Flächennutzungsänderungen hinsichtlich des Temperaturverhaltens (Differenz zwischen errechneter Temperatur in 1,5 m Höhe um 14:00 Uhr an einem strahlungsreichen Sommertag und trockenem, unbewachsenem Boden als Referenzfläche) modelliert. Die Szenarien der Flächennutzungsänderung zeigen deutlich, wie sich die Veränderung von städtischen Strukturen auf die mikroklimatische Situation in einem Quartier auswirken kann. Beispielsweise hätte die Bebauung der Rasenfläche eines Stadtteilparks eine maximale Temperaturerhöhung von 0,5 K bis 1,0 K (im Flächenmittel) zur Folge (Abb. 4). Außerdem stünde die Grünfläche den Erholung und Abkühlung Suchenden aus den umgebenden Wohngebieten nicht mehr zur Verfügung. Insbesondere in den Sommernächten würden im Stadtteil höhere Temperaturen auftreten. Erhöht man das Grünvolumen, beispielsweise durch dichtere Gehölzpflanzungen, würde sich der Abkühlungseffekt innerhalb des Parks um ca. 0,5 K verstärken. Mit Blick auf die Nutzbarkeit einer solchen Fläche sind diese Effekte allerdings kritisch zu bewerten, denn Pflanzflächen bieten nur noch eingeschränkte Möglichkeiten zum Aufenthalt oder zur aktiven Betätigung. Dies steht der Eignung des Stadtteilparks als „kühle Oase“ gegebenenfalls entgegen.

Aus den Ergebnissen der Strukturanalyse und den Modellierungen lassen sich Hinweise für die Ausgestaltung und Unterhaltung einzelner Freiräume, aber auch des gesamtstädtischen Freiraumsystems ableiten, welche im folgenden Abschnitt zusammengefasst werden.

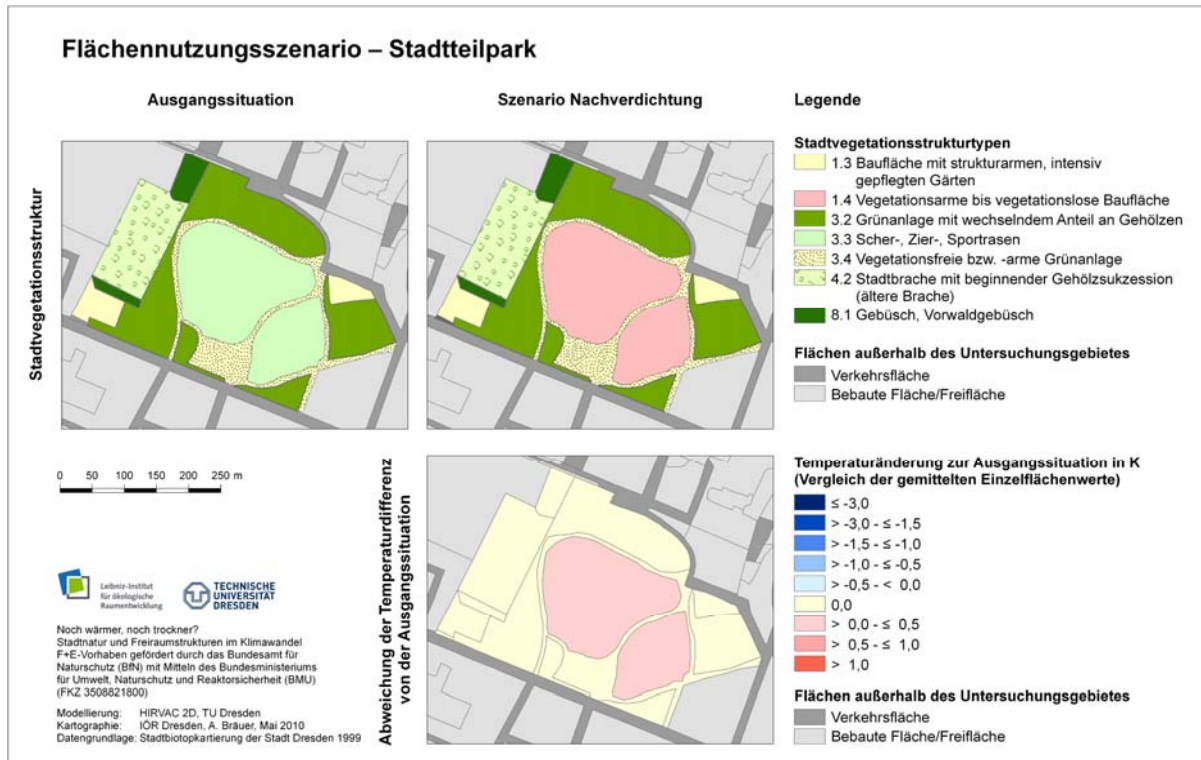


Abb. 4: Flächennutzungsszenario für einen Stadtteilpark – Nachverdichtung (eigene Darstellung).

3. Empfehlungen zur Umsetzung freiraumplanerischer Klimaanpassungsmaßnahmen

3.1 Planungsempfehlungen für die Ausgestaltung städtischer Freiraumsysteme

Detaillierte Kenntnisse über die Abkühlungspotenziale verschiedener Vegetationsstrukturen und Freiraumtypen bilden eine wichtige Grundlage für freiraumplanerische Anpassungsmaßnahmen. Aufbauend auf vorhandenen Kenntnissen zu Funktionen und Wohlfahrtswirkungen von Stadtgrün sowie auf den im Forschungsprojekt durchgeführten Modellierungen klimatischer Leistungen für Stadtvegetationsstrukturtypen und Freiraumstrukturen auf teilstädtischer und gesamtstädtischer Ebene, werden folgende Planungsempfehlungen abgeleitet:

- Die Verteilung der Freiräume über die Stadt beeinflusst die erzielbaren klimatischen Wirkungen. Ein kleinräumig engmaschiges und reich strukturiertes Freiraumsystem im Innenbereich, ergänzt durch offene Kaltluftbahnen aus den Randbereichen kann über den gesamten Stadtbereich mikroklimatisch wirken. Ein Freiraumsystem mit großen zusammenhängenden Freiräumen kann geringfügig größere Abkühlungseffekte erreichen, als eines mit vielen kleinen verteilten Freiräumen.

- Je höher der Anteil vegetationsgeprägter Stadtvegetationsstrukturtypen an der Stadtfäche, desto günstiger ist in der Regel die klimatische Wirkung auf das Stadtklima.
- Die klimatischen Wirkungen von Freiräumen stehen in einem direkten Zusammenhang mit den jeweiligen Flächengrößen. Messbare Temperaturreduzierungen innerhalb einzelner Freiräume können bereits bei Flächen kleiner als 1 ha festgestellt werden. Je größer eine Fläche, desto stärker ist in der Regel auch das Binnenklima auf dieser Fläche ausgeprägt.
- Stärker als die Größe beeinflussen Struktur und spezifische Vegetationsausstattung einzelner Freiräume die mikroklimatischen Ausgleichspotenziale. Je größer das Grünvolumen, desto höher ist in der Regel der Abkühlungseffekt tagsüber. Diese Aussage ist allerdings differenziert zu betrachten, da beispielsweise beim Luftaustausch auch die Vegetationsstruktur (z. B. Kronenschluss von Bäumen) eine Rolle spielt.
- Mit Blick auf die jeweiligen planerischen Ziele ist abzuwägen, welche klimatischen Wirkungen an einem bestimmten Ort im Stadtgefüge wünschenswert sind und ob die erzielbaren Abkühlungseffekte auf einer Fläche tagsüber oder nachts an den Rändern einzelner Grünflächen wichtig sind.

Dies hängt eng zusammen mit der Funktion und der Nutzung der jeweiligen Freiräume. Die häufig anzutreffende Gestaltung von Grünanlagen mit vielfältigen Gehölzen und größeren Rasenflächen bewirkt meist beides, sowohl nächtliche Abkühlung, als auch Milderung der Wärmebelastung am Tage (Werner 2010).

- Die Potenziale zur Bereitstellung klimatischer Ausgleichsleistungen hängen auch vom Management der Freiräume ab; so ist beispielsweise künftig insbesondere die Wahl klimaangepasster Baumarten wichtig (Roloff et al. 2008).

3.2 Instrumentelle Umsetzung freiraumplanerischer Klimaanpassungsmaßnahmen

Für die Umsetzung freiraumplanerischer Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel spielen die politischen, gesetzlichen und instrumentellen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle. Daher wurden im Forschungsprojekt flankierende politische Zielstellungen sowie gesetzlich verankerte Ziele des Naturschutzes und der räumlichen Planung hinsichtlich ihrer Synergien und Zielkonflikte mit freiraumplanerischen Anpassungsmaßnahmen genauer betrachtet. Weiterhin wurden die Instrumente der Raumplanung, des Naturschutzes und der Freiraumplanung sowie weitere Instrumente des Umweltprüfrechts, Bauplanungsrechts und die immissionsrechtliche Fachplanung auf ihre Steuerungspotenziale und Steuerungsdefizite zur Umsetzung freiraumplanerischer Anpassungsmaßnahmen analysiert und bewertet.

Städtebauliche Leitbilder

Um mögliche Synergien oder Konflikte besser im Planungsprozess berücksichtigen zu können, sollte die Freiraumentwicklung auch im Zusammenhang mit anderen Herausforderungen der Stadtentwicklung – insbesondere dem Klimaschutz – gesehen werden. Durchgrünte Städte stehen der Forderung nach kompakten Stadtstrukturen, mit dem Ziel der Reduktion von Treibhausgasen entgegen. In diesem Zusammenhang steht auch die Diskussion um die Wiedernutzung städtischer Brachflächen. Auch wenn begrünte Brachflächen wichtige soziale, ästhetische und ökologische Funktionen, besonders auch zur Klimaregulierung erfüllen (Mathey et al. 2003), könnte die Neubebauung solcher Flächen zur Verringerung der Suburbanisierung und damit zu energieeffizienten und klimaschonenden Stadtstrukturen beitragen. Es zeichnet sich also ein Konflikt zwischen dem Erhalt und der Entwicklung innerstädtischer Freiräume auf der einen Seite und der Forderung nach kompakten Städten auf der anderen Seite ab. Das Leitbild einer klimawandelgerechten Stadt beinhaltet die Forderung nach einer Stadtstruktur, die beidem, dem Klimaschutz und der Klimaanpassung, gerecht wird (BMVBS, BBSR 2009). Bei der Flächennutzung kann dies zu Zielkonflikten führen.

Die Bewertung unterschiedlicher städtebaulicher Leitbilder bezüglich der Rahmenbedingungen zur Umsetzung zweier zentraler Aspekte freiraumplanerischer Anpassung (engmaschige Durchgrünung und Freihaltung von Kalt- und Frischluftschneisen) fällt dabei differenziert aus (Tab. 1).

Tab. 1: Zusammenfassende Bewertung der Leitbilder nach zwei zentralen Aspekten freiraumplanerischer Anpassung: (1) Möglichkeiten einer engmaschigen Durchgrünung der Siedlungsgebiete und (2) Möglichkeiten zur Freihaltung und Entwicklung von Kalt- und Frischluftschneisen (eigene Darstellung in Anlehnung an BMVBS, BBSR 2009).

Städtebauliches Leitbild	Umsetzbarkeit freiraumplanerischer Anpassungserfordernisse	
	<i>Engmaschige Durchgrünung der Siedlungsgebiete</i>	<i>Freihaltung und Entwicklung von Kalt- und Frischluftschneisen</i>
Kompakte Stadt	Durchgrünung der Quartiere und Entwicklung eines engmaschig vernetzten Freiraumsystems (höhere Dichte muss nicht mit höherer Versiegelung einhergehen.)	Erhaltung von Ausgleichsflächen am Stadtrand durch Vermeidung von Suburbanisierung, Anbindung dieser an das innerstädtische Freiraumsystem.
Dezentrale Konzentration	Die Netzknoten können durchgrünt werden, erfordern aber eine gewisse Dichte.	Durch die Bündelung der Siedlungsentwicklung können gezielt größere Freiräume erhalten werden.
Zwischenstadt	Durch die geringe Dichte besteht das Potenzial einer kleinräumigen Verknüpfung von Bau- und Grünstrukturen.	Größere zusammenhängende Freiräume in Siedlungsnähe verschwinden durch Flächenausdehnung.

Die Antwort auf die Frage nach der optimalen Stadtstruktur für eine „klimawandelgerechte Stadt“ fällt demnach (schon) aus freiraumplanerischer Perspektive nicht leicht; die optimale Struktur wird es wohl nicht geben. Eine Lösung könnte allerdings die „Doppelte Innenentwicklung“ sein, welche das Ziel verfolgt, die bauliche Nutzung der Innenentwicklungspotenziale in Übereinstimmung mit ökologischer Qualität umzusetzen (BfN 2008). Dabei soll die Freiraumentwicklung und Renaturierung von Brachflächen genauso Bestandteil sein wie die Wiederbebauung (BMVBS 2009). Ein pauschales Optimum lässt sich allerdings nicht definieren; notwendig sind Einzelfallbetrachtungen, die sich auf genaue Strukturanalysen und Klimamodellierungen stützen.

Instrumente zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass das bestehende Instrumentarium gut geeignet ist, um freiraumplanerische Klimaanpassungsmaßnahmen durchzusetzen. Es geht also hauptsächlich darum, die Potenziale vor-

handener Instrumente zielgerichtet zu nutzen und Umsetzungsdefizite zu beheben.

Das bauleitplanerische und naturschutzfachliche Instrumentarium bietet – auch mit Blick auf die verschiedenen Regelungen der Bundesländer – unterschiedliche Möglichkeiten, die notwendige Wissensgrundlage zu generieren und freiraumplanerische Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel fest- und umzusetzen (u. a. ARL 2009; Rannow & Finke 2008). Für eine klimawandelgerechte Stadtplanung sind Instrumente auf verschiedenen Maßstabsebenen nötig (Abb. 5). Betrachtet man die beiden zentralen Zugänge: (1) die Fachplanungen des Naturschutzes und die (2) gesamtträumlich wirksame Raumordnungs- und Bauleitplanung so wird deutlich, dass die Instrumente der Landschaftsplanung vor allem als Informationsgrundlage und der Formulierung fachplanerischer Ziele dienen, während die Instrumente der Raumordnung und Bauleitplanung eher die Funktion der Festsetzung und Abwägung mit anderen Belangen übernehmen.

Informationsgrundlage		Festsetzungsmöglichkeiten	
Fachplanerische Ziele		Abwägung	
Landschaftsrahmenplanung	Offenhaltung von Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten Kalt- und Frischluftschneisen Grünverbindungen mit dem Umland → Regionale Grünzüge, Vorranggebiete	Regionalplanung	
Kommunale Landschaftsplanung	Steuerung der Flächenneuanspruchnahme Entwicklung eines gesamtstädtischen Freiraumsystems → Erhaltung und Neuausweisung von städtischen Grünflächen	Flächennutzungsplanung	
Grünordnungsplanung	Ausgestaltung konkreter Stadtgebiete und Freiräume → Festsetzung und Ausgestaltung von Grünflächen (Bepflanzungsgebote, Festlegung von Gebäudebegrünung, Entsiegelungsgebote)	Bebauungsplanung	

Abb. 5: Vorbereitungs- und Regelungsmöglichkeiten des naturschutzfachlichen und raumplanerischen Instrumentariums zur Umsetzung freiraumplanerischer Anpassungsmaßnahmen auf den unterschiedlichen Maßstabsebenen.

Kaltluftschneisen lassen sich nur in einem regionalen und gemarkungsübergreifenden Ansatz entwickeln und freihalten. Dort ist die Regional- und Flächennutzungsplanung gefordert. Der Landschaftsplan bietet auch für den städtischen Bereich eine wichtige Informations- und Entscheidungsgrundlage. Er besitzt das Potenzial, über bisher schon übliche stadtklimatische Bestandsaufnahmen hinaus, Aussagen zu unterschiedlichen Vegetationsstrukturen mit ihren jeweiligen klimatischen Wirkungen zu verknüpfen. Die Darstellung und Festsetzung von Grünflächen über die Schutzgebietskategorien hinaus ist hingegen lediglich im Rahmen der vorbereitenden und verbindlichen Bauleitplanung möglich. Als Instrumente des Baurechts sind diesen für die Freiraumentwicklung naturgemäß Grenzen gesetzt. Besonders bei der konkreten Ausgestaltung der Vegetationsstruktur einzelner Freiräume zeigt sich das Fehlen eines freiraumplanerisch orientierten Instruments mit derartiger Steuerungskraft. Dies könnte durch eine wirkungsvollere Grünordnungsplanung, aber auch durch die verstärkte Einbeziehung informeller freiraumplanerischer Instrumente (z. B. Freiflächenentwicklungspläne, Grünkonzepte) verbessert werden.

Zusammenfassend lassen sich folgende Empfehlungen für die Anwendung der Instrumente formulieren:

- Wichtig ist die Bereitstellung detaillierter Grundlageninformationen zu Stadtklima, Bioklima und Regulationsleistungen von Stadtgrün. Dies kann durchaus im Rahmen bestehender Instrumente geleistet werden. Insbesondere bietet die Strategische Umweltprüfung (SUP) Potenziale zur Prüfung der Klimabelange.
- Die Potenziale der vorhandenen und etablierten Instrumente der Regional- und Bauleitplanung sowie der Landschaftsplanung sollten zur Vorbereitung und Umsetzung freiraumplanerischer Anpassungsmaßnahmen genutzt werden.
- Für die optimale Nutzung freiraumplanerischer Anpassungspotenziale ist ein maßstabsübergreifendes Ineinandergreifen der Instrumente wichtige Voraussetzung. Dabei können informelle Instrumente unterstützend eingesetzt werden.
- Notwendig ist die Sicherung einer auf stadtregionaler und städtischer Ebene eigenständigen Landschaftsplanung, die freiraumplanerische Klimaanpassungsbelange integriert.
- Um Vollzugsdefizite zu vermeiden, sollte die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen beispielsweise über das Monitoring im Rahmen der Umweltprüfung kontrolliert werden.

All dies sind keine wirklich neuen Forderungen der Freiraumplanung in der Stadt. Aber nur durch eine stärkere Berücksichtigung im Planungsprozess kann die städtische Freiraumstruktur verbessert werden und so zur Erhöhung der Umwelt- und Lebensqualität in Städten beitragen. Dabei sind die Rahmenbedingungen des Klimawandels nur eine wichtige Herausforderung. Die Anerkennung der Synergien zum Schutz und zur Entwicklung der biologischen Vielfalt in Städten sowie zur Sicherung gesunder Lebensumwelten können freiraumplanerische und naturschutzfachliche Belange in der Stadtentwicklung künftig noch weiter stärken.

Literatur

- ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (2009). Klimawandel als Aufgabe der Regionalplanung. Positionspapier aus der ARL Nr. 81. Hannover 2009.
- Alcoforado, M.-J., Andrade, H., Lopes, A., Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). – *Landscape and Urban Planning* 90 (1-2). S. 56-65.
- Arlt, G.; Hennersdorf, J.; Lehmann, I.; Thinh, N. X. (2005). Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen. IÖR-Schriften, Bd. 47. Dresden. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2008). Stärkung des Instrumentariums zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. Empfehlungen des Bundesamtes für Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz, Bonn Bad Godesberg.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2009). Stadtentwicklungsbericht 2008. Neue urbane Lebens- und Handlungsräume. Berlin (BMVBS).
- BMVBS, BBSR (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (Hrsg.) (2009), Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Rolle der bestehenden städtebaulichen Leitbilder und Instrumente. Berlin, Bonn (BMVBS, BBSR), BBSR-Online-Publikation 24/2009.
- Bruse, M. (1999). Modelling and Strategies for improved urban climates. Invited Paper.

- Veranstaltung: International Conference on Urban Climatology & International Congress of Biometeorology, Sydney.
- Bruse, M. (2003). Stadtgrün und Stadtklima. Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. LÖBF-Mitteilungen (1). S. 66-70.
- Bruse, M., Fleer, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environ Modell Software* 13. S. 373-384.
- Endlicher, W., Kress, A. (2008). „Wir müssen unsere Städte neu erfinden“ Anpassungsstrategien für Stadtregionen. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, Heft 6/7. S. 437-445.
- Gill, S. E. (2004). Literature review: Impacts of Climate Change on Urban Environments (Draft Copy). – Manchester (Centre for Urban & Regional Ecology).
- Gill, S. E.; Handley, J. F.; Ennos, A. R.; Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. In: *Built Environment* 33 (1). S. 115-133.
- Goldberg, V., Bernhofer, C. (2001). Quantifying the coupling degree between land surface and the atmospheric boundary layer with the coupled vegetation-atmosphere model HIRVAC. *Annales Geophysicae* 19: S. 581-587.
- Handley, J. F. (o. J.). *Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Environment* (ASSCUE).
- Mathey, J., Kochan, B., Stutzriemer, S. (2003). Städtische Brachflächen – ökologische Aspekte in der Planungspraxis. In: Arlt, G., Kowarik, I., Mathey, J., Rebele, F. (Hrsg.). *Urbane Innentwicklung in Ökologie und Planung*. IÖR Schriften 39, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden. S. 75-84.
- Mathey, J., Rößler, S., Lehmann, I., Bräuer, A. (2011). Urban Green Spaces – Potentials and Constraints for Urban Adaptation to Climate Change. In: Otto-Zimmermann, K. (2011): *Resilient Cities. Cities and Adaptation to Climate Change*. Proceedings of the Global Forum 2010, Herausgeber: ICLEI. Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York: S. 479-485.
- Rannow, S., Finke, R. (2008). Instrumentelle Zuordnung der planerischen Aufgaben des Klimaschutzes. In: Klee, A., Knieling, J., Scholich, D., Weiland, U. (Hrsg.). *Städte und Regionen im Klimawandel*. E-Paper der Akademie für Raumforschung und Landesplanung 5. Hannover. S. 44-67.
- Roloff, A., Bonn, S., Gillner, S. (2008). Konsequenzen des Klimawandels. Vorstellung der Klima-Arten-Matrix (KLAM) zur Auswahl geeigneter Baumarten. *Stadt + Grün* (5). 53-60.
- Roloff, A., Thiel, D., Weiß, H. (Hrsg.) (2007). *Urbane Gehölzverwendung im Klimawandel und aktuelle Fragen der Baumpflege*. Tagungsband zu den Dresdner Stadtbaumtagen am 15./16.03.2007 in Dresden. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, Beiheft 6. Tharandt. S. 132.
- Schulte, W., Sukopp, H., Werner, P. (1993). Flächendeckende Biotopkartierung im besiedelten Bereich als Grundlage einer am Naturschutz orientierten Planung. Arbeitsgruppe „Methodik der Biotopkartierung im besiedelten Bereich“. In: *Natur und Landschaft* 10. S. 491-526.
- Wende, W., Huelsmann, W., Marty, M., Penn-Bressel, G., Bobylev, N. (2010). Climate protection and compact urban structures in spatial planning and local construction plans in Germany. *Land Use Policy* 27. S. 864-868.
- Werner, P. (2010). Klimawandel, was tun? Regulierung des Stadtklimas durch qualifizierte Grüngestaltung. *Stadt + Grün* 12/2010. S. 11-16.

Autorenanschriften:

Dr. Juliane Mathey (j.mathey@ioer.de),
 Dr. Stefanie Rößler (s.roessler@ioer.de),
 Iris Lehmann (i.lehmann@ioer.de),
 Anne Bräuer (a.braeuer@ioer.de),
 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR),
 Weberplatz 1,
 01217 Dresden

Dr. Valeri Goldberg
 (goldberg@forst.tu-dresden.de)
 Technische Universität Dresden (TUD),
 Professur für Meteorologie,
 Pienner Straße 23,
 01737 Tharandt

Die Natur der Stadt im Spiegel aktueller politischer Strategien auf Bundesebene

Current federal political strategies in Germany focussing on nature in cities

ALICE KUBE

Zusammenfassung

Der Erhalt und die Verbesserung der ökologischen Grundlagen und Funktionsfähigkeit in Städten bildet neben wirtschaftlichen und sozialen Belangen die Basis einer nachhaltigen Stadtentwicklung. Im Zuge der weltweiten Diskussion um eine nachhaltige Stadtentwicklung ist daher seit einiger Zeit sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene ein steigendes Interesse an der Thematik Natur und Naturschutz in der Stadt zu beobachten.

Im Zentrum des Artikels stehen die Bemühungen um die Natur der Stadt auf Bundesebene, wobei neben dem Klimawandel auch andere aktuelle Herausforderungen wie der Verlust der biologischen Vielfalt, die anhaltend hohe Flächeninanspruchnahme sowie der demografische Wandel thematisiert werden. Folgende Strategien der Bundesregierung werden mit ihren Zielen, Maßnahmen und darauf aufbauenden Aktivitäten vorgestellt:

- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS, 2008)
- Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS, 2007)
- Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (2002).

Der Artikel soll aufzeigen, welche Bedeutung der Natur der Stadt beim Umgang mit den genannten aktuellen Herausforderungen wie dem Erhalt der biologischen Vielfalt, der Anpassung an den Klimawandel sowie der Reduzierung und Qualifizierung der Flächeninanspruchnahme zukommt und welche Synergien sich dabei mit dem Erhalt und der Entwicklung von Stadtnatur verbinden.

Stadtnatur, Naturschutz, Biodiversität, Klimawandel, Nachhaltigkeit, Flächeninanspruchnahme, demografischer Wandel.

Summary

The conservation and improvement of the ecological conditions and functionality in cities provides – beside economic and social issues – the basis for the sustainable development of cities. In the course of the worldwide discussion about sustainable urban development a growing interest in the topic of nature and its conservation in cities can be observed on a national and international level.

Primarily, the efforts to preserve urban nature on a federal level in Germany are discussed in this paper. Besides climate change other prevailing challenges such as the loss of biodiversity, the continuing high land use for settlement and traffic and the demographic development are discussed. The following strategies of the German government are presented including their aims, measures and subsequent activities:

- German Strategy for Adaption to Climate Change (DAS, 2008)
- National Strategy on Biological Diversity (NBS, 2007)
- National Sustainability Strategy (2002).

This paper aims to show the importance of urban nature in dealing with the mentioned challenges such as the conservation of biological diversity, the adaption to climate change and the reduction and qualification of land use as well as the synergies that are connected with the conservation and development of urban nature.

1. Einleitung

Natur in der Stadt leistet wertvolle Beiträge zum Erhalt der Vielfalt von Pflanzen und Tieren, zum stadtklimatischen Ausgleich und zur Sicherung der natürlichen Wasser- und Stoffkreisläufe im Siedlungsbereich und stellt damit einen wichtigen Garanten für die Lebensqualität des Menschen am Wohn- und Arbeitsort dar.

Angesichts der Tatsache, dass in Deutschland derzeit bereits knapp 75 Prozent der Bevölkerung in Stadtregionen (BBSR 2010) und rund 31 Prozent der Bevölkerung in Großstädten mit mehr als 100.000 Einwohnern (Demuth et al. 2010: 11) leben, gewinnt die Frage nach einer ökologischen und klimagerechten Stadtentwicklung an Bedeutung.

Auch auf internationaler Ebene ist im Zuge der weltweiten Diskussion um eine nachhaltige Stadtentwicklung seit einiger Zeit ein steigendes Interesse an der Thematik Natur und Naturschutz in der Stadt zu beobachten.

Ausdruck des erhöhten internationalen Interesses ist zum einen die vom Exekutivsekretär der Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity, CBD) angestoßene Diskussion über die Rolle urbaner Räume für die CBD. Ein Meilenstein in diesem Prozess bedeutet die Verabschiedung des "Plan of action on subnational governments, cities and other local authorities for biodiversity" (Dec. X/22) auf der 10. Vertragsstaatenkonferenz der CBD in Nagoya (CBD 2010). Hauptziel dieses Aktionsplans ist die verstärkte Einbeziehung und Unterstützung subnationaler Regierungsebenen, Städte und anderer lokaler Behörden zum Erreichen der Ziele der CBD und der Umsetzung des strategischen Plans der CBD 2011-2020.

In Hinblick auf den Klimawandel ist das Weißbuch der Europäischen Kommission „Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen“ zu nennen (KOM 2009). Hier werden Anpassungsmöglichkeiten mit Hilfe der so genannten „grünen Infrastruktur“ eine entscheidende Rolle bei der Anpassung zugesprochen. Dabei wird explizit auf die Abkühlungseffekte städtischen Grüns, insbesondere in dicht besiedelten städtischen Gebieten hingewiesen.

Auch in Deutschland stehen Städte und Ballungsräume vor zahlreichen Herausforderungen wie den Auswirkungen des Klimawandels, dem Verlust der biologischen Vielfalt, der fortschreitenden Flächeninanspruchnahme sowie den Folgen des demografischen Wandels. Entsprechende Ziele und Maßnahmen zum Umgang mit diesen Herausforderungen haben Eingang in mehrere Strategien der Bundesregierung gefunden. Zu nennen sind in diesem

Zusammenhang die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2002, die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, welche 2007 vom Bundeskabinett verabschiedet wurde sowie die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel aus dem Jahr 2008.

2. Aktuelle Herausforderungen für Kommunen

2.1 Klimawandel

In Hinblick auf den Klimawandel sind urbane Räume in zweierlei Hinsicht von Bedeutung. So werden Städte und Ballungsräume zum einen am deutlichsten von den Folgen des Klimawandels betroffen sein und zum anderen spielen sie eine zentrale Rolle bei der Realisierung einer klimagerechten Entwicklung.

Bereits heute muss sich eine nachhaltige Stadtentwicklung mit den absehbaren Auswirkungen des Klimawandels auf den Siedlungsraum auseinandersetzen. Aufgrund der im Vergleich zum Umland trockeneren, wärmeren und häufig gestörten Standortverhältnisse sowie erhöhter Schadstoffkonzentrationen, lassen sich an Städten bereits heute die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf Ökosysteme, Biodiversität und Lebensqualität exemplarisch ablesen.

Klimatische Besonderheiten von Städten im Vergleich zum Umland sind hohe Temperaturen, Trockenheit, ein verändertes Windfeld sowie mehr Aerosole, was sie zu bioklimatischen Belastungszonen macht (Bernhofer 1984). Diese Eigenschaften des Stadtklimas haben bereits heute bei zu starker Ausprägung negative Auswirkungen auf die Stadtbewohner sowie auf die städtische Pflanzen- und Tierwelt. Unabhängig von regionalen Unterschieden der Auswirkungen wird der Klimawandel die extremen Standortbedingungen des urbanen Lebensraums grundsätzlich weiter verschärfen. Von besonderer Bedeutung für die Menschen sind dabei die zunehmende Hitzebelastung, die Veränderungen des Niederschlagverhaltens, die Zunahme von Trockenperioden sowie das veränderte Auftreten bestimmter Großwetterlagen (MUNLV 2010).

2.2 Verlust der biologischen Vielfalt

Auch in Hinblick auf die biologische Vielfalt sind Städte und Gemeinden in zweierlei Hinsicht von Bedeutung. Zum einen gelten sie als Orte der Artenvielfalt und der Vielfalt an Lebensräumen, da sie oft ein vielfältiges Mosaik an verschiedenen Standortbedingungen auf engem Raum aufweisen. Die Lage von Städten in oft artenreichen Landschaftsräumen sowie unterschiedlichste Flächennutzungen

schaffen in den Kommunen auf engem Raum verschiedene Nischen und unterschiedlichste Biotope, die vielen Tieren und Pflanzen einen Lebensraum bieten und die es zu erhalten gilt (Werner et al. 2009). Oft weisen Städte und Gemeinden durch dieses kleinteilige Habitatmosaik eine unerwartet hohe Vielfalt an Arten und Lebensräumen auf, wobei einfache quantitative Vergleiche zum Artenreichtum von Städten mit anderen Landschaften dabei nur begrenzt weiterhelfen und eine differenzierte Betrachtung erforderlich ist.

Zum anderen zählt die Urbanisierung jedoch als eine der Hauptursachen für die Gefährdung der biologischen Vielfalt. Durch den Bau von Siedlungen und Verkehrslinien werden Lebensräume unmittelbar zerstört und zerschnitten und angrenzende Gebiete werden zahlreichen Störungen ausgesetzt. In Deutschland sind derzeit 28,4 % der Blütenpflanzen (Ludwig et al. 1996), 38 % der Tierarten (Binot et al. 1998) und 72,5 % der Lebensräume (Riecken et al. 2006) bestandsgefährdet. Mit diesen

Gefährdungsraten erreicht Deutschland mit die höchsten Werte in Europa.

Die Entwicklung des Teilindikators „Siedlungen“ des Indikators zur Artenvielfalt und Landschaftsqualität der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt belegt die Gefährdung der biologischen Vielfalt in Siedlungen. Seiner Berechnung liegt die Entwicklung der Bestände von zehn Vogelarten zu Grunde, die die Lebensraumtypen von Siedlungen repräsentieren (Dohle, Gartenrotschwanz, Girlitz, Grünspecht, Hausrotschwanz, Haussperling, Mauersegler, Mehlschwalbe, Rauchschwalbe, Wendehals). Die Größe der Bestände (nach Anzahl der Reviere bzw. Brutpaare) spiegelt die Eignung des Siedlungsraums als Lebensraum für die Vogelarten wider. Der Teilindikator lag 2008 für Siedlungen bei 59 % des Zielwertes von 2015. Er entwickelte sich in den letzten betrachteten 10 Jahren statistisch signifikant weg vom Ziel (BMU 2010).

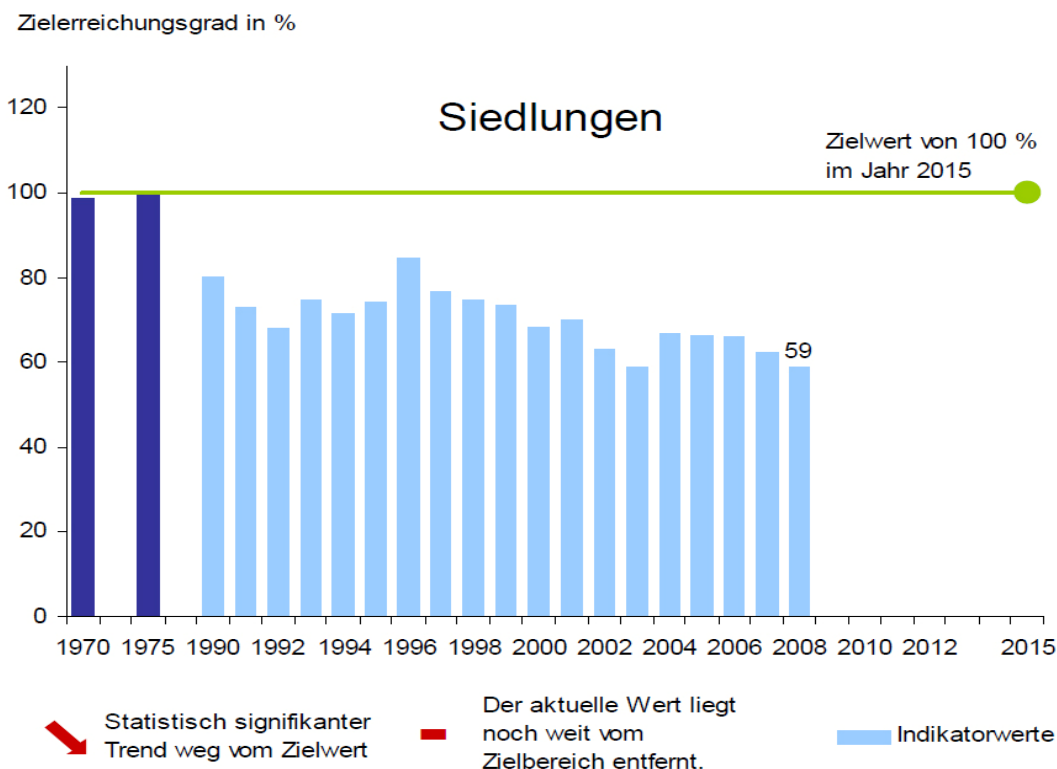
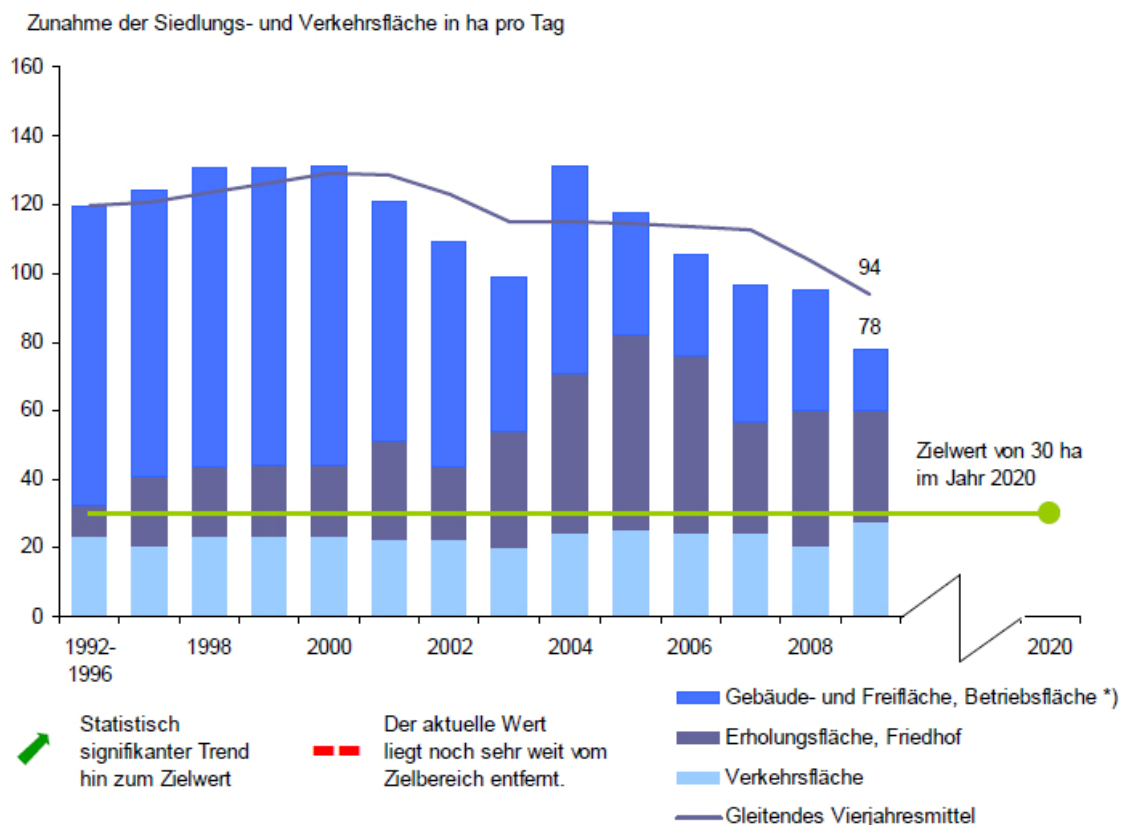


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf des Teilindikators für Siedlungen des Indikators für Artenvielfalt. Die historischen Werte für 1970 und 1975 sind rekonstruiert. Quelle: BMU 2010

2.3 Flächeninanspruchnahme

Eine der Hauptursachen für die Gefährdung der biologischen Vielfalt stellt die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke dar. Zu den direkten Umweltfolgen der Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen zählen der Verlust der natürlichen Bodenfunktionen durch Versiegelung, der Verlust fruchtbarer landwirtschaftlicher Flächen oder der Verlust naturnaher Flächen mit ihrer Biodiversität. Dazu kommen indirekte Folgen, da neue Bauflächen im Umfeld der Städte weiteren Verkehr induzieren, was wiederum zu Flächenzerschneidung, Lärm und Schadstoffemissionen führt (BMU 2010). Während der letzten 60 Jahre haben die Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland in

ihrer Ausdehnung um mehr als das Doppelte zugenommen. Sie bedecken heute rund 13 % (46.000 km²) der Bundesfläche, was in der Größe fast der Landesfläche von Niedersachsen entspricht (UBA 2010). Der als gleitender Vierjahresdurchschnitt berechnete tägliche Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland hat in den Jahren 2006 bis 2009 94 ha/Tag betragen (BMU 2010). Die Flächenzunahme hat sich damit zwar etwas verlangsamt. Die erforderliche Trendwende zum Erreichen des Zielwerts von 30 ha/Tag im Jahr 2020, der in der nationalen Nachhaltigkeits- und der Biodiversitätsstrategie verankert ist, ist jedoch trotz des Bevölkerungsrückgangs (siehe Kap. 2.4) noch nicht vollzogen.



*) Ohne Abbauland

Grafik: BfN (2010), Daten: Statistisches Bundesamt (2009)

Abb. 2: Entwicklung der Flächeninanspruchnahme
Quelle: BMU 2010

2.4 Demografischer Wandel

Eine weitere Herausforderung, der sich viele Städte bereits heute stellen müssen, stellt der demografische Wandel dar, der sowohl aktuell als auch zukünftig die gesellschaftliche, ökonomische und soziale Entwicklung Deutschlands mitbestimmt. Seit 2003 sinkt die Einwohnerzahl Deutschlands. Das Statistische Bundesamt erwartet bei Fortsetzung der derzeitigen demografischen Entwicklung einen weiteren Rückgang von ca. 82 Millionen Menschen im Jahr 2008 auf 65 bis 70 Millionen im Jahr 2060 (Statistisches Bundesamt 2009: 13).

Grundsätzlich kann der demografische Wandel in doppelter Hinsicht Folgen für den Naturschutz haben. Zum einen können sich Veränderungen von Art und Intensität der bisherigen Landnutzung auf den räumlich-materiellen Zustand von Natur und Landschaft auswirken. Zum anderen können sich Folgen durch veränderte gesellschaftliche Rahmenbedingungen ergeben, die den Naturschutz institutionell betreffen (Demuth et al. 2010).

Im Kontext mit der Stadtplanung erscheint vor allem der Aspekt der veränderten Flächennutzung interessant, wobei oft unterschiedliche Trends von Wachstum und Schrumpfung in unmittelbarer Nachbarschaft parallel zueinander stattfinden.

Schrumpfungprozesse stellen die Planung grundsätzlich vor neue Herausforderungen, da Planung bisher vor allem auf den Zuwachs ausgerichtet war. Für den Naturschutz können sich durch den Rückzug jedoch Chancen ergeben, wie z. B. beim Umgang mit Brachflächen im Siedlungsbereich. Der Brachflächenbestand ist seit 1993 ständig gestiegen – auf etwa 150.000 ha Brachflächen im Siedlungsbestand. Davon liegen etwa 114.000 ha in den alten und ca. 36.000 ha in den neuen Bundesländern (UBA 2010). Die brach gefallenen Flächen wirken sich aktuell häufig ungünstig auf die Stadtstruktur und das Stadtbild aus und werden von der Bevölkerung negativ wahrgenommen, obwohl sie erhebliche Potenziale und Chancen für den Stadtumbau, die Erholung, den Klimaschutz und die Luftreinhaltung sowie die biologische Vielfalt der Städte bergen. Die Entwicklung von Freiräumen ist angesichts mangelnder baulicher Nachnutzungsbedarfe eine notwendige Option zum Umgang mit diesen Wohnbaubrachen. Hier eröffnen sich große Chancen für die Entwicklung städtischer Freiräume (vgl. Rößler 2010).

3. Die deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

Im Jahr 2008 wurde die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)“ vom Bundeskabinett beschlossen, welche eine übergeordnete mittelfristige Rahmenstrategie darstellt und Orientierung für die betroffenen Akteure bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels bieten soll. Mit der Anpassungsstrategie an den Klimawandel wird die Forderung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen umgesetzt, geeignete nationale Programme zur Anpassung an den Klimawandel zu erarbeiten. Die Anpassungsstrategie identifiziert Risiken und zeigt den möglichen Handlungsbedarf sowie Ziele und Anpassungsmaßnahmen auf. Dabei geht es zum einen um die Minderung der Verwundbarkeit und zum anderen um die Steigerung der Anpassungsfähigkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme.

In der Anpassungsstrategie werden für 15 Handlungsfelder Klimafolgen konkretisiert und Handlungsoptionen für die Anpassung erörtert. Zu den Handlungsfeldern zählen u. a. menschliche Gesundheit, biologische Vielfalt, Bauwesen sowie das Querschnittsthema Raum-, Regional- und Bauleitplanung. Die Anpassungsstrategie soll andere querschnittsorientierte Strategien wie die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie oder die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, aber auch sektorale Strategien im Hinblick auf die Anpassungsfähigkeit an klimainduzierte Risiken ergänzen und unterstützen.

Eine weitere Ausgestaltung zur Priorisierung und Konkretisierung von Maßnahmen ist mit der Verabschiedung des „Aktionsplans Anpassung“ durch die Bundesregierung im Jahr 2011 geplant.

Grundsätzlich wird die Erhaltung der Biodiversität in der Anpassungsstrategie als eine Voraussetzung angesehen, die Anpassungsfähigkeit natürlicher Systeme zu erhalten. In Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel in Städten und Ballungsräumen werden folgende Aussagen getroffen (Bundesregierung 2008):

- Sicherung der Frischluftzufuhr in Ballungszentren über unverbaute Frischluftkorridore, z. B. durch die Anlage unverbaubarer Frischluftschneisen und extensiver Grünanlagen als „Kälteinseln“
- Eindämmung des Trends einer weiteren Versiegelung von Freiflächen durch Siedlungs- und Verkehrsflächen durch Städteplaner und kommunale Behörden

- stärkere Berücksichtigung klimarelevanter Funktionen von Natur und Freiräumen im Siedlungsbereich mit Hilfe der kommunalen Landschaftsplanung und Eingriffsregelung
- stärkere Berücksichtigung bioklimatischer Belastungsgebiete durch die Raumordnung bei der Steuerung der Siedlungsentwicklung unter dem Aspekt der Gesundheit.

In Bezug zum Klimaschutz wird in der Anpassungsstrategie darauf hingewiesen, dass die geforderte sinnvolle Verknüpfung von Klimaschutz- und Anpassungsstrategien durchaus zu Zielkonflikten führen kann, z. B. wenn es um die Verdichtung von Stadtstrukturen versus Freihaltung von Flächen geht.

4. Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt

Mit der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS), welche 2007 vom Bundeskabinett beschlossen wurde, liegt in Deutschland erstmals eine umfassende und anspruchsvolle Strategie zur Umsetzung des UN-Übereinkommens über die biologische Vielfalt vor. Die deutsche Biodiversitätsstrategie besteht aus einem System von Visionen, konkreten Qualitäts- und Handlungszielen, die meistens mit genauen Zieljahren versehen sind und konkreten Maßnahmen zur Erreichung der Ziele.

Es ist wichtig zu betonen, dass die Strategie eine gesamtgesellschaftliche Strategie ist, die sich an alle gesellschaftlichen Akteure wendet und zahlreiche Ansätze für gesellschaftliche Handlungsweisen enthält.

Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt verfolgt einen umfassenden Ansatz, der gleichermaßen dem Schutz von Arten und Lebensräumen wie der nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt und der damit verbundenen Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität der Menschen auch im Siedlungsbereich dient. So widmet die Strategie den urbanen Landschaften und den Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung des Siedlungsbereichs ganz bewusst ein eigenes Kapitel, in dem die folgende Vision formuliert ist: „Unsere Städte weisen eine hohe Lebensqualität für die Menschen auf und bieten vielen, auch seltenen und gefährdeten Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum. Vielfältiges Grün verbessert Luftqualität und Stadtklima. Es bietet umfassende Möglichkeiten für Erholung, Spiel und Naturerleben für Jung und Alt“ (BMU 2007: 42). Unter setzt wird diese Vision mit konkreten Zielen und Maßnahmen.

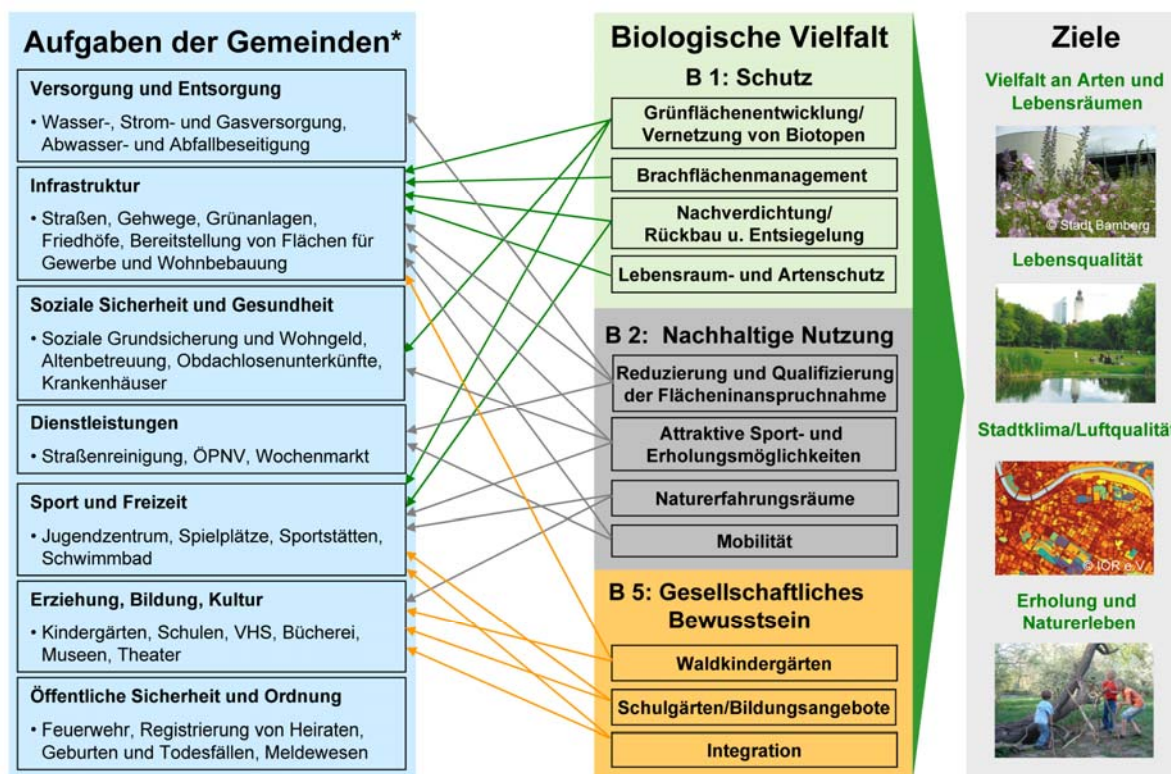
So soll beispielsweise die Durchgrünung der Siedlungen einschließlich des wohnumfeldnahen Grüns bis 2020 deutlich erhöht und zugleich auch der Lebensraum (stadt-)typischer und gefährdeter Arten in der Stadt erhalten bzw. erweitert werden. Folgende Ansätze sollen der Umsetzung der Vision und Ziele dienen:

- Nutzung der bestehenden Instrumente der Landschaftsplanung, Grünordnungsplanung und Bauleitplanung zur Entwicklung des städtischen Grüns und zur Vernetzung von Biotopen auch in urbanen und suburbanen Räumen
- Stärkere Berücksichtigung von Brachen und Baulücken bei der Nachverdichtung oder ökologischen Aufwertung von Wohnquartieren
- Nutzung vorhandener Möglichkeiten, um die direkte Umgebung von Wohngebäuden zu verbessern, z. B. durch Entsiegelung, Hof- und Gebäudebeegrünung, Rückbau und Beruhigung von Straßen.

4.1 Dialogforum „Biologische Vielfalt in Kommunen“

Die erfolgreiche Umsetzung der Strategie kann nur unter Einbeziehung aller angesprochenen Akteure gelingen. Kommunen sind dabei besonders wichtige Partner, da ihr Handeln vor Ort für den Erhalt der biologischen Vielfalt entscheidend ist. Sie repräsentieren die politische Ebene, die den Menschen am nächsten steht. Sie spielen angesichts ihrer umfassenden Aufgaben in Planung, Verwaltung und Politik und der damit verbundenen Entscheidung über den Umgang mit Natur und Landschaft vor Ort eine wichtige Rolle beim Erhalt der Biologischen Vielfalt und haben die Verantwortung, das öffentliche Bewusstsein zur Bedeutung der Biologischen Vielfalt zu stärken. Darüber hinaus führen Aktivitäten vor Ort zu konkreten Ergebnissen, die anderen Akteuren als Vorbild dienen und wichtige Impulse auf höhere politische Ebenen senden können. Die Vision und Ziele der Biodiversitätsstrategie bieten zahlreiche Anknüpfungspunkte an die Aufgaben der Kommunen (siehe Abb. 3).

Im internationalen Jahr der biologischen Vielfalt initiierte das Bundesamt für Naturschutz (BfN) gemeinsam mit der Deutschen Umwelthilfe (DUH) das Dialogforum „Biologische Vielfalt in Kommunen“. Im Ergebnis des Auftakttreffens wurde am 22. Mai 2010 die Deklaration „Biologische Vielfalt in Kommunen“ veröffentlicht, welche eine Selbstverpflichtung für



*eig. Darstellung nach Landeszentrale für politische Bildung BW

Abb. 3: Verknüpfung der Ziele der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt mit den Aufgaben der Gemeinden

die Kommunen zum aktiven Handeln darstellt. Die Deklaration enthält eine grundsätzliche Willensbekundung für den Erhalt der biologischen Vielfalt auf kommunaler Ebene. Konkrete Handlungsansätze und Maßnahmenvorschläge, welche sich aus der Strategie zur biologischen Vielfalt ableiten, sind für folgende Bereiche formuliert:

- Grün- und Freiflächen im Siedlungsbereich
- Arten- und Biotopschutz
- Nachhaltige Nutzung
- Bewusstseinsbildung und Kooperation.

Diese Selbstverpflichtung für die Kommunen zum aktiven Handeln wurde mittlerweile von 187 Kommunen aus dem ganzen Bundesgebiet unterzeichnet (Stand Januar 2011). Das Dialogforum und die Deklaration bilden den Auftakt eines langfristig ausgerichteten Prozesses. Die unterzeichnenden Kommunen haben sich dafür ausgesprochen, sich in einem kommunalen Bündnis für biologische Vielfalt zusammenzuschließen, welches von aktiven

Städten, Gemeinden und Landkreisen getragen wird. Dieses Bündnis soll eine Plattform für die interkommunale Zusammenarbeit bilden und damit dem Informations- und Erfahrungsaustausch sowie der bundesweiten Verbreitung und Initiierung guter Beispiele zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt dienen.

Von der Vernetzung im Themen- und Aufgabenbereich biologische Vielfalt verbinden sich für die Kommunen im Wesentlichen folgende Erwartungen und Ziele:

- Interkommunaler Fach- und Erfahrungsaustausch
- Stärkung des Themas in der öffentlichen Wahrnehmung sowie in Politik und Verwaltung
- Vertretung der Interessen gegenüber der Europäischen Union, Bund und Ländern
- Initiierung gemeinsamer Aktionen und Umsetzungsprojekte.

Aktuell wird die Gründung des Bündnisses vorbereitet, die voraussichtlich im Herbst 2011 stattfinden soll. Das Bundesamt für Naturschutz ist bereit, sowohl die Gründung des

Bündnisses als auch die Arbeit des Bündnisses in der Anfangsphase weiterhin zu unterstützen.

4.2 Bundesprogramm „Biologische Vielfalt“

Im Koalitionsvertrag von 2009 hat die Bundesregierung beschlossen, die Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt in den kommenden Jahren durch ein neues Bundesförderprogramm zu unterstützen.

Das Bundesprogramm Biologische Vielfalt soll folgende vier Förderschwerpunkte enthalten:

- Arten in besonderer Verantwortung Deutschlands
- Hot Spots der biologischen Vielfalt in Deutschland
- die Sicherung von Ökosystemdienstleistungen
- weitere Maßnahmen von besonderer Bedeutung für die Strategie.

Dabei können insbesondere unter dem dritten Förderschwerpunkt auch Projekte zur Sicherung der Ökosystemdienstleistungen von städtischen Grünräumen einbezogen werden (z. B. Klimaregulation, Immissionsschutz/Verbesserung der Luftqualität, Sicherung der natürlichen Wasser- und Stoffkreisläufe im Siedlungsbereich, Arten- und Biotopschutz sowie Funktionen für Erholung und Naturerlebnis). Das Bundesprogramm soll möglichst viele Akteure ansprechen, um ein breites gesellschaftliches Engagement für die biologische Vielfalt zu fördern. Die konkreten Fördermodalitäten werden in einer Förderrichtlinie festgelegt.

5. Die Nachhaltigkeitsstrategie

Als dritte bundespolitische Strategie mit Bedeutung für die Natur der Stadt ist die Nachhaltigkeitsstrategie zu nennen.

Basierend auf der Konferenz und Erklärung von Rio de Janeiro hat die Bundesrepublik im Jahr 2002 die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie beschlossen, welche Prioritäten, Ziele und Maßnahmen einer nachhaltigen Entwicklung formuliert.

In der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie wird auf die biologische Vielfalt als Voraussetzung einer nachhaltigen Entwicklung eingegangen. Dabei unterstützen die Leitbilder

- „Natürliche Lebensgrundlage erhalten“
- „Umwelt schützen – Natur genießen“

das Ziel des Erhalts der Artenvielfalt (Bundesregierung 2002).

Ein Schwerpunkt der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie ist das Thema Flächennutzung und Flächenschutz im Rahmen der Siedlungsentwicklung. Denn nicht baulich genutzte Flächen und unversiegelte Böden sind eine Ressource, die es zu erhalten gilt, um die Leistungen des Naturhaushaltes für den Menschen zu sichern, die biologische Vielfalt zu erhalten und dem Menschen die Erholung in der freien Natur und auf Freiflächen zu ermöglichen (BfN 2008). Ein zentrales Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie ist es daher, die tägliche Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke auf 30 Hektar pro Tag bis zum Jahr 2020 zu reduzieren („30-ha-Ziel“). Dabei soll der Innenentwicklung städtischer Bereiche Vorrang gegenüber einer baulichen Außenbereichsentwicklung eingeräumt werden, wobei ein Verhältnis von 3:1 angestrebt wird. Außerdem soll die räumliche Verteilung vom zukünftigen Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsfläche in einer „dezentralen Konzentration“ erfolgen.

Die Ziele zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme wurden in die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt übernommen.

6. Fazit

Angesichts der Konzentration der Mehrheit der Bevölkerung Deutschlands in Städten und Ballungsräumen gilt es, biologische Vielfalt und Freiraumqualitäten gerade auch im Siedlungs- und Stadt-Umlandbereich zu sichern und zu entwickeln. Mit dem Schutz der Natur in der Stadt verbindet sich eine Vielzahl weiterer, übergeordneter Ziele als Beitrag für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Dazu gehören im Wesentlichen:

- Erhalt der biologischen Vielfalt
- Reduzierung und Qualifizierung der Flächeninanspruchnahme
- Klimaschutz/Anpassung an den Klimawandel
- Verbesserung der Lebensqualität/ Erholung
- Umweltbildung, Steigerung der Akzeptanz für den Naturschutz.

Zwischen diesen Zielen ergeben sich vielfältige Synergien. In Hinblick auf den Klimawandel unterstützen die Bewahrung und Schaffung von Grünräumen, Kaltluft- und Vernetzungskorridoren, die Pflanzung von Straßenbäumen, und die Revitalisierung städtischer Gewässer die Anpassung und leisten gleichzeitig einen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität und damit insgesamt zur Verbesserung der Lebensqualität in Städten. Einerseits gewinnen

die bekannten Wohlfahrtfunktionen von Stadtgrün angesichts der Notwendigkeit zur Anpassung an den Klimawandel an Bedeutung und dienen als wesentliche Argumentationsgrundlage für den Stadtnaturschutz. Andererseits kann ein wirksamer Stadtnaturschutz mit Biodiversität als Zielgröße die Anpassung an die Folgen des Klimawandels, z. B. zur Verbesserung des Lokalklimas unterstützen (Doyle et al. 2006).

In Hinblick auf die Reduzierung und Qualifizierung der Flächeninanspruchnahme werden Innenentwicklung und Nachverdichtungen im Bestand seitens des Naturschutzes und der Landschaftspflege unterstützt, um die verschiedenen ökologischen Funktionen von Böden und un bebauter Landschaft für Mensch und Biodiversität langfristig zu erhalten. Mit einer intensiveren Nutzung der innergemeindlichen Bauflächenpotenziale muss jedoch parallel gleichzeitig auch die naturschutzfachliche und ästhetische Qualität der innerstädtischen Wohnstandorte erhalten und verbessert werden. Hier gilt es das Leitbild einer „doppelten Innenentwicklung“ umzusetzen, wonach die Verdichtung im Bestand gekoppelt wird mit einer Erhaltung und Verbesserung von Qualität, Angebot und Nutzbarkeit von Grünelementen und Freiflächen (BfN 2008). Ohne eine

Berücksichtigung der Wohnumfeldqualität wird eine Nachverdichtung nicht erfolgreich sein, weil ein wichtiger Grund für die Abwanderung der Bevölkerung aus innerstädtischen Bereichen gerade die mangelnde Umweltqualität darstellt.

Sowohl in Bezug auf die Reduzierung und Qualifizierung der Flächeninanspruchnahme als auch im Zuge der Anpassung an den Klimawandel gewinnt schließlich der Umgang mit Brachflächen als so genannter Stadtnatur der vierten Art (Kowarik et al. 2005) an Bedeutung. Nicht zuletzt ist es für den Naturschutz von Bedeutung, den Themenbereich Stadtnaturschutz zu nutzen, um zur Bewusstseins-schaffung und Umweltbildung beizutragen. Wie die Ergebnisse der Befragung im Rahmen der ersten Naturbewusstseinsstudie belegen, zählen private Gärten sowie öffentliche Park- und Grünanlagen nach Wäldern und Feldern zu den am häufigsten aufgesuchten Orten, wenn es um den Aufenthalt „in der Natur“ geht (BfN 2010). Somit kann durch den direkten Zugang zu großen Bevölkerungsteilen das Bewusstsein für die Wohlfahrtfunktionen von Natur in der Stadt geschaffen bzw. erhöht werden, aber auch ein Beitrag zur Akzeptanzsteigerung für den Naturschutz insgesamt geleistet werden.

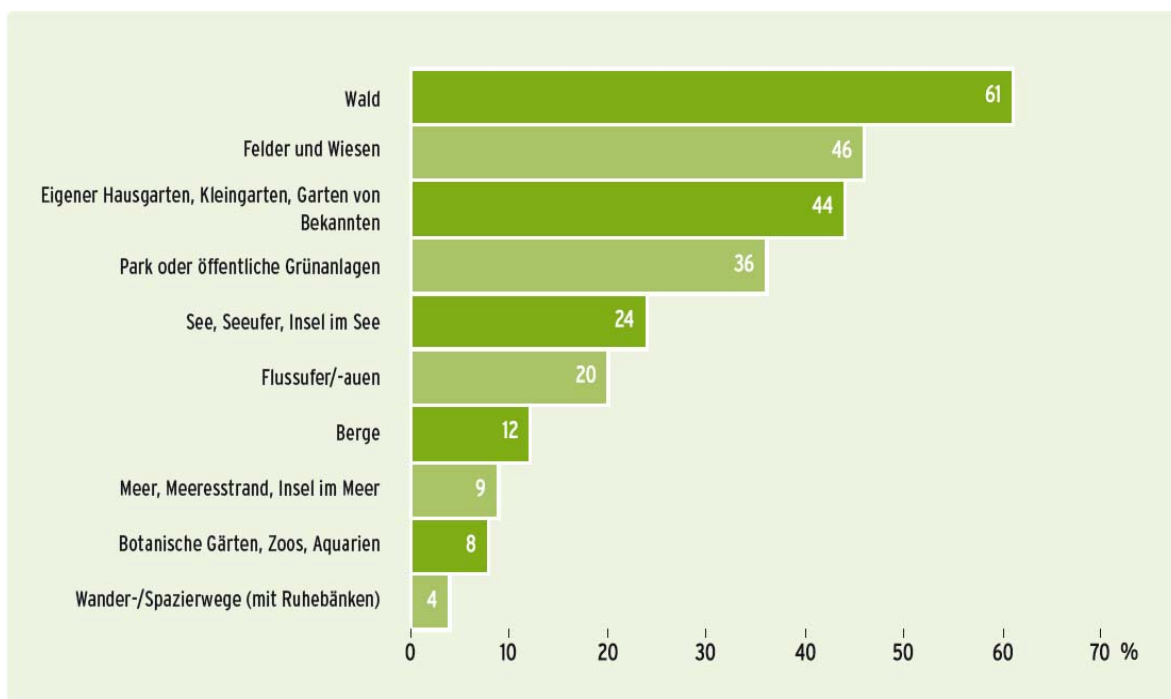


Abb. 4: Aufgesuchte Orte in der Natur. Darstellung der Antworten auf die Frage: Wenn Sie nach draußen in die Natur gehen, wohin gehen Sie dann normalerweise? (Mehrfachnennungen möglich)
Quelle: BfN

2010

Entsprechend gilt es, den Naturschutz als wesentlichen Akteur einer nachhaltigen Stadtentwicklung zu verankern. Dazu gehört, entsprechende Beiträge und Strategien zum Umgang mit den aufgezeigten aktuellen Herausforderungen – d. h. zur Anpassung an den Klimawandel, zum Umgang mit den räumlichen Folgen des demografischen Wandels sowie zur Reduzierung und Qualifizierung der Flächeninanspruchnahme – und damit nicht nur zum Erhalt und zur Entwicklung von Rückzugsräumen für Tiere und Pflanzen im urbanen Raum, sondern insbesondere zur Erhaltung und Verbesserung der Lebens- und Wohnumfeldqualitäten zu entwickeln.

In diesem Sinne ist es daher sehr positiv zu beurteilen, dass die Natur der Stadt und ihre wichtigen Funktionen auf bundespolitischer Ebene mehr und mehr Berücksichtigung finden, wie die vorgestellten Strategien zeigen. Es gilt, die hier festgelegten Rahmenbedingungen und Ziele auf der lokalen Ebene auszufüllen und umzusetzen.

Literatur

- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2010): Laufende Raumb Beobachtung. Abrufbar unter http://www.bbsr.bund.de/nn_103086/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Werkzeuge/Raum abgrenzungen/StadregionalePendlerEB/stadregionen.html (aufgerufen am 14.01.2011)
- Bernhofer, C. (1984): Jahreszeitliche und tägliche Variationen einer städtischen Wärmeinsel aufgrund von Topographie und Windverhältnissen. - Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B. (34): 121-139.
- Binot, M., Bless, R., Boye, P., Gruttke, H., Pretscher, P. (Bearb.) (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands.
- Bundesamt für Naturschutz (2008): Stärkung des Instrumentariums zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. Positionspapier. Abrufbar unter http://www.bfn.de/01_positionspapiere.html (aufgerufen am 14.01.2011)
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2010): Naturbewusstsein 2009. Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt. Abrufbar unter <http://www.biologisheviefalt.de/9072.html> (aufgerufen am 14.01.2011)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Bonn. Abrufbar unter <http://www.biologisheviefalt.de/7745.html> (aufgerufen am 14.01.2011)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2010): Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Abrufbar unter <http://www.biologisheviefalt.de/7743.html> (aufgerufen am 14.01.2011)
- Bundesregierung (2002): Nachhaltigkeitsstrategie. Bonn.
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Abrufbar unter <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php> (aufgerufen am 14.01.2011)
- Convention on Biological Diversity (CBD) (2010): Plan of action on subnational governments, cities and other local authorities for biodiversity. 10. Vertragsstaatenkonferenz der CBD in Nagoya. Abrufbar unter <https://www.cbd.int/strategicplan.shtml> (aufgerufen am 14.01.2011)
- Demuth, B.; Moorfeld, M.; Heiland, S. (2010): Demografischer Wandel und Naturschutz. Naturschutz und Biologische Vielfalt Band 88. Münster.
- Doyle, U.; Ristow, M. (2006): Biodiversitäts- und Naturschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels. Für einen dynamischen integrativen Schutz der biologischen Vielfalt. - Naturschutz und Landschaftsplanung 38 (4): 101-106.
- Europäische Kommission (KOM) (2009): Weißbuch zur Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen. Brüssel.
- Kowarik, I. & Körner, S. (Hrsg.) (2005): Wild urban woodlands. New perspectives for urban forestry. Springer, Heidelberg.
- Ludwig, G., Schnittler, M. (Bearb.) (1996): Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands.
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) (2010): Handbuch Stadtklima. Düsseldorf. Abrufbar unter www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/handbuch_stadtklima.pdf (aufgerufen am 14.01.2011)
- Riecken, U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E., Ssymank, A. (2006): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung 2006. BfN. Bonn Bad Godesberg.
- Rößler, S. (2010): Freiräume in schrumpfenden Städten : Chancen und Grenzen der Freiraumplanung im Stadtbau. Berlin

Statistisches Bundesamt (2009): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 18. November 2009 in Berlin. Abrufbar unter http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pk/2009/Bevoelkerung/pressebroschuere__bevoelkerungsentwicklung2009,templateld=renderPrint.psml

Statistisches Bundesamt (2010): <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Aktuell,templateld=renderPrint.psml> (aufgerufen am 14.01.2011)

Umweltbundesamt (UBA) (2010): Flächenverbrauch einschränken – jetzt handeln. Papier der Kommission Bodenschutz des Umweltbundesamtes (KBU). Abrufbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/kbu/download.htm> (aufgerufen am 14.01.2011)

Werner, P.; Zahner, R. (2009): Biologische Vielfalt und Städte. Eine Übersicht und Bibliografie. BfN-Skript 245. Abrufbar unter http://www.bfn.de/0321_veroe.html (aufgerufen am 14.01.2011)

Autorenanschrift:

Alice Kube
Bundesamt für Naturschutz
Außenstelle Leipzig
Karl-Liebknecht-Str. 143
04277 Leipzig
Alice.Kube@BfN.de

Ausbreitung nicht-einheimischer Zier- und Nutzgehölze in urbanen Wäldern im Ruhrgebiet - eine Auswirkung der Klimaerwärmung?

Expansion of non-native ornamental and agricultural woody species in urban forests in the Ruhr Basin – an effect of climate change ?

INGO HETZEL

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden in insgesamt 85 urbanen und peri-urbanen Wäldern im Mittleren Ruhrgebiet zwischen 2008 und 2011 wärmeliebende, nicht-einheimische Zier- und Nutzgehölze nachgewiesen. Die Beobachtungen lassen vermuten, dass es sich um eine Folge der Klimaerwärmung handeln könnte. Darüber hinaus ist jedoch anzunehmen, dass auch weitere Komponenten für die Ausbreitung von Bedeutung sind. Die Besonderheit der urbanen Wälder im Ruhrgebiet sowie die Ergebnisse der Untersuchungen werden vorgestellt und der Zusammenhang zwischen der Expansion von *Juglans regia* (Walnussbaum), *Prunus laurocerasus* (Lorbeerkirsche), *Castanea sativa* (Esskastanie) und *Aucuba japonica* (Japanische Aukube) mit der Klimaerwärmung wird diskutiert.

Klimawandel, Verwilderung, urbane Wälder, Gehölzsippen, Ruhrgebiet, Laurophyllisierung

Summary

The following report deals with observations of the spontaneous expansion of thermophile or evergreen non-native ornamental and agricultural woody species in urban and peri-urban woodland of the central Ruhr Basin. From 2008 to 2011 forest-sightings were carried out in 85 different urban and peri-urban woodland locations. It seems climate change is the most relevant factor leading to the expansion of thermophile or evergreen species. Nevertheless, further potential causes shall be presented here. The specific characteristics of urban forest ecosystems of the Ruhr Basin will be described discussing the correlation between the expansion of *Juglans regia* (Walnut), *Prunus laurocerasus* (Cherry Laurel), *Castanea sativa* (European Chestnut), *Aucuba japonica* (Spotted Laurel) and climate change.

1. Einleitung

Nachdem der erste Bericht des IPCC (1990) eine anthropogene Klimaerwärmung bestätigen konnte, halten inzwischen fast alle Klimatologen dieses globale Phänomen für erwiesen oder zumindest höchstwahrscheinlich. Mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. zehn Jahren rückten zu Beginn des Jahrhunderts schließlich auch Untersuchungen zu Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Flora und Vegetation in den Blickpunkt des wissenschaftlichen Interesses (vgl. z. B. Sukopp & Wurzel 1995, Walther et al. 2002, Root et al. 2003). Speziell die Ausbreitung immergrüner „laurophyller“ Gehölzsippen wird häufig als Indikator für einen Anstieg der Temperaturen herangezogen und als Teil eines Prozesses bewertet, der nach Klötzli et al. (1996) als „Laurophyllisierung“ bezeichnet wird. Neben immergrünen Arten sind es jedoch auch „wärmeliebende“ winterkahle Gehölzsippen, die in den letzten Jahren verstärkt die heimische Flora bereichern. Insbesondere in den durch angrenzende Gärten geprägten urbanen Stadt-

wäldern des Ruhrgebiets ist das Phänomen der spontanen Verwilderungen mittlerweile weit verbreitet (vgl. auch Fuchs et al. 2006). Der folgende Beitrag soll einen Einblick in die ersten Ergebnisse eines Forschungsprojektes geben, bei dem aufbauend auf frühere Ergebnisse von Gausmann et al. (2007) seit dem Jahr 2008 intensive Untersuchungen zu verwildernden Gehölzsippen im Mittleren Ruhrgebiet durchgeführt werden.

2. Urbane Wälder im Ruhrgebiet

Das Ruhrgebiet stellt mit insgesamt ca. 5,2 Mio. Einwohnern (RVR 2010) einen Ballungsraum von zusammengewachsenen aber selbstständigen Städten und Kreisen dar. Daher ist es nicht einfach, eine einheitliche Definition für diese „lose“ Wirtschaftslandschaft zu finden. Offiziell gilt das Verbandsgebiet des Regionalverbandes Ruhr (RVR), das neuerdings auch „Metropole Ruhr“ genannt wird, als Bezugsraum (Abb. 1). Da in diesem Gebiet jedoch auch Gemeinden integriert sind, die eine große Entfernung von der zentralen städ-

tischen Agglomeration aufweisen und dadurch stark ländlich geprägt sind, ist eine Vergleichbarkeit mit anderen (monozentrischen) Großstädten nur sehr eingeschränkt möglich. Wie Abb. 2 verdeutlicht, beträgt die Bevölkerungsdichte im RVR im Mittel 1.200 Ew. / km², die Schwankungsbreite ist zwischen 120 und 3.300 Ew. / km² jedoch ausgesprochen groß. Das gleiche gilt für den Waldanteil (18 %), bei dem die Schwankungsbreite (5 bis 46 %) noch deutlicher ausfällt.

Für die vorliegende Untersuchung wurde ein Gebiet innerhalb des RVR gewählt, das die zentrale städtische Agglomeration berücksichtigt, die ländlichen Regionen jedoch ausspart.

Es handelt sich um die Stadtgebiete von Recklinghausen, Herten, Herne und Bochum, im Folgenden als „Mittleres Ruhrgebiet“ bezeichnet (vgl. Abb. 1). Das Mittlere Ruhrgebiet weist mit ca. 730.000 Einwohnern im Vergleich mit den zehn einwohnerstärksten deutschen Großstädten zwar eine überraschend geringe Bevölkerungsdichte auf, mit 2.300 Ew. / km² liegt diese jedoch trotzdem um mehr als das vierfache höher als der Durchschnitt für Nordrhein-Westfalen (520 Ew. / km²). In Bezug auf den Anteil der Waldfläche weist das Mittlere Ruhrgebiet mit 7 % einen geringen Wert auf, der von zahlreichen deutschen Großstädten um mehr als das Doppelte übertroffen wird (Abb. 2).

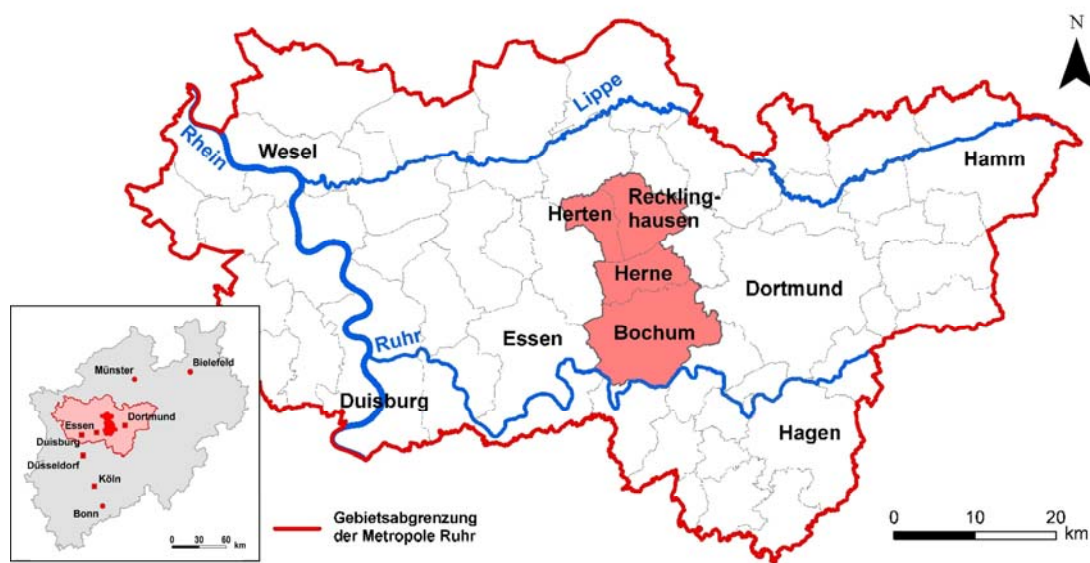
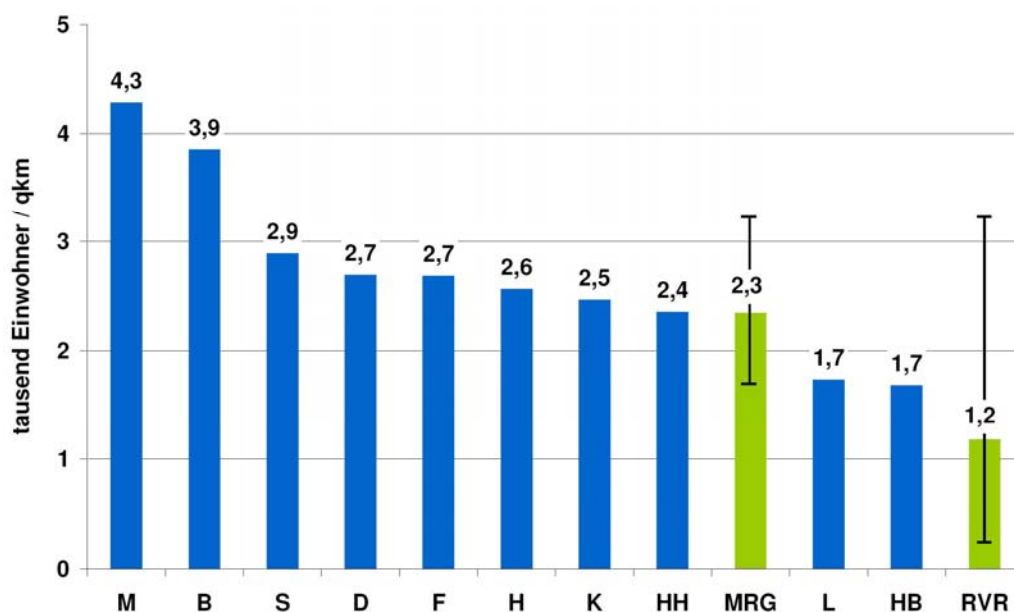


Abb. 1: Untersuchungsgebiet „Mittleres Ruhrgebiet“ innerhalb der „Metropole Ruhr“ (Regionalverband Ruhrgebiet)



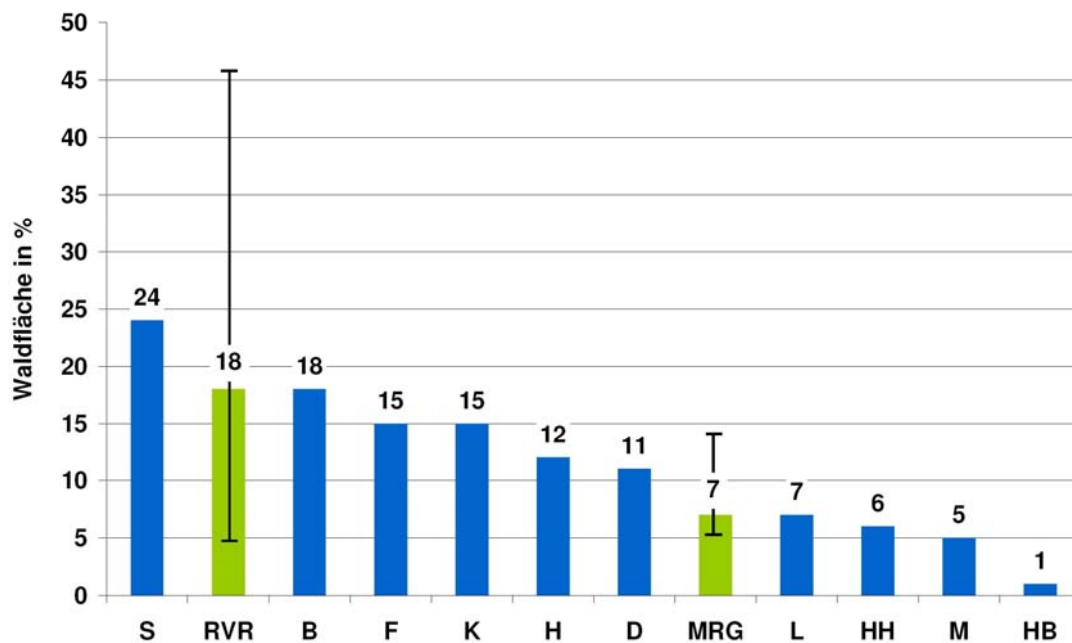


Abb. 2: Bevölkerungsdichte und Waldflächenanteil im Ruhrgebiet im Vergleich mit den zehn einwohnerstärksten deutschen Großstädten (Quellen: Statistisches Bundesamt 2010, RVR 2010, STATISTIKSTELLE DER STADT HANNOVER 2010; Stand jeweils 31.12.2008)

M: München, **B:** Berlin, **S:** Stuttgart, **D:** Düsseldorf, **F:** Frankfurt/Main, **H:** Hannover, **K:** Köln, **HH:** Hamburg, **MRG:** Mittleres Ruhrgebiet, **L:** Leipzig, **HB:** Bremen, **RVR:** Regionalverband Ruhrgebiet („Metropole Ruhr“)

Das Zusammenspiel zwischen insgesamt hoher, im Vergleich mit anderen deutschen Großstädten jedoch eher geringerer Bevölkerungsdichte bei gleichzeitig geringem Waldanteil deutet die Besonderheit der urbanen bis peri-urbanen (Stadt-)Wälder (Bezeichnung in Anlehnung an Kowarik 2005) im Mittleren Ruhrgebiet an: auch wenn es wenige größere Waldbereiche gibt, so existieren innerhalb und am Rand der Siedlungsflächen zahlreiche nur wenige Hektar große, verstreut liegende und dadurch isolierte Waldinseln. Diese Verteilung liegt in der polyzentrischen Siedlungsentwicklung des Ruhrgebietes begründet, bei der einzelne Gemeinden, angetrieben durch den Bedarf an Arbeitskräften für die Kohle- und Stahlindustrie während der Industrialisierung, unabhängig voneinander stark gewachsen sind. Zwischen 1820 und 1970 stieg dabei die Zahl der Einwohner in nur 150 Jahren auf das zwanzigfache an (vgl. Dege & Dege 1983). Aufgrund dieses häufig planlosen Wachstums verblieben zwischen den Städten und Stadtteilen häufig unbebaute Bereiche, in denen heute neben lockerer Vorortbebauung oder landwirtschaftlicher Nutzung auch häufig Waldflächen zu finden sind. Bei diesen Wäldern handelt es

sich nach einer Definition von Dohlen (2006: 7, verändert nach Kreft 1993) um „anthropogen stark geprägte und beeinflusste Flächen, die Teil des urban-industriellen Ökosystems sind und einen eigenständigen Ökosystem- und Stadtstrukturtyp darstellen“. Kennzeichen dieser (peri-)urbanen Wälder im Mittleren Ruhrgebiet sind:

- geringe Größe und Isolation innerhalb bzw. am Rand von Bebauung und Straßen,
- Begünstigung durch städtische Überwärmung speziell im Winter (Pufferung von extremen Wintertemperaturen),
- kaum Verbiss aufgrund fehlender bis sehr geringer Schalenwildichte,
- Eutrophierung und Trittbelastung durch hohen Erholungsdruck und extrem dichtes Wegenetz (starke Veränderung der Kraut- und Strauchschicht),
- hohe Dichte von (unmittelbar) angrenzenden Gärten,
- hohe Wahrscheinlichkeit der Ausbreitung und des Verbleibs nicht-einheimischer Pflanzenarten (Zier- und Nutzgehölze) direkt durch Grünabfall oder indirekt durch Gartenflucht.

3. Nicht-einheimische Zier- und Nutzgehölze in urbanen Wäldern im Mittleren Ruhrgebiet

3.1 Methodisches Vorgehen

Bei der vorliegenden Untersuchung stand die Frage im Mittelpunkt, welche wärmeliebenden und immergrünen nicht-einheimischen Zier- und Nutzgehölze in den Resten ursprünglicher Wälder sowie in halbnatürlichen Laubholzforsten im Mittleren Ruhrgebiet verwildern. Hierzu wurden in den Jahren 2008 bis 2011 insgesamt 114 urbane bis peri-urbane Wälder im Mittleren Ruhrgebiet hinsichtlich des Auftretens dieser Sippen untersucht (vgl. Abb. 1). Bei den untersuchten Standorten handelte es sich ausschließlich um Wälder auf natürlich gewachsenen Böden.

3.2 Ergebnisse und Diskussion

Wärmeliebende Gehölzsippen

Wie Tab. 1 verdeutlicht, konnten in den untersuchten Wäldern insgesamt 16 Gehölzsippen kartiert werden, die ausgehend von der Einteilung Mitteleuropas in Winterhärtezonen (WHZ) nach Heinze & Schreiber (1984) und den Zeigerwerten nach Ellenberg (1992) als (tendenziell) „wärmeliebend“ gelten und/oder immergrün sind (vgl. auch Fuchs et al. 2006). Es fällt auf, dass die Gewöhnliche Mahonie (*Mahonia aquifolium*) in lediglich neun Waldgebieten verwildert festgestellt werden konnte. Dies ist insofern überraschend als dieser Neophyt in Nordrhein-Westfalen als weit verbreitet und eingebürgert gilt. Im Mittleren Ruhrgebiet trifft diese Beobachtung jedoch vor allem auf sehr kleine, meist linienhafte Siedlungsgehölze zu, die aufgrund eines fehlenden Waldcharakters nicht als „urbane Wälder“ bezeichnet werden können.

Tab 1: Nicht-einheimische „wärmeliebende“ und/oder immergrüne Zier- und Nutzgehölze in urbanen und peri-urbanen Wäldern im Mittleren Ruhrgebiet

Gehölzsippe	Häufigkeit ¹ (n = 114)	Status ²	Ausbreitung ³	WHZ ⁴	T ⁵	Wärmezeiger / Immergrüne ⁶
<i>Juglans regia</i> (Walnussbaum)	80	S	g	6a	8	W
<i>Taxus baccata</i> (Europäische Eibe)	47	S	g	6a	5	(W), I
<i>Prunus laurocerasus</i> (Lorbeerkirsche)	24	S	g, v	7a	-	W, I
<i>Euonymus fortunei</i> (Klett. Spindelstrauch)	20	S	v, (g)	6b	-	(W), I
<i>Lonicera pileata / nitida</i> (Heckenkirsche)	18	S	v, (g)	6b / 7a	-	(W), I
<i>Castanea sativa</i> (Esskastanie)	16	S	g	6b	8	W
<i>Aucuba japonica</i> (Japanische Aukube)	10	S	g, v	8a	-	W, I
<i>Mahonia aquifolium</i> (Gewöhnliche Mahonie)	9	S, E	g	5b	-	I
<i>Pachysandra terminalis</i> (Japan. Ysander)	6	S	v, (g)	5b		I
<i>Vinca minor</i> (Kleines Immergrün)	6	E	v, (g)	6b	6	(W), I
<i>Buxus sempervirens</i> (Buchsbaum)	4	S	v	6b	8	(W), I
<i>Viburnum rhytidophyllum</i> (Runz. Schneeball)	2	S	v (g)	6b	-	I
<i>Pyracantha coccinea</i> (Mittelmeer-Feuerdorn)	1	S	g, v	6b	-	(W), I
<i>Lonicera henryi</i> (Henrys Geißblatt)	1	S	v	6b	-	I
<i>Berberis julianae</i> (Julianes Berberitze)	1	S	v, (g)	6a	-	I
<i>Hedera colchica</i> (Kolchischer Efeu)	1	S	v	7a	-	(W), I

¹ Häufigkeit = Auftreten in unterschiedlichen Waldflächen (n = 114)

² E: eingebürgerter Neophyt, S: Status unklar (spontaneosynthrop)

³ g: generative Ausbreitung über Samen, (g): generative Ausbreitung möglich, v: vegetative Ausbreitung (Gartenabfall)

⁴ Winterhärtezonen (WHZ) nach Angaben von Roloff & Bärtels 2008: 5b: -26,0 bis -23,5° C (tmin/J), 6a: -23,3 bis -20,6° C (tmin/J), 6b: -20,5 bis -17,8° C (tmin/J), 7a: -17,7 bis -15,0° C (tmin/J), 8a: -12,2 bis -9,5° C (tmin/J)

⁵ Temperaturzahl (T) nach ELLENBERG (1992): 5: Mäßigwärmezeiger, 6: Mäßigwärme- bis Wärmezeiger, 7: Wärmezeiger, 8: Wärme- bis Extremwärmezeiger

⁶ W: Wärmezeiger, (W): tendenziell Wärmezeiger, I: immergrün

Als für das Untersuchungsgebiet relevante „echte“ Wärmezeiger, die mindestens eine Temperaturzahl nach Ellenberg (1992) von „7“ („Wärmezeiger“) aufweisen und/oder von Roloff & Bärtels (2008) mindestens der WHZ „7a“ (vgl. Tab. 1) zugeordnet wurden und bei denen zusätzlich eine generative Ausbreitung über Samen (Gartenflucht) sicher erscheint, sind in der Auflistung in Tab.1 vier Gehölzsippen hervorzuheben. Hierbei handelt es sich um *Juglans regia* (Walnussbaum), *Prunus laurocerasus* (Lorbeerkirsche), *Castanea sativa* (Esskastanie) und *Aucuba japonica* (Japanische Aukube). Diese Sippen produzieren eine große Anzahl an keimfähigen Früchten und gelangen, ausgehend von gepflanzten Gehölzen in Gärten oder Parks, durch Säugetiere und/oder Vögel in die Wälder. Während dieses Phänomen für *J.regia*, *C. sativa* und *P. laurocerasus* bereits seit längerer Zeit bekannt ist, stellt die generative Ausbreitung von *A. japonica* im Mittleren Ruhrgebiet eine neuartige Erscheinung dar (vgl. Hetzel & Gausmann 2010). *P. laurocerasus* und *A. japonica* breiten sich außerdem auch direkt durch Grünabfall aus, da eine große Anzahl an Grundstücksbesitzern ihren Gartenauswurf in unmittelbar angrenzende, gelegentlich auch in weiter entfernte Wälder entsorgt.

Ein Zusammenhang zwischen der allgemein zu beobachtenden Klimaerwärmung und der expansiven Ausbreitung der relevanten Wärmezeiger liegt nahe, wobei auch andere Parameter für die Expansion verantwortlich sein können (s.u.). Für Nordrhein-Westfalen wurde seit dem Anfang des 20. Jahrhunderts (und hier besonders in den letzten 30 Jahren) ein mittlerer Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,1 K nachgewiesen, wobei die Temperaturzunahme über alle Monate hinweg zu beobachten ist (Sträter et al. 2010). Bis zum Jahr 2100 gehen Straub et al. (2010) von einer landesweiten Temperaturzunahme im Bereich von 1,6 bis 3,1 K aus. Auch für das Mittlere Ruhrgebiet ist diese Klimaerwärmung nachweisbar. Berücksichtigt man die Klimadaten für Bochum und führt für verschiedene klimawandelrelevante Variablen eine statistische Zeitreihenanalyse durch, so zeigt sich ca. seit 1960 ein Anstieg der Temperaturkurve, den man als „climate change“ interpretieren kann. Ab dem Jahr 1999 steigt die Kurve noch einmal viel deutlicher an als zuvor, um schließlich 2002 auf einem seit Beginn der Klimamessungen im Jahre 1912 nicht dagewesenen hohen Niveau zu verbleiben (Abb. 3). Durch diese Analyse lässt sich festhalten, dass die Erwärmung in den letzten zehn Jahren deutlich an Intensität zugenommen hat und ein Zusammenhang mit der Ausbreitung klimasensitiver Gehölzsippen in diesem Zeitraum zu sehen ist.

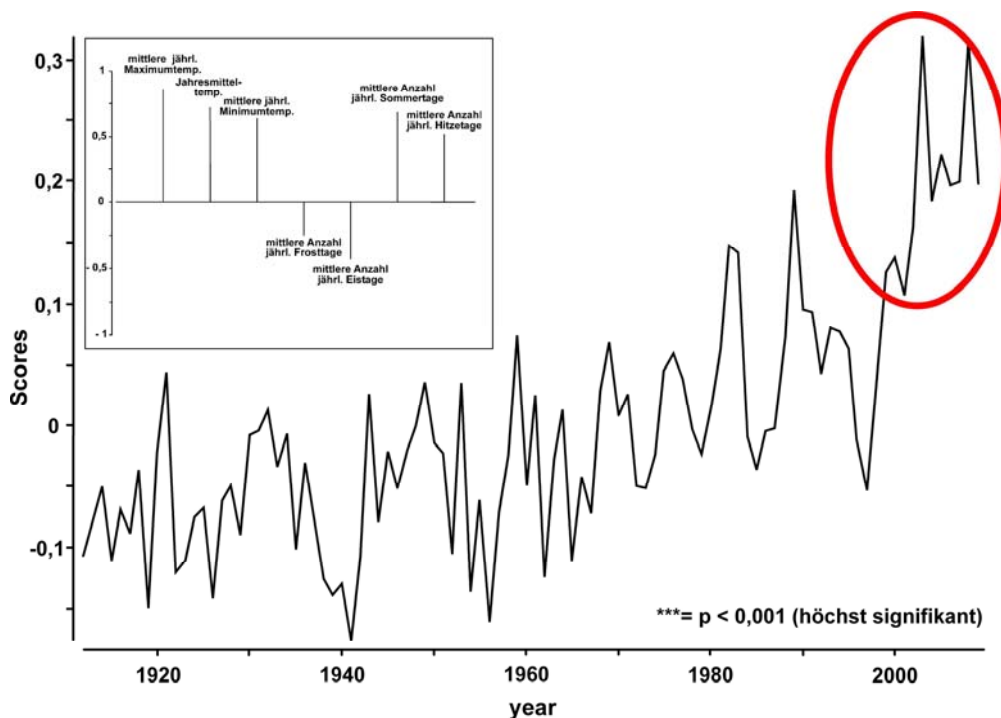


Abb.3: Zeitreihenanalyse nach der Methode MAFA (Min/Max Autocorrelation Factor Analysis), Datengrundlage: Abweichung vom langjährigen Mittel (1912- 2009), Ludger-Mintrop-Stadtklimastation, Bochum

Prunus laurocerasus (Lorbeerkirsche) und *Aucuba japonica* (Japanische Aukube)

Prunus laurocerasus L. (Lorbeerkirsche, Kirschlorbeer) (Abb. 4) ist ein immergrüner bis 6 m hoher Strauch oder kleiner Baum aus der Familie der Rosaceae (Rosengewächse). Die Art stammt ursprünglich aus Kleinasien (Türkei, Kaukasus, Iran) und vom Balkan. Spontane Verwilderungen sind für Mitteleuropa aus der Schweiz seit 1950 (WALTHER 2001), in Deutschland ca. seit den 1980er Jahren (BRANDES 2008) belegt. Im Mittleren Ruhrgebiet sind Verwilderungen von *Prunus laurocerasus* seit 1995 bekannt, wobei sich die Fundmeldungen nach 2002 häufen (Jagel, mdl. Mitt. 2010).

Aucuba japonica Thunb. (Japanische Aukube) (Abb. 5) ist ein kleiner bis 2,5 m hoher aufrecht bis buschig wachsender Strauch aus der Familie der Cornaceae (Hartriegelgewächse). Die Heimat der immergrünen Art ist Ostasien, wo *A. japonica* im südlichen Japan, in China und auf Taiwan vorkommt. Europaweit sind Verwilderungen seit 1950 aus der Schweiz belegt (Walther 2001). In Deutschland berichten SCHMITZ et al. (2003) zum ersten Mal von einer spontanen generativen Verbreitung aus dem Rheinland. Für das Mittlere Ruhrgebiet stammt der Erstnachweis einer generativen Verwilderung aus dem Jahr 2009. Bis auf wenige Ausnahmen entsprachen alle Individuen dem, was im Gartenhandel als Sorte 'Variegata' verkauft wird (Hetzel & Gausmann 2010).

Die expansiven Ausbreitungstendenzen immergrüner Gehölztaxa wie *P. laurocerasus* und *A. japonica*, die aufgrund ihrer Blattpersistenz

gegenüber tiefen Wintertemperaturen benachteiligt sind, werden meist als Indikatoren für den Anstieg der Temperaturen angesehen (vgl. Berger et al. 2007, Walther et al. 2009).

Damit sind sie Teil eines Prozesses, der nach Klötzli et al. (1996) als „Laurophyllisierung“ bezeichnet wird und mittlerweile für die allgemeine (klimabedingte) Ausbreitung „exotischer“, immergrüner Gehölzarten in Mitteleuropa steht (vgl. auch Dierschke 2005).

Neben geänderten Klimabedingungen ist es auch denkbar, dass andere Parameter für die Expansion der Gehölzsippen verantwortlich sind. Auch ein verändertes Angebot im Gartenhandel und eine vermehrte Anpflanzung in Gärten könnten eine Erklärung darstellen. Gegen eine monokausale klimabedingte Ausbreitung sprechen auch Angaben von Gao et al. (2003), die nachweisen konnten, dass *A. japonica* Wintertemperaturen von bis zu -18° C übersteht. BERGER et al. (2007) geben für *A. japonica* eine Frosthärte von -20° C und für *P. laurocerasus* von sogar -24° C an. Untersuchungen zu *P. laurocerasus* in urbanen bis peri-urbanen Wäldern in Bochum nach dem Extremwinter 09/10 belegen zudem, dass nur 11 von insgesamt ca. 200 Individuen Anzeichen für Frosttrocknis und damit für Schädigungen durch tiefe Temperaturen aufwiesen, wie man sie eigentlich für „echte“ Wärmezeiger erwarten könnte (Hock 2010). Vergleichbare Analysen zu *A. japonica* im Frühjahr 2010 im Mittleren Ruhrgebiet bestätigen, dass beide Arten bei Vorhandensein einer schützenden Baumdecke winterhärter sind, als allgemein angenommen wird.



Abb. 4: *Prunus laurocerasus* (Lorbeerkirsche) im Weitmarer Holz in Bochum (I. Hetzel)



Abb. 5: *Aucuba japonica* 'Variegata' (Japanische Aukube) im Meinholtsbusch in Bochum (I. Hetzel)



Abb. 6: *Juglans regia* (Walnussbaum) im Rechener Park in Bochum (I. Hetzel)



Abb. 7: *Castanea sativa* (Esskastanie) im Weitmarer Holz

Juglans regia (Walnussbaum) und *Castanea sativa* (Esskastanie)

Der Walnussbaum (*Juglans regia* L.) (Abb. 6) gehört zur Familie der Walnussgewächse (Juglandaceae). Als Heimat wird die Region West- und Mittelasiens angenommen. Neolithische Pollenfunde und Schalenreste sprechen dafür, dass die Walnuss bereits in vorrömischer Zeit auch in Mitteleuropa aufgetreten sein könnte. Aufgrund von Pollenanalysen kann jedoch mit Sicherheit gesagt werden, dass *J. regia* vor allem durch die Römer in weiten Teilen Süd-, West- und Mitteleuropas kultiviert wurde (Schaarschmidt 2006). In Deutschland liegen die Hauptvorkommen von Einbürgerungen der Walnuss in Gegenden mit mildem Weinbauklima im Südwesten. Für Nordwestdeutschland zeigt sich etwa seit dem Jahr 2000 eine deutliche, explosionsartige Verbreitung, für die die Bezeichnung „Juglandisierung“ (Wortschöpfung von K. Adolphi, Köln) eingeführt wurde (vgl. auch Hetzel & Loos 2010). Im Mittleren Ruhrgebiet sind vor

dem Jahr 1997 lediglich zwei Nachweise über Verwilderungen des Walnussbaums bekannt (Haeupler et al. 2003). 2002 kann eine deutliche Zunahme der Fundmeldungen beobachtet werden (Jagel mdl. Mitt. 2010).

Die Esskastanie (*Castanea sativa* MILL.) (Abb. 7) ist ein in Deutschland beliebter Park- und gebietsweise auch Forstbaum aus der Familie der Fagaceae (Buchengewächse). In der Literatur gibt es zwei unterschiedliche Ansichten zum Indigenat im südlichen Mitteleuropa. Nach Bottacci (2006) stammt *C. sativa* ursprünglich aus dem nördlichen Teil des Mittelmeerraumes, wo sie von Portugal bis zur Türkei verbreitet ist. Kowarik (2003) vermutet das natürliche Areal dagegen in Kleinasien, von wo die Esskastanie ins Mittelmeergebiet eingeführt wurde. Erwiesen ist, dass sie in römischer Zeit in Weinbaugebieten nach Mitteleuropa eingeführt und hier in Kultur genommen wurde. In Deutschland bilden heute das Rheintal mit seinen Nebentälern und den angrenzenden Mittelgebirgen, die Niederrheinische Bucht und das Westfälische Tiefland die Hauptverbreitungsgebiete. Neben spontanen Verwilderungen in Gegenden, in denen *C. sativa* schon seit langer Zeit eingebürgert ist, weisen aktuelle Hinweise auch auf die in den letzten Jahren zu beobachtende Ausbreitungstendenz der Art in Nordwestdeutschland hin. In Bochum existieren erste verlässliche Meldungen aus den 1980er Jahren (Jagel mdl. Mitt. 2010).

Die Gelände-Untersuchungen im Mittleren Ruhrgebiet zeigen, dass die „Wärmezeiger“ *J. regia* und *C. sativa* hier in jüngster Zeit Expansionstendenzen aufweisen, die vorher nicht beobachtet werden konnten. Bei der Walnuss muss im Untersuchungsgebiet dabei von einer „explosionsartigen“ Ausbreitung gesprochen werden, da durch die Kartierungen in 70 % aller untersuchten Wälder (vgl. Tab. 1) Jungpflanzen nachgewiesen werden konnten. Bemerkenswert ist, dass 90 % aller verwilderten Walnuss-Individuen ab dem Jahr 2007 zur Keimung gekommen sind, im Jahr 2010 also nicht älter als vier Jahre waren. Die Esskastanie ist zwar schon seit langem im Westen Nordrhein-Westfalens eingebürgert, zeigt aber in jüngerer Zeit ebenfalls Expansionstendenzen in Gebieten, in denen dies bisher nicht zu beobachten war. Die Anzahl der Verwilderungen bleibt dabei allerdings deutlich hinter denen von *J. regia* zurück (vgl. auch Hetzel 2009).

Die Ausbreitung der beiden Gehölzsippen wird deutlich, wenn man beispielhaft die Situation in einem typischen urbanen Wald in Bochum betrachtet (Abb. 8). Der östliche Teilbereich des „Rechener Parks“, ein überwiegend durch Rot-Buchen (*Fagus sylvatica*) und Eichen (*Quercus robur*, *Q. petraea*) mit starkem

Baumholz geprägtes Waldstück, hat eine Größe von ca. 2,5 ha und wird vollständig durch Straßen oder Bebauung begrenzt. In diesem isolierten Altwaldrest konnten 2010 insgesamt 131 verwilderte Individuen von *J. regia* und 10 Exemplare von *C. sativa* kartiert werden. Der Vergleich der Jahreszuwächse an den Sprossachsen der Jungbäume ergab, dass vor dem Jahr 2005 nachweislich nur ein verwildertes Exemplar von *J. regia* aufgetreten ist, wenn man die Annahme zugrunde legt, dass vor diesem Zeitpunkt kein Wildwuchs existierte. Wie auch im gesamten Untersuchungsgebiet

ist der Großteil der Jungpflanzen erst seit dem Jahr 2007 zur Keimung gekommen. Bei der Esskastanie konnten dagegen auch frühere Verwilderungen festgestellt werden, eine vermehrte Ausbreitungstendenz in den letzten vier Jahren ist nicht erkennbar. Die Ausbreitung der Nüsse erfolgte für beide Gehölzsippen wahrscheinlich über Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris*) und ausgehend von angepflanzten Mutterbäumen in Gärten (*J. regia*) bzw. von fruchtenden Esskastanien im Parkwald (*C. sativa*).

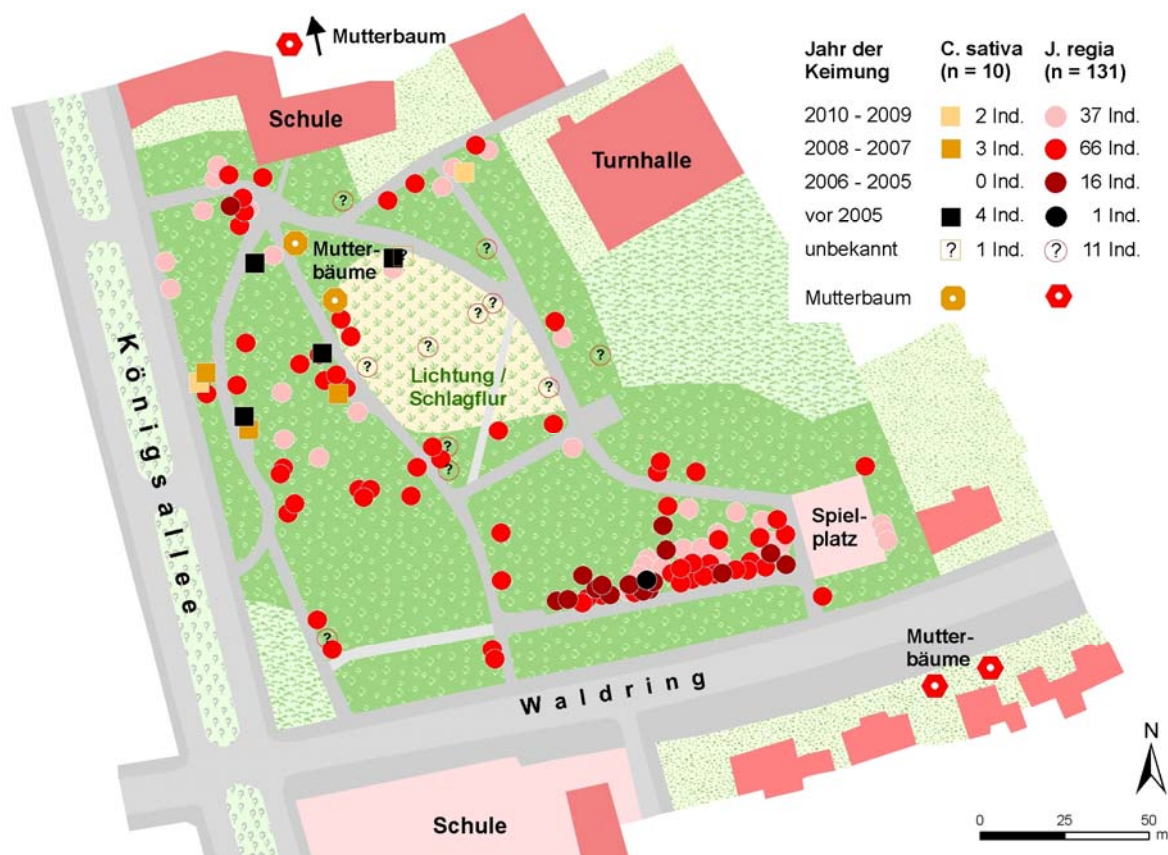


Abb. 8: Spontane Verwilderungen von *Juglans regia* (Walnussbaum) und *Castanea sativa* (Esskastanie) im urban geprägten „Rechner Parkwald“ in Bochum

Naheliegender bei den beiden als „wärmeliebend“ ausgewiesenen Arten (vgl. Tab. 1) ist zunächst die Annahme, dass der Klimawandel zu einer Arealerweiterung führt, da die günstigen Standortfaktoren, die im Westen bzw. Südwesten Deutschlands schon seit langem vorherrschen, nun auch in nördlicher gelegenen Gebieten erreicht werden. Ein Zusammenhang der beobachteten Gehölzexpansionen mit dem Klimaerwärmung, wie er aktuell durch LOCKER et al. (2007) für die Walnuss im Ostalpenraum nachgewiesen werden konnte und für *J. regia* und *C. sativa* durch POMPE et al. (2009 und schriftl. Mitt. 2010) im Rahmen des Projektes „Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora“ bis zum Jahr 2080 prognostiziert wird, lässt sich also auch für das Mittlere Ruhrgebiet nachvollziehen.

Wie bereits für *P. laurocerasus* und *A. japonica* diskutiert wurde, kann nicht ausgeschlossen werden, dass neben geänderten Klimabedingungen auch andere Parameter für die Expansion der Gehölzsippen verantwortlich sind. Die vergangenen Winterperioden 08/09 und 09/10, bei denen die mittleren Lufttemperaturen in Deutschland um bis zu -1,5 K (08/09) bzw. um bis zu -2,5 K (09/10) niedriger lagen als im langjährigen Mittel (DWD 2010 a, b), haben gezeigt, dass selbst tiefe Temperaturen über einen langen Zeitraum zu keiner Bestandsabnahme der „Wärmezeiger“ führen konnten und in den nachfolgenden Vegetationsperioden stets Sämlinge in gleichbleibend hoher Anzahl auftraten. Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass ein allein klimawandel-fokussierter Erklärungsansatz eher unwahrscheinlich erscheint. Auch eine Züchtung kälteresistenter Sorten, die zunehmende Anzahl von Eichhörnchen, eine abnehmende Nutzung (Sammeln) der Früchte (sozio-ökonomische Aspekte) oder die Herausbildung von Ökotypen nach überstandener „time lag“ (vgl. Kowarik 1992, Salisbury 1961) (Abb. 9) könnten mögliche Ansätze für ein größeres Potenzial an Früchten bzw. für eine Verbreitung darstellen.



Abb. 9: Mögliche Erklärungsansätze für die Ausbreitung „wärmeliebender“ Gehölzsippen

Fazit und Ausblick

Es bleibt festzuhalten, dass die Klimaerwärmung ohne Zweifel für die spontane Ausbreitung wärmeliebender Gehölzsippen in urbanen und peri-urbanen Stadtwäldern und damit für eine Verschiebung im Artenspektrum der städtischen Gehölzflora verantwortlich zeichnet. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass ein gering stetes Auftreten von vermeintlich klimasensitiven Arten keine geeignete Grundlage für ein solides Untersuchungsergebnis darstellen kann. Erst ein wiederholtes Auftreten von relevanten Wärmezeigern (vgl. Kap. 3.2.1) kann wichtige Informationen zur Beantwortung der Frage liefern, ob und in welchem Maße der Klimawandel mit diesen Expansionserscheinungen in Zusammenhang steht. Zur Klärung dieser Frage sind auch in den nächsten Jahren weitere Analysen notwendig. Speziell bei *Juglans regia* und *Aucuba japonica* scheint die Ausbreitung erst zu beginnen, so dass sich insbesondere bei diesen Gehölzsippen intensive weitergehende Untersuchungen anbieten. Hierbei muss auch berücksichtigt werden, in wie fern weitere Parameter für die Ausbreitung verantwortlich sind. Neben anderen Aspekten erscheint insbesondere eine vermehrte Anpflanzung und das dadurch entstehende größere Potenzial für Verwildierungen ein wichtiger Erklärungsansatz zu sein. Letztendlich erscheint eine multikausale Begründung für das Phänomen „Klimawandel und Ausbreitung wärmeliebender Arten“ am wahrscheinlichsten.

Literatur

- Berger, S., Söhlke, G., Walther, G.-R. & Pott, R. (2007). Bioclimatic limits of cold-hardy evergreen broad-leaved species at their northern distributional limit in Europe - *Phytocoenologia* 37. S. 523-539.
- Bottacci, A. (2006). *Castanea sativa*. In: Schütt, P., Weisgerber, H., Schuck, H. J., Lang, U. M., Stimm, B. & Roloff, A. (Hrsg.). *Enzyklopädie der Laubbäume*. Nikol. Hamburg. S. 185-193.
- Brandes, D. (2008). Invasive Pflanzen: Naturkatastrophe oder Spiegel unserer Kulturgeschichte? - *Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft BWG* 59. S. 9-36.
- Dege, W. & Dege, W. (1983). *Das Ruhrgebiet - Geocolleg* 3. 3. Aufl. Gebr. Borntraeger. Berlin, Stuttgart. 184 S.
- Dierschke, H. (2005). Laurophyllisation - auch eine Erscheinung im nördlichen Mitteleuropa? Zur aktuellen Ausbreitung von *Hedera helix* in sommergrünen Laubwäldern - *Ber. Reinh.-Tüxen-Ges.* 17. S. 151-168.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2010a). *Klimaatlas Deutschland. Lufttemperatur Winter 2008/2009* <http://www.dwd.de/> (letzte Aktualisierung: Januar 2010; aufgerufen am 14.12.2010).
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2010b). *Klimaatlas Deutschland. Lufttemperatur Winter 2009/2010* <http://www.dwd.de/> (letzte Aktualisierung: März 2010; aufgerufen am 14.12.2010).
- Dohlen, M. (2006). Stoffbilanzierung in urbanen Waldökosystemen der Stadt Bochum - *Bochumer Geographische Arbeiten* 73. Ruhr-Universität Bochum. Selbstverlag. 161 S.
- Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Pauliessen, D. (1992). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa - *Scripta Geobot.* 18. 2. Aufl. Goltze. Göttingen. 262 S.
- Fuchs, R., Hetzel, I., Loos, G. H. & Keil, P. (2006). Verwilderte Zier- und Nutzgehölze in naturnahen Wäldern des Ruhrgebietes - *Allg. Forst Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge (AFZ)* 12/06. S. 622-625.
- Gao, S., Cheng, P., Guo, H., Guo, W., Li, F. & Shen, Y. (2003). Study on cold acclimation and freezing-tolerance mechanism of *Aucuba japonica* cv. *Variegata* - *Acta Bot. Botreal.-Occident. Sin.* 23(12). S. 2113-2119.
- Gausmann, P., Hetzel, I. & Schmitt, T. (2007). Einbürgerungstendenzen thermophiler Gehölzsippen in Wäldern des Ruhrgebietes. In: Dettmar, J & Werner, P. (Hrsg.) *Perspektiven und Bedeutung von Stadtnatur für die Stadtentwicklung - CONTUREC (= Schriftenreihe des Kompetenznetzwerkes Stadtökologie)* 2. Darmstadt. S. 69-74.
- Haeupler, H., Jagel, A. & Schumacher, W. (2003). *Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen in Nordrhein-Westfalen*. Landesanst. Ökol. Bodenordn. Forsten Nordrh.-Westfal. Recklinghausen. 616 S.
- Heinze, W. & Schreiber, D. (1984). Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Europa - *Mitt. Dtsch. dendrol. Ges.* 75. S. 11-56.
- Hetzel, I. (2009). Zur spontanen Ausbreitung von Walnuss (*Juglans regia*) und Esskastanie (*Castanea sativa*) in Wäldern und Forsten im Mittleren Ruhrgebiet - *Flor. Rundbr.* 43. S. 24-43.
- Hetzel, I. & Gausmann, P. (2010). Vorkommen von *Aucuba japonica* THUNB. ex MURR. (Japanische Aukube) in Wäldern des Mittleren Ruhrgebietes - *Online-Veröff. Bochumer Bot. Ver.* 2(4). S. 66-69.
- Hetzel, I. & Loos, G. H. (2010). Der Walnussbaum (*Juglans regia*) - ein römischer Eroberer 2000 Jahre nach der Varusschlacht. In: Heineberg, H., Wieneke, M. & Wittkamp, P. (Hrsg.). *Westfalen Regional Bd. 2. Aktuelle Themen, Wissenswertes und Medien über die Region Westfalen-Lippe*. Aschendorff. Münster. S. 44-45.
- Hock, L. (2010). Untersuchungen zu Frostschäden an der Lorbeer-Kirsche nach der Winterperiode 2009 / 2010 in Bochum. Unveröff. Bachelorarbeit am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum. 48 S.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990). *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Report Prepared for IPCC by Working Group 1.* (Hrsg. Houghton, J. T., Jenkins, G. J., Ephraums, J. J.). Cambridge University Press. Cambridge. 358 S.
- Klötzli, F., Walther, G.-R., Carraro, G. & Grundmann, A. (1996). Anlaufender Biomwandel in Insubrien - *Verh. Ges. Ökol.* 26. S. 537-550.
- Kowarik, I. (1992). Einführung und Ausbreitung nichteinheimischer Gehölzarten in Berlin und Brandenburg und ihre Folgen für Flora und Vegetation. Ein Modell für die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen - *Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg, Beiheft* 3. 188 S.
- Kowarik, I. (2010). Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer. Stuttgart. , 2. Auflage, 380 S.
- Kowarik, I. (2005). Wild Urban Woodlands: Towards a Conceptual Framework. In: Kowarik, I. & Körner, S. (Hrsg.). *Wild urban Woodlands. New Perspective for Urban*

- Forestry. Springer. Berlin, Heidelberg. S. 1-32.
- Kreft, H. (1993): Zur „Natur“ urbaner Wälder. In: Hütter, M. & Reinirkens, P. (Hrsg.). Geoökologie. Beiträge zur Forschung und Anwendung. Universitätsverlag. Bochum. S. 103-114.
- Loacker, K., Kofler, W., Pagitz, K., Oberhuber, W. (2007). Spread of walnut (*Juglans regia* L.) in an Alpine valley is correlated with climate warming – *Flora* 202. S. 70-78.
- Pompe, S., Berger, S., Walther, G.-R., Bad-
eck, F., Hanspach, J., Sattler, S., Klotz, S.,
Kühn, I. (2009). Mögliche Konsequenzen
des Klimawandels für Pflanzenareale in
Deutschland – *Natur u. Landsch.* 84/1. S.
2-7.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider,
S. H., Rosenzweig, C & Pounds, J. A.
(2003). Fingerprints of global warming on
wild animals and plants – *Nature* 421. S.
57-60.
- Roloff, A. & Bärtels, A. (2008). *Flora der Ge-
hölze*. 3. Aufl., Ulmer. Stuttgart (Hohen-
heim). 844 S.
- RVR (Regionalverband Ruhrgebiet) (2010).
Metropole Ruhr: Bevölkerungsstruktur und
-entwicklung. <http://www.metropoleruhr.de>
(letzte Aktualisierung: 31.12.2009; aufge-
rufen am 10.12.2010).
- Salisbury, E.J. (1961). *Weeds & Aliens*. Col-
lins. London. 384 S.
- Schaarschmidt, H. (2006). *Die Walnussge-
wächse*. 2. Aufl. Westarp. Hohenwarsle-
ben. 170 S.
- Schmitz, G., Kasperek, G. & Adolphi, K.
(2003). *Aucuba japonica* THUNB. ex.
MURR. (Cornaceae) auf dem Weg der Na-
turalisation? – *Flor. Rundbr.* 37(1-2). S.
5-9.
- Statistikstelle der Stadt Hannover (2010). *Die
Stadtfläche in Zahlen*
<http://www.hannover.de/> (letzte Aktualisie-
rung: 01.01.2010; aufgerufen am
10.12.2010).
- Statistisches Bundesamt (2010). *Gemeinde-
verzeichnis der politisch selbständigen
Gemeinden Deutschlands*.
<http://www.destatis.de> (letzte Aktualisie-
rung: 31.12.2009; aufgerufen am
10.12.2010).
- Straub, W., Sträter, E. & Wurzler, S. (2010).
*Die Klimaentwicklung in NRW. Projektio-
nen für das 21. Jahrhundert – Natur in
NRW* 2/10. S. 35-37.
- Sträter, E., Straub, W & Koch, Ch. (2010). *Die
Klimaentwicklung in NRW. Beobachtungen
seit Anfang des 20. Jahrhunderts – Natur
in NRW* 1/10. S. 39-42.
- Sukopp, H. & Wurzel, A. (1995). *Klima- und
Florenveränderungen in Stadtgebieten. Kli-
määnderungen und Naturschutz. - Ange-
wandte Landschaftsökologie* 4. S. 103 –
130.
- Walther, G.-R. (2001). *Laurophyllisation – a
sign for a changing climate?* In: Burga, C.
A. & Kratochwil, A. (Hrsg.). *Biomonitoring:
General and applied aspects on regional
and global scales - Tasks for vegetation
science* 35. S. 207-223.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel,
A., Parmesan, C., Beebee, T., Fromentin,
J.-M., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F.
(2002). *Ecological responses to recent
climate change - Nature* 416. S. 389-395.
- Walther, G.-R., Roques, A., Hulme, P. E.,
Sykes, M. T., Pysek, P., Kühn, I., Zobel,
M., Bacher, S., Botta-Dukat, Z., Bugmann,
H., Czucz, B., Dauber, J., Hickler, T.,
Jarosik, V., Kenis, M., Klotz, S., Minchin,
D., Moora, M., Nentwig, W., Ott, J., Panov,
V. E., Reineking, B., Robinet, Ch.,
Semenchenko, V., Solarz, W., Thuiller, W.,
Vila, M., Vohland, K. & Settele, J. (2009):
*Alien species in a warmer world: risks and
opportunities - Trends in Ecology and Evo-
lution* 24(12). S. 686-693.

Autorenanschrift:

Dipl.-Geogr. Ingo Hetzel
Geographisches Institut
Ruhr-Universität Bochum
44780 Bochum
E-Mail: ingo.hetzel@rub.de

Ändert sich die Stadtflorea? Ergebnisse 25jähriger Beobachtungen im Ruhrgebiet

Changes in urban flora? Results from studies in the Ruhrgebiet (Germany, Northrhine-Westphalia) over 25 years

GÖTZ HEINRICH LOOS

Zusammenfassung

In einem Zeitraum von 25 Jahren wurden am Beispiel des Stadtgebietes von Kamen detaillierte Untersuchungen zu den Veränderungen der Stadtflorea des Ruhrgebietes durchgeführt. Die Stadt Kamen liegt in der Randzone des Ruhrgebietes. Die langjährigen Untersuchungen belegen eine starke Dynamik der Stadtflorea. Neuaufreten, Verschwinden, Zunahme und Abnahme von Arten sind erkennbar. Die Ursachen für diese Dynamik scheinen multikausal zu sein. Allerdings nahmen in jüngster Zeit thermophile Arten teils stark zu, weshalb Klimaänderungen als ein gewichtiger Faktor innerhalb dieser Multikausalität anzusehen ist.

Stadtflorea, Ruhrgebiet, Nordrhein-Westfalen, Ballungsrand, Florendynamik, thermophile Arten

Summary

Within a period of 25 years detailed surveys of changes in urban flora of the old urban-industrial region of the Ruhr Basin (Germany, Northrhine-Westphalia) were obtained in the city of Kamen, located at the edge of that region. New species occurred, others disappeared, some species populations increased, others decreased. The surveys reveal an intensive dynamic of the urban flora during that period. This dynamic seems to be based on a multitude of causes. Recently the number and population sizes of some thermophilic species have increased significantly, leading to the assumption that climatic change should be considered as an important aspect within that multicausal dynamic.

Hintergrund und Fragestellung

Über verschiedene Aspekte der Flora und Vegetation des Ruhrgebietes wurden Aufsätze und Studien verfasst, wobei das Spektrum von adventivfloristischen Arbeiten über Analysen der industriebedingten Vegetation und floristischen Übersichten bis zu Angaben über Neophytenausbreitungen reicht (u.a. Höppner & Preuss 1926; Scheuermann 1942; Düll & Kutzelnigg 1980; Dettmar 1992; Büscher et al. 1997; Keil & Loos 2002; Keil et al. 2007). Die Dynamik der Flora ist in diesen Veröffentlichungen und Untersuchungen ein Thema, spielen doch Veränderungen auf diversen Ebenen und in vielfältigen Kontexten im Ruhrgebiet eine bedeutende Rolle: Nutzungsänderungen hin zur Industrialisierung, die Stadtentwicklung während und nach der Industrialisierung, Veränderungen in den Transportmedien von Gütern, Ver- und Entsiegelung, Verbrauch ehemaliger Standorte verschiedener Industriezweige, insbesondere der Montanindustrie, die Nachnutzung und Umgestaltung dieser Flächen etc. Genauso wie das Ruhrge-

biet durch Eisenbahnbau, Industrialisierung, Siedlungsausdehnung und Siedlungsverdichtung, Strukturwandel, Finanzkrisen und demographische Entwicklungen geprägt ist, genauso spiegeln sich diese Einflüsse in der Flora wider.

Während die Ruderalflora im Zentrum der meisten Untersuchungen steht, wurde innerhalb dieser eine spezifische urbane Flora, eine Stadtflorea, bislang nicht deutlich fokussiert. Bei vergleichenden Kartierungen in verschiedenen Städten und besonders in direktem Vergleich zwischen Ruhrgebiet und den umgebenden ländlichen Regionen zeigen sich Gemeinsamkeiten, die darauf hindeuten, welche Flora in der Zeit vor der Industrialisierung in den Ruhrgebietsstädten vorhanden war. Für Dortmund lassen sich diese Verhältnisse an der Darstellung von Suffrian (1836) im Verhältnis zu mehreren floristischen Übersichten, die nach dem Beginn der Industrialisierung (gemessen an der Inbetriebnahme der relevanten Teilabschnitte der Köln-Mindener Eisenbahn 1846/47) entstanden sind sowie den heutigen

eigenen Untersuchungen, einigermaßen rekonstruieren. Die Erkenntnisse aus diesen Vergleichend erlauben weitere Hypothesen über die Stadtflora benachbarter Ruhrgebietsstädte. So ist relativ gut bekannt, welche Arten über die Eisenbahnen in das Ruhrgebiet gelangten, wodurch sich eine Bahnflora einer ursprünglicheren Stadtflora gegenüberstellen lässt. Als dritter Pol kann eine Industrieflora herausgearbeitet werden: Diese Pflanzen wurden zwar teilweise auch über die Eisenbahn als Transportbegleiter eingeschleppt, haben sich jedoch unabhängig davon ausgebreitet. Sie können deshalb kaum mehr als Bahnpflanzen gelten, die ausschließlich auf Bahngelände oder in deren unmittelbarer Nähe vorkommen.

Freilich existieren Übergänge, d.h. Arten, die sich nicht eindeutig in eine der drei Kategorien Stadtflora / Bahnflora / Industrieflora einordnen lassen, weil sie indifferent sind bzw. in verschiedenen Städten offensichtlich auf andere Weise eingewandert sind oder eingeschleppt wurden. Dennoch lassen sich viele Arten angesichts des guten Durchforschungsgrades des Ruhrgebietes diesen drei Kategorien zuordnen. Die Analyse ihrer Dynamik ermöglicht Rückschlüsse über den Wettbewerb mit neuerlich erschienenen Sippen (Industriophyten). Welche weiteren Faktoren die Dynamik gerade jener „Alt“-Stadtpflanzen beeinflussen, ist dabei nicht einmal ansatzweise bekannt. Vor diesem Hintergrund erscheint die Beobachtung einer Bestandsveränderung derartiger Pflanzen in den letzten zwei Jahrzehnten besonders interessant, spielen doch die klimatischen Veränderungen dieses Zeitabschnittes mit hinein; vielleicht spielen sie sogar eine entscheidende Rolle (zumindest bezüglich einiger Arten oder in der Konkurrenz mit Neophyten). Bei einer Untersuchung derartiger Phänomene sind allerdings auch die „neuen“ Stadtpflanzen mit einzubeziehen, d. h. solche Arten, die in ihrem Ausbreitungsverhalten beispielsweise ursprünglich Bahnpflanzen waren und jetzt ganz davon losgelöst in Städten vorkommen. Die Aufgabe bestand also darin, festzustellen, ob qualitative Änderungen in der Stadtflora des Ruhrgebietes innerhalb der letzten Jahrzehnte existieren, in welcher Weise sich diese Änderungen ausdrücken sowie ob und welche Ursachen die Änderungen möglicherweise ausgelöst haben.

Methodik und Untersuchungsraum

Eine Untersuchung der Dynamik möglichst aller Bestände spezifischer Arten der Stadtflora sowie des Auftretens neuer Arten konnte über das gesamte Ruhrgebiet nicht konsequent und vollständig über Jahrzehnte durchgeführt werden. Allerdings wird seit 1984, also seit über

25 Jahren, eine Komplettuntersuchung von Flora und Vegetation im Stadtteil Mitte der Stadt Kamen in der östlichen Randzone des Ruhrgebietes durchgeführt. Im Zuge dieser Studie wurden bislang nahezu sämtliche Straßenzüge und alle sonstigen untersuchungsfähigen Flächen (mit Ausnahme schwierig oder gar nicht einsehbarer und nicht zugänglich gemachter Gartengrundstücke) im Hinblick auf Vorkommen und Häufigkeit der Arten kartiert, so dass detaillierte flächengenaue Analysen der Dynamiken der einzelnen Arten durchgeführt werden können, einschließlich ihres Migrationsverhaltens. Hierbei wurden alle aufgefundenen Arten erfasst, so dass über die Verbreitung von Stadtpflanzen und gegebenenfalls die Ausbreitungsvorgänge „neuer“ Stadtpflanzen Aussagen getroffen werden können. Ob eine Art in Kamen-Mitte eine „alte“ Stadtpflanze ist, darüber können Angaben in der Flora von Höppner & Preuss (1926) sowie aus dem Nachlass (Tagebücher und Herbarium) des zeitweilig in Kamen wohnenden Botanikers Wilhelm Bierbrodt (der dank der Freundlichkeit seines seinerzeitigen Besitzers, Herrn Prof. Dr. Herbert Ant †, vollständig ausgewertet werden konnte) Auskunft geben.

Die Gesamtdarstellung der Untersuchungsergebnisse ist eingebettet in eine größere Forschungsstudie über Flora und Vegetation der Stadt Kamen (als ein Zwischenergebnis wurde eine Übersicht der verwilderten Neophyten veröffentlicht, vgl. Loos 1997), die an anderen Stellen in umfassender Weise publiziert werden. Der floristische Teil der Untersuchungen befindet sich zur Zeit in Ausarbeitung, so dass hier nur die wichtigsten Beobachtungen und Tendenzen dargelegt werden sollen.

Untersucht wurde das Cityareal von Kamen-Mitte, dessen Abgrenzung im Wesentlichen dem bei Loos (1997) charakterisierten Untersuchungsgebiet entspricht. Das Gebiet liegt im subatlantischen Klimaabschnitt der Westfälischen Bucht und zählt naturräumlich zu den Hellwegbörden, wobei ein teils fast ebenes, teils flachwelliges Gelände vorliegt. Die Böden sind durch die Ablagerungen der Saalevereisung, von Lösslehm und Auensedimenten geprägt, im größten Teil des untersuchten Areals durch Umlagerung, Verbauung, Aufschüttung und gärtnerische Tätigkeiten (u.a. Humuseinbringung) stadttypisch verändert. Der Gesamtcharakter ist als urban verdichtet zu bezeichnen, umfasst aber auch eher kleinere Grünanlagen und ein derzeit in „Renaturierung“ befindliches mittelgroßes Fließgewässer (Seseke) mit seinen Randbereichen, das Jahrzehnte lang als kanalisiertes Abwassergerinne gedient hat. Durch die unmittelbare Lage am Südwestrand des Autobahnkreuzes A1/A2 (bekannt als „Kamener Kreuz“), an der auto-

bahnähnlich ausgebauten Bundesstraße 233 sowie an einer West-Ost-Hauptbahnstrecke (ehemalige Köln-Mindener Bahn) mit Bahnhof spielt die verkehrsinfrastrukturelle Anbindung eine besondere Rolle. Hinzu kommt eine industrielle Prägung durch ein Anfang der 1980er Jahre stillgelegtes Steinkohlenbergwerk im Westen des Gebietes sowie kleinere Industriebetriebe, von denen aber nur wenige noch existieren. Durch Neubausiedlungen in den Wohnvierteln sowie Ansiedlung von Betrieben der IT-Branche und anderen „neuen“ Industrie-Gewerbe-Einheiten hat sich der Charakter insgesamt seit Mitte der 1980er Jahre eher zu einer postindustriellen Stadt gewandelt.

Ergebnisse

Zunächst konnte festgestellt werden, dass ein stabiler „Kern“ an Stadtpflanzen vorhanden ist, der über die Jahre lediglich witterungsabhängig in der Häufigkeit zu variieren scheint, sonst aber regelmäßig und meist häufig anzutreffen ist. Charakteristische Arten dieses Typs sind *Cirsium arvense*, *Mercurialis annua* und *Solanum decipiens* (= *S. nigrum* subsp. *schultesii*). Sie profitieren allerdings von Bauarbeiten jeder Art, indem sie sich auf Baustellen, in umgegrabenen Gärten und an ähnlichen Stellen teils massenhaft ausbreiten. Auch wenn Baumscheiben neu gestaltet werden, tauchen diese Arten oft in großer Dichte darin auf, wobei dann allerdings unklar bleibt, inwieweit Neuschleppungen mit allochthonem Bodenmaterial vorliegen. Auf diese Weise gelangen zudem weitere Arten in das Untersuchungsgebiet, wobei die Einschleppung von Hackfruchtbegleitern von vorwiegend sandigen Böden über das Aufbringen von allochthonem Bodenmaterial besonders augenfällig ist. In jüngster Zeit wurden auf diese Weise u. a. die thermophilen Fuchsschwänze *Amaranthus powellii* und *A. retroflexus* wieder eingeschleppt, nachdem sie früher auf Bahngelände vorgekommen sind.

Die „Kern“-Stadtpflanzen sind teilweise Arten, deren Schwerpunkt früher in Segetalbiotopen lag. In einzelnen Fällen sind sie auch heute noch in Äckern weit verbreitet (z. B. *Cirsium arvense*) und besitzen dort einen Schwerpunkt ihrer Verbreitung. Andere Ackerpflanzen, die auch in Äckern des umgebenden Raums als Neophyten einzustufen sind, gelangten von dort in Pionier-Ruderalflächen der Stadt. Eine diesbezüglich typische Art ist *Tripleurospermum perforatum*, die als Zeiger der Industriebrachen gelten kann und teilweise von dort aus weiter in andere urbane Biotope vorzudringen scheint. Andere Segetalarten sind hingegen

sowohl in Äckern als auch in Stadtbiotopen innerhalb des Untersuchungszeitraums stark zurückgegangen oder ganz verschwunden. Für das Kamener Cityareal gilt dies insbesondere für *Papaver argemone*. Der Sand-Mohn war in der Mitte der 1980er Jahre zwar nicht häufig, aber doch immer wieder an Ruderalstellen in Kamen festzustellen, sogar in Pflasterfugen im dichtest besiedelten Bereich. Nach 1990 wurde diese Art bis heute nicht mehr nachgewiesen.

Dörfer und Städte teilten in früheren Zeiten, als die Hellwegstädte überwiegend Ackerbürgerstädte waren, partiell die Flora der Stickstoff-Ruderalfluren, die durch gleichartige Nutzung in den meisten Siedlungen ähnlich waren (z. B. auch durch die Nutzung der Winkel in den Gassen durch frei herumlaufendes Geflügel). Heutzutage sind nicht nur die dörflichen Strukturen in den Städten verloren gegangen, sondern die Dörfer zeigen zudem immer mehr Kennzeichen der Verstädterung und damit immer weniger typische Dorfruderalflora und -vegetation (was schon Kreh 1951 bemerkte, vgl. auch Scholz 1960). Während dieser Aspekt im Wesentlichen für Arten gilt, die schon zu Beginn der Untersuchungen, d. h. vor 1984 verschwunden waren, sind einzelne Arten der Stickstoff-Ruderalfluren weiterhin zu finden, die sogar zunächst von den veränderten Verhältnissen profitiert haben. *Verbena officinalis* konnte sich auf Industriebrachen ausbreiten und so von der Bindung an dörfliche Strukturen lösen. Vor 1990 war das Eisenkraut in Kamen an vielen Stellen auf Industrie- und Bahngelände, aber auch auf innerstädtischen Brachen ehemaliger Wohngebäude anzutreffen. Das Verschwinden der Wuchsorte ging einher mit einer Veränderung oder Überbauung der optimalen Ruderalstandorte für diese Art. Heute hält sie sich nur noch spärlich im Untersuchungsgebiet.

Urbanophobe Arten (in der Definition nach Wittig et al. 1985) sind in der Regel typische Bewohner von Waldgesellschaften. Solche Arten finden sich im urbanen Raum meist nur in Waldresten, alten, großen Parks und auf entsprechenden Friedhöfen, mitunter auch in alten, gehölzreichen Gärten, wobei in vielen Fällen die Frage zu stellen ist, ob sie dort nicht ursprünglich angepflanzt worden sind. Bemerkenswerterweise sind urbanophobe Arten wie *Anemone nemorosa* und *Oxalis acetosella* in den letzten Jahren seltener geworden, auch wenn an den Wuchsorten z. B. auf Friedhöfen prinzipiell nichts verändert wurde. Andererseits konnte an vielen Stellen eine starke Zunahme von bestandsbildenden nitrophilen Hochstauden und niedrigeren, aber dichtwüchsigen Bodendeckern (*Urtica dioica*, *Anthriscus syl-*

vestris, *Glechoma hederacea*, *Aegopodium podagraria* u.a.) festgestellt werden. Da diese Arten ihr Entwicklungsoptimum deutlich nach den urbanophoben Frühblühern erreichen, bleibt ein Zusammenhang zwischen ihrer Abnahme und der Zunahme der Stickstoffzeiger zunächst ungewiss.

Von den Einsparungen in der Pflege von Grünanlagen, Pflanzbeeten und Grundstücken in den letzten zehn Jahren profitieren die Stickstoffzeiger ebenfalls. Jedoch ist das Spektrum an Arten hier größer. Obwohl urbane Standorte schwerlich als Primärstandorte gelten können und prinzipiell die Vorkommen sämtlicher Arten apophytisch sind (abgesehen von Hybriden und Anökophyten, die unmittelbar in diesen Biotopen entstanden sind), treten hier Apophyten auf, bei denen der Standortwechsel bzw. die Habitaterweiterung deutlich erkennbar ist, vor allem durch Arten, die primär an frischen bis nassen Standorten vorkommen. Eine solche charakteristische Art in Kamen ist *Eupatorium cannabinum*, der selbst in kleinsten Pflasterritzen durchaus aufkeimen kann. Neuerdings erscheint auch *Solanum dulcamara* wieder vermehrt, obwohl diese Art zwischenzeitlich durch Bebauung oder Umnutzung der Brachen stark zurückgegangen war.

Die starke verkehrsinfrastrukturelle Einbettung Kamens sorgt für eine weitere Ausbreitung von erstrangig akolutophytischen (einwandernden) Linienmigranten. Diese Ausbreitung erfolgt nicht nur entlang von Linienstrukturen (z. B. Straßen), sondern es kann darüber hinaus eine flächenhafte Ausbreitung stattfinden. Der Bahnhof und die Hauptbahnstrecke stellen deshalb ebenso „Einfallstore“ für solche Akolutophyten dar wie das randlich angrenzende Gelände der ehemaligen Zeche (mit ehemaligen Zechenbahnen, über die viele Arten dort hingekommen sind). Weiterhin tragen die Autobahnen A1 und A2, die autobahnartig ausgebaute Bundesstraße 233 sowie als Fließgewässer die Seseke zur Ausbreitung dieser Arten bei. Mit einer Veränderung dieser Gebiete ergibt sich auch eine Veränderung der von dort einwandernden Sippen. So bewirkten die Renaturierungsmaßnahmen an der Seseke eine Umwandlung der ursprünglich grünlandartigen Böschungen des zuvor kanalisierten Gewässers in zunächst offene Ruderalbiotope mit Pioniercharakter, die Arten eine Einwanderung ermöglichten, welche sich vorher hier nicht ansiedeln konnten. So ist *Atriplex micrantha*, die selbst an der B 233 erst seit wenigen Jahren in Ausbreitung befindlich ist (ausgehend von der Autobahnauffahrt Kamen-Süd), im Jahre 2010 bereits in erheblicher Anzahl an der Seseke beobachtet worden, mit Tendenz zur Ausbreitung in Richtung Innenstadt.

Einen bedeutenden Anteil des (vorwiegend) neophytischen Anteils der Stadtfloora stellen Ergasiophyten (Kulturflüchtlinge). Verwilderungen sind aufgrund zahlreicher Typen von Kulturen (Ziergärten, Nutzgärten, Straßenbegleitgrün, Parks etc.) in vielfältiger Weise möglich (vgl. Keil & Loos 2005). Zudem zeigt sich eine starke Abhängigkeit von Moden und Vorlieben in der Verwendung bestimmter Arten und Sorten; diese drücken sich in Veränderungen der Unbeständigenflora aus, aber auch in der Einbürgerung neuer Sippen, die bis vor einigen Jahrzehnten kaum in Kultur waren. Entsprechende Änderungen gegenüber den bei Loos (1997) dargestellten Verhältnissen wurden festgestellt. So ist die dort prognostizierte Verwilderung von *Alnus cordata*, *Geranium macrorrhizum* und *Prunus laurocerasus* inzwischen Realität geworden. Generell ist die Arten- und Individuenzahl der verwildernden Holzgewächse weiter gestiegen. Arten mit immergrünem Laub nehmen vor allem in der Individuenzahl deutlich zu, insbesondere *Taxus baccata*, *Ilex aquifolium* und Mahonien. Dies betrifft allerdings ebenso sommergrüne Arten, dabei teilweise thermophile Arten wie vor allem *Juglans regia*.

Interessanterweise zeigen die üblicherweise als „Problemneophyten“ eingestuften Ergasiophyten in Kamen überwiegend nur örtliche Ausbreitungstendenzen. So hat *Heracleum mantegazzianum* seit 1985 keine bedeutende Bestandszunahme erfahren. Lediglich *Rubus armeniacus* und *Solidago serotinoidea* neigen zu einer starken invasiven Ausbreitung, jedoch nur auf Brachen und wenig genutzten Flächen.

Während häufig das Neuauftreten einer Art oder ein neues Vorkommen klar hinsichtlich seiner Auftretensgeschichte erschlossen werden kann, existieren einzelne Arten, die relativ zeitgleich an verschiedenen Stellen im Untersuchungsraum aufgetreten sind, wobei ihr Erscheinen verschiedene Ursachen hatte (Einwanderung entlang der Bahn und der Autobahn, zugleich Einschleppung mit Güterverkehr über die Straße und Einflug von Diasporen aus größerer Entfernung u.a.). Ein solches multikausales Auftreten konnte z. B. vor der Ausbreitung von *Senecio inaequidens* in Kamen registriert werden.

Jüngste Entwicklungen

In der jüngsten Zeit ergaben sich ohne offensichtlich erkennbaren Grund explosionsartige Ausbreitungen von *Eragrostis minor* und *E. multicaulis* s. lat. (Details hierzu, die das Untersuchungsgebiet mit betreffen, siehe bei Büscher, Geyer et al. 2011). Während *Eragrostis minor* vom Kamener Bahnhof schon

seit vielen Jahrzehnten bekannt war, aber zunächst keine weitere Ausbreitung erfahren hatte, tritt die Art fast von einem Jahr auf das andere an zahlreichen Stellen auf. Noch stärker ist die Ausbreitung von *E. multicaulis*, das seit knapp zehn Jahren in Kamen präsent ist, aber zunächst auf die Umgebung der Pauluskirche beschränkt blieb. Beide Arten sind thermophil und so passen sie in eine Reihe mit den Ausbreitungen von weiteren Gräsern (sämtlich Panicoideen, insbesondere *Echinochloa*- und *Setaria*-Sippen), die 2009/10 plötzlich an zahlreichen Stellen aufgetreten sind, vermutlich ausgehend von Banketterneuerungen an Straßen im ländlichen Raum außerhalb des Untersuchungsgebietes, wo ihre Diasporen mit allochthonem Boden eingeschleppt wurden. Aber auch weitere Ausbreitungen an der Bahn wurden festgestellt. Neben diesen Arten sind in den letzten Jahren weitere thermophile Gefäßpflanzen in Kamen bemerkt worden, z. B. *Portulaca oleracea*, der sich bisher zwar nur örtlich ausgebreitet hat, für den aber eine Bestandszunahme binnen weniger Jahre um mehr als 1000 % zu konstatieren ist.

Auf der anderen Seite erweisen sich intensiv gepflegte Grünanlagen und sogar Gartenrasen, insbesondere an Mehrfamilien-Mietshäusern, zunehmend als Rückzugsraum für im ländlichen Raum stark zurückgegangene Magerkeitszeiger. So ist das in der freien Landschaft im Kamener Stadtgebiet fast verschwundene *Hieracium pilosella* im Untersuchungsraum noch an mehreren Stellen mit stabilen Populationen vorhanden. Kurzgrasige, mit Rot-Schwengel eingesäte Flächen mit ruderalisierten Stellen bieten z. B. der wieder in Ausbreitung befindlichen *Myosotis ramosissima* neue Ansiedlungsmöglichkeiten.

Im Vergleich mit den Dynamiktendenzen im Kernruhrgebiet zeigt sich unter Berücksichtigung der jüngsten Entwicklungen eine gewisse Sonderstellung des Kamener Stadtgebietes innerhalb des Ruhrgebietes. Durch die Lage am Ostrand und die etwas ländliche Prägung, die sich durch eine solitäre Lage des Untersuchungsraumes als urbaner Bereich, das von ländlichen Bereichen umgeben ist, auszeichnet, ist eine kohärente Ausbreitung von stadtypischen Sippen nicht grundsätzlich möglich, auch ist der stadtklimatische Effekt geringer als im benachbarten Dortmund. Dies lässt sich aus der verzögerten Ausbreitung von *Buddleja davidii* und *Juglans regia* gegenüber dem Kern-Ruhrgebiet schließen. Auch bei *Ailanthus altissima* spielen unmittelbare Verwilderungen eine größere Rolle als ein akolutophytisches Auftreten entlang von Bahn und Autobahn. Als besonderes Unikat können schließlich speziel-

le Verwilderungsquellen gelten, unter denen besonders der artenreiche Schulgarten des Städtischen Gymnasiums auffällt – mit sonst nicht auftretenden Ergasiophytophyten in der Nachbarschaft wie z. B. *Oenanthe lachenalii* und *Salvia glutinosa*.

Ursachen der Veränderungen

Die festgestellten Veränderungen lassen sich in vielen Fällen nur über Thesen erklären, wobei eine Einzelfallbetrachtung von jeweiligen Vorkommen oft leichter zu deuten ist als eine Gesamtbetrachtung. Bei der Suche nach einem Erklärungskontext darf man allerdings von Multikausalität ausgehen. So spielen gewisse folgende Aspekte eine Rolle:

- Veränderungen von Bewirtschaftungsformen (z. B. statt Nutzgärten heute meist Ziergärten)
- Veränderungen der „Einfallstore“ (z. B. Nutzung Zechengelände u. Zechenbahnen)
- Moden in der Kulturpflanzenverwendung
- zufällige Einschleppungen
- generelle Einwanderungstrends (vor allem betreffend Autobahn- und Eisenbahnwanderer)
- Stickstoffeinträge
- Klimaerwärmung?

Der letztgenannte Aspekt wurde bewusst mit einem Fragezeichen versehen, weil hierüber durchaus kontroverse Meinungen bestehen. Daher erscheint es bedeutend, jene Argumente zusammenzutragen, die für eine Klimaerwärmung sprechen. Thermophile Arten breiten sich in den letzten Jahren vermehrt aus (darunter einige Pflanzen mit C4-Stoffwechsel), einige sogar explosionsartig. Zudem hat die Zahl der Arten mit immergrünen Blättern zugenommen – wie auch ihre Individuenzahl. Trotz Verzögerungen in der Ausbreitung einiger thermophiler Arten im Untersuchungsgebiet lässt sich neuerdings ein vermehrtes Auftreten dieser Arten belegen. Diese Phänomene lassen sich im Kern-Ruhrgebiet zwischen Dortmund und Duisburg in noch viel stärkerem Ausmaß beobachten als in Kamen, was durch stadtklimatische Effekte bedingt sein dürfte. Dass derartige Ausbreitungen aber ebenso in der Randzone des Ruhrgebietes auftreten, deutet auf eine allgemeine Tendenz und nicht nur auf eine reine Abhängigkeit vom Stadtklima hin. Den überwiegend warmen Sommern der letzten Jahrzehnte könnte hier eine entscheidende Bedeutung zukommen – ganz unabhängig davon, welchen Ursachen diese klimatischen Besonderheiten zuzuschreiben sind.

Andererseits zeigen Arten Ausbreitungstendenzen, bei denen Thermophilie nicht unmit-

telbar angenommen werden kann. Allerdings könnte eine Förderung durch warme, kontinentale Sommer vorliegen, so ist z. B. *Atriplex micrantha* eine vorherrschend kontinentale Art, die sich innerhalb des letzten Jahrzehnts stärker im Ruhrgebiet und noch weiter westlich akolutophytisch entlang der Autobahnen und größerer Straßen ausgebreitet hat. Vielleicht also eher hin zum kontinentalen Klima als einer generellen Erwärmung? Und wenn statt der Ausbreitungstendenzen die Rückgänge und das Verschwinden mancher Arten herangezogen werden, lässt sich diese Folgerung als Hauptthese damit stützen? Tatsächlich nehmen ohnehin urbanophobe Arten ab, die ein gemäßigteres Bestandsklima (vorzugsweise in Gehölzen) benötigen. Aber der Rückgang von Segetalpflanzen, die tendenziell thermophil sind (wie *Papaver argemone*), lässt sich so nicht erklären und würde eventuell eher auch eine gegenteilige Ansicht stützen. Im Fall der urbanophoben Waldpflanzen könnte zudem eher die Förderung von nitrophilen, konkurrenzkräftigeren Arten durch in der Intensivlandwirtschaft verursachte Stickstoffeinträge eine Rolle spielen. In welche Richtung man eine Deutung vornehmen möchte, letztlich bleibt für einen zusammenfassenden Erklärungskontext ein multikausaler Ansatz, bei dem klimatische Aspekte von Bedeutung sind, aber keine absolute Deutung ermöglichen.

Literatur

- Büscher, D. (2010). Die Gattung *Eragrostis* N. M. WOLF - Liebesgras (*Poaceae*) in und um Dortmund. Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 1. p. 87-97.
- Büscher, D., Loos, G. H. & Wolff-Straub, R. (1997). Charakteristik der Flora des Ballungsraumes „Ruhrgebiet“. LÖBF-Mitt. 22 (3). p. 28-35.
- Dettmar, J. (1992). Industrietytische Flora und Vegetation im Ruhrgebiet. Diss. Bot. 191. Schweizerbart. Stuttgart. 397 S.
- Düll, R. & Kutzelnigg, H. (1980). Punktkartenflora von Duisburg und Umgebung. 1. Aufl. Westdeutscher Verlag. Opladen. 326 S.
- Geyer, H. J., Büscher, D., Loos, G. H. & Bomholt, G. (2011): Rezente Ausbreitung, Ökologie und Vergesellschaftung von *Eragrostis multicaulis* Steud. (sensu lato) in Westfalen. Decheniana 164. p. 23-31.
- Höppner, H. & Preuss, H. (1926). Flora des Westfälisch-Rheinischen Industriegebietes unter Einschluss der Rheinischen Bucht. Ruhfus. Dortmund. 381 S.
- Keil, P. & Loos, G. H. (2002). Dynamik der Ephemerophytenflora im Ruhrgebiet - unerwünschter Ausbreitungspool oder Florenbereicherung? Neobiota 1. p. 37-49.
- Keil, P. & Loos, G. H. (2005). Non-established adventive plants in the western and central Ruhrgebiet. Elektronische Aufsätze der Biologischen Station Westliches Ruhrgebiet 5 (www.bswr.de).
- Keil, P., Fuchs, R. & Loos, G. H. (2007). Auf lebendigen Brachen unter extremen Bedingungen. Industrietytische Flora und Vegetation des Ruhrgebietes. Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule 2/56. p. 20-26.
- Kreh, W. (1951). Verlust und Gewinn der Stuttgarter Flora im letzten Jahrhundert. Jahresh. Ver. Vaterl. Naturk. Württemberg 106. p. 69-124.
- Loos, G. H. (1997). Neophytische Kulturflüchtlinge im Stadtzentrum von Kamen/Westfalen. Decheniana 150. p. 5-26.
- Scheuermann, R. (1942). Der Anteil Südamerikas an der Adventivflora des rheinisch-westfälischen Industriegebietes. Rev. Sudamericana Bot. 7. p. 25-65.
- Scholz, H. (1960). Die Veränderungen in der Ruderalflora Berlins. Willdenowia 2. p. 379-397.
- Suffrian, E. (1836). Beitrag zur genauern Kenntniss der Flora von Dortmund. Flora (Regensburg) 19 (1). p. 305-316, 321-326.
- Wittig, R., Diesing, G. & Gödde, M. (1985). Urbanophob – urbanoneutral – urbanophil – Das Verhalten der Arten gegenüber dem Lebensraum Stadt. Flora (Jena) 17. p. 265-282.

Autorenanschrift:

Dr. Götz H. Loos
Ruhr-Universität Bochum
Geographisches Institut
44780 Bochum
Goetz.H.Loos@googlemail.com

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Mannheimer Flora unter besonderer Berücksichtigung populationsbiologischer Aspekte

Possible consequences of climate change on the flora of Mannheim with special reference to aspects of plant population biology

THOMAS JUNGHANS

Zusammenfassung

Keimung, Keimlingsentwicklung und –etablierung sind als Schlüsselprozesse im Lebenszyklus von Pflanzen stark temperaturabhängig. Mit Hilfe einfacher Experimente können die Keimraten in verschiedenen Temperaturbereichen ermittelt werden und als eine Grundlage zur Erstellung von Prognosen über die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenwelt dienen. Die so erhaltenen keimungsbiologischen Daten zeigen einen engen Zusammenhang zwischen Temperatur und Keimerfolg, so dass vor allem bei den wärmebedürftigen Arten der Mannheimer Flora mit einer Arealerweiterung zu rechnen ist. Dies gilt für florenfremde Sippen wie auch für seltene einheimische wie z. B. *Cucubalus baccifer*. Ob invasive Neophyten wie *Ambrosia artemisiifolia* zu den Gewinnern des Klimawandels gehören werden, wird kritisch betrachtet.

Klimawandel, Mannheim, Populationsbiologie, Samenkeimung

Summary

As key processes within a plant's life cycle germination, seedling development and establishment depend strongly on temperature. By means of simple experiments germination rates can be recorded and may be used as basis data to put up a prognosis on possible future effects of climate change on the vegetation. The data shows great correlation between temperature and germination success indicating that especially thermophilous species of the flora of Mannheim will spread further on. This is true for non-native as well as for rare indigenous species like *Cucubalus baccifer*. Whether invasive neophytes like *Ambrosia artemisiifolia* will be favoured by climate change is subject of a critical consideration.

1. Einleitung

Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts wird eine weltweite Erwärmung registriert. Einige Folgen der anthropogen bedingten Klimaveränderungen sind dabei bereits seit Jahrzehnten gut dokumentiert, wie die durchschnittliche Verlängerung der mitteleuropäischen Vegetationszeit um etwa 11 Tage (z. B. Menzel 2003).

Unter den wichtigsten und zugleich experimentell gut simulierbaren Veränderungen, die mit dem Klimawandel einhergehen, sind höhere Temperaturen von besonderer Bedeutung. Als Schlüsselprozesse im Lebenszyklus von Pflanzen sind die Keimung sowie die frühe Keimlingsentwicklung und –etablierung stark temperaturabhängig. Dies betrifft vor allem solche Arten, deren Reproduktionserfolg überwiegend oder ausschließlich auf der Bildung und Ausbreitung generativer Diasporen beruht, unabhängig davon ob es sich um thermophile Sippen handelt, bei denen die adulten Individuen hohen Temperaturen und Trockenheit zu trotzen vermögen.

Samenökologische und keimungsbiologische Aspekte spielen besonders in der frühen Phase des Invasionsprozesses neophytischer Pflanzensippen eine wichtige Rolle, deren starke Ausbreitung mit dem Klimawandel assoziiert wird.

Zur Erstellung von Prognosen, inwieweit die untersuchten Arten zu den „Gewinnern“ des Klimawandels zu zählen sein werden und in welchem Umfang vor allem florenfremde Pflanzen die bestehende Vegetation wohl zukünftig zu verändern vermögen, sollten möglichst viele unterschiedliche Aspekte einbezogen werden. Die hier vorgestellten Ergebnisse populationsbiologischer Untersuchungen mögen dabei die bereits existierenden Szenarien, z. B. die Modellierung potentieller Arealbereiche aufgrund der klimatischen Ähnlichkeit zum ursprünglichen Verbreitungsgebiet (siehe Internetquelle), ergänzen und erweitern.

2. Methode

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die folgenden im Raum Mannheim vorkommenden Pflanzensippen untersucht: *Ambrosia artemisiifolia*, *Amorpha fruticosa*, *Anthriscus caucalis*, *Claytonia perfoliata*, *Conyza albida*, *Conyza canadensis*, *Coronopus didymus*, *Cucubalus baccifer*, *Cymbalaria muralis*, *Dittrichia graveolens*, *Echium plantagineum*, *Fumana procumbens*, *Mirabilis jalapa*, *Parietaria judaica*, *Sideritis montana*, *Solanum carolinense*, *Verbascum blattaria*, *Verbena bracteata*, *Xanthium album*. Zu Vorkommen, Status etc. einzelner Sippen siehe z. B. Junghans 2005, 2007, 2008a, 2009a,b, 2010b,c. Die Nomenklatur folgt weitgehend Wisskirchen & Haeupler (1998).

Die Keimfähigkeit der Diasporen der insgesamt 19 Arten wurde in Ansätzen bei 10° C, 22° C und 27° C unter ansonsten identischen Bedingungen bezüglich Pflanzsubstrat, Bewässerung etc. bei einem Tag-Nacht-Rhythmus von etwa 14h/10h bei Tageslicht überprüft. Als Substrat diente handelsübliche Blumenerde, die gleichmäßig feucht gehalten wurde. Die Diasporen wurden 2- max. 5 Monate vor Versuchsansatz von einer Population gesammelt. Pro Ansatz wurden max. 20 und pro Art somit max. 120 Diasporen verwendet (je 3 Ansätze in Substrat und Wasser). Aufgrund z. T. geringer Verfügbarkeit sowie aus Gründen des Artenschutzes wurden bei seltenen und gefährdeten Arten (z. B. *Fumana procumbens*) auch deutlich weniger Material für die Keimexperimente entnommen. Auf weitere Aspekte wie der Einfluss der Samenruhe aufgrund unterschiedlichen Alters der Diasporen kann im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter eingegangen werden. Zudem mussten Temperaturabweichungen von 0,5-1° C im Tagesverlauf in Kauf genommen werden, da für die Durchführung der Keimversuche keine speziellen Vorrichtungen zur Verfügung standen. Die so erhaltenen Daten wurden im Falle von *Ambrosia artemisiifolia* zusätzlich um Daten zur Populationsstruktur erweitert, indem im Bereich eines Massenbestandes (Jubiläumspark, Mannheim-Sandhofen) die Individuendichte pro Quadratmeter sowohl innerhalb des Bestandes, an dessen Rand und wenig außerhalb zu verschiedenen Zeitpunkten in den Jahren 2009 und 2010 erfasst und daraus die jeweiligen Durchschnittswerte berechnet wurden. Auf zahlreiche weitere Aspekte (z. B. Überprüfung der Schwimmfähigkeit der Diasporen, Untersuchungen der Bodensamenbank, Untersuchungen zur Keimlingsentwicklung etc.) wird hier nicht weiter eingegangen. Abgebrochen wurden die Keimversuche immer dann, wenn nach mindestens acht Wochen Versuchsdauer keine weiteren Keimungen zu verzeichnen waren.



Seit 2004 besiedelt *Solanum carolinense* die Böschungen des Mannheimer Industriehafens (Foto: Junghans)

3. Ergebnisse

3.1 Keimraten

Bei den in Mannheim etablierten wärmebedürftigen Adventivsippen aus Mittel- und Südeuropa (einschl. Mittelmeergebiet) besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Temperatur und Keimungsbiologie. Bei Arten wie *Sideritis montana*, *Echium plantagineum*, *Parietaria judaica*, *Verbascum blattaria*, *Dittrichia graveolens* u.a. nimmt die Keimrate mit steigenden Temperaturen zu, die jeweils höchsten Keimraten werden bei Temperaturen von 27° C erreicht (siehe Tab. 1). Dies gilt ebenso für neuweltliche Arten wie *Coronopus didymus*, *Solanum carolinense* und *Verbena bracteata*.

Auch wenn die Keimphase bei allen wärmebedürftigen Arten ähnlich verläuft, bestehen doch erhebliche Unterschiede bezüglich der Keimrate: So erreicht z. B. *Verbena bracteata* überhaupt nur eine maximale Keimrate von 13,3 % (in Ansätzen bei 27° C) während mindestens 80 % der Diasporen von *Echium plantagineum* oder *Parietaria judaica* bei 27° C keimen.

Die aus dem westlichen Nordamerika stammende *Claytonia perfoliata* dagegen erreicht die maximale Keimrate (100 %) bei mittleren Temperaturen (22° C), dies trifft auch für die noch überwiegend unbeständige Wunderblume (*Mirabilis jalapa*) aus Mexiko zu sowie auch auf *Amorpha fruticosa*.



Als seltene indigene Art könnte *Cucubalus baccifer* von der Klimaerwärmung profitieren
(Foto: Junghans)

Die beiden einzigen Adventivarten, deren maximale Keimrate bei niedrigen Temperaturen (10° C) erreicht wird, sind *Ambrosia artemisiifolia* aus Nordamerika und der submediterrane Hunds-Kerbel (*Anthriscus caucalis*), während bei der Mehrzahl der Arten (63 %) bei dieser Temperatur keine Keimungen beobachtet werden konnten. Dagegen ist die Anzahl der Sippen, die bei hohen Temperaturen nicht keimen mit 15,8 % deutlich geringer. Interessante Unterschiede im Keimverhalten zeigen die nah verwandten und zumeist miteinander vergesellschafteten *Conyza*-Arten, wobei *Conyza albida* deutlich wärmebedürftiger zu sein scheint. Unter den sehr seltenen einheimischen Arten hat der Hühnerbiss (*Cucubalus baccifer*) sein Keimoptimum bei 27° C, während die wenigen Keimlinge bei *Fumana procumbens* im mittleren Temperaturbereich auftreten. Während bei den meisten Arten die maximalen Keimraten nur in einem Temperaturbereich liegen, keimen z. B. bei *Parietaria judaica* 80 % der Samen sowohl bei mittleren wie auch bei hohen Temperaturen, ganz ähnlich verhält sich auch *Cymbalaria muralis*.

Tab. 1: Maximale Keimraten in % bei verschiedenen Temperaturen

Pflanzenarten	Ansatz bei 10° C	Ansatz bei 22° C	Ansatz bei 27° C
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	50 %	37,5 %	0 %
<i>Amorpha fruticosa</i>	0 %	40 %	10 %
<i>Anthriscus caucalis</i>	100 %	40 %	20 %
<i>Claytonia perfoliata</i>	60 %	100 %	16,7 %
<i>Conyza albida</i>	20 %	70 %	100 %
<i>Conyza canadensis</i>	30 %	60 %	70 %
<i>Coronopus didymus</i>	0 %	0 %	60 %
<i>Cucubalus baccifer</i>	0 %	36 %	71,9 %
<i>Cymbalaria muralis</i>	20 %	90 %	80 %
<i>Dittrichia graveolens</i>	0 %	0 %	60 %
<i>Echium plantagineum</i>	0 %	40 %	80 %
<i>Fumana procumbens</i>	0 %	5 %	0 %
<i>Mirabilis jalapa</i>	0 %	100 %	33,3 %
<i>Parietaria judaica</i>	40 %	80 %	80 %
<i>Sideritis montana</i>	0 %	15,6 %	40,6 %
<i>Solanum carolinense</i>	0 %	20 %	40 %
<i>Verbascum blattaria</i>	0 %	6,7 %	38,1 %
<i>Verbena bracteata</i>	0 %	6,7 %	13,3 %
<i>Xanthium albinum</i>	0 %	80 %	0 %

3.2 Zeitlicher Verlauf der Keimphase

Die Keimphase ist bei den wärmebedürftigen Arten in der Regel innerhalb weniger Tage abgeschlossen (siehe Abb. 1), dies gilt besonders für die Ansätze bei 27° C.

Bei mittleren Temperaturen (22° C) kommen deutlich weniger Pflanzen zur Keimung und der gesamte Keimverlauf ist deutlich verlängert (siehe Abb. 2).

In den Ansätzen bei 10° C werden nennenswerte Keimraten meist erst nach mehreren Wochen erreicht. Dies gilt selbst für Arten wie *Anthriscus caucalis* und *Ambrosia artemisiifolia*, die ihre höchsten Keimraten bei niedrigen Temperaturen erreichen (s. Abb. 3).

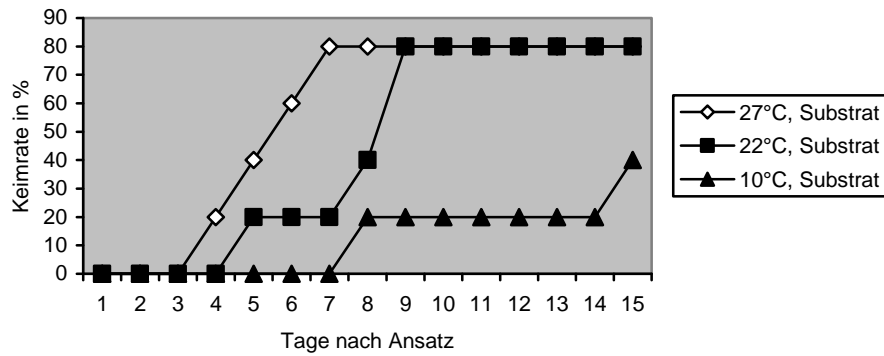


Abb. 1: Keimraten von *Parietaria judaica*

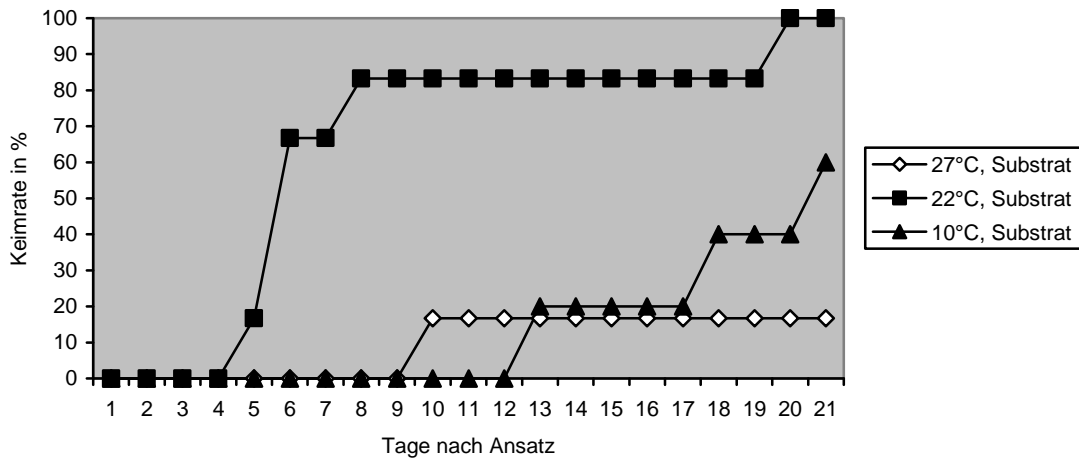


Abb. 2: Keimraten von *Claytonia perfoliata*

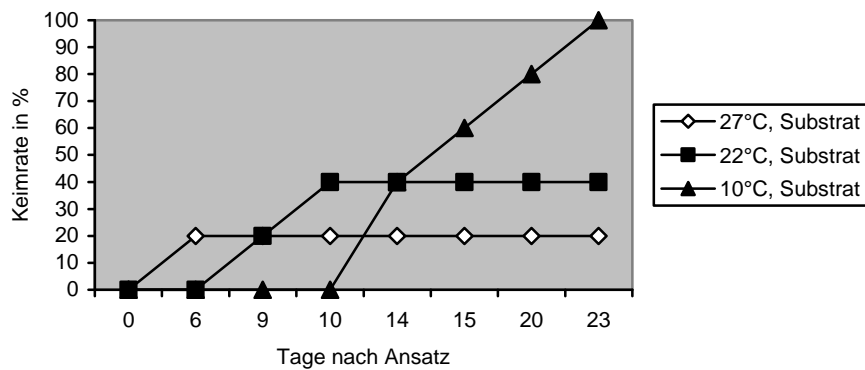


Abb. 3: Keimraten von *Anthriscus caucalis*

3.3 Populationsentwicklung bei *Ambrosia artemisiifolia*

Die Individuendichte pro qm in einem Bestand von *Ambrosia artemisiifolia* zeigt Abb. 4: Anfang bis Mitte April laufen die ersten Keimlinge auf, die dann eine dichte Krautschicht (ca. 2-10 cm hohe Keim- bzw. Jungpflanzen) bilden, wobei z. T. über 1000 Individuen (im Durchschnitt) einen Quadratmeter besiedeln können. Im weiteren Verlauf kann deren Anzahl bis zum nächsten Erfassungszeitpunkt im Mai noch leicht zunehmen (ca. 10 cm hohe Jungpflanzen und niedrigere Keimlinge; Daten aus 2009). Anfang Juli zeigen die 10-30 cm hohen Pflanzen witterungsbedingt mehr oder weniger umfänglich leichte bis mittlere Trocknisschäden und die Bestandsgrößen nehmen in allen drei Bereichen deutlich ab.

Diese Entwicklung setzt sich fort, bis am Ende der Vegetationszeit nur noch höchstens 15 % der Maximalwerte erreicht werden. Lediglich im Bereich außerhalb des Bestandes ist die Überlebensrate größer, allerdings bei insgesamt niedrigen Individuenzahlen.

Die wenige Meter außerhalb des Bestandes ermittelten Individuenzahlen sind ferner auch deshalb bemerkenswert, da sie die eher geringe Ausbreitungsfähigkeit der Diasporen von *Ambrosia artemisiifolia* gut wiedergeben. Diesbezüglich kann man von einer Vergrößerung des Bestandes von ungefähr 1-1,5m pro Jahr (in alle Richtungen) ausgehen.

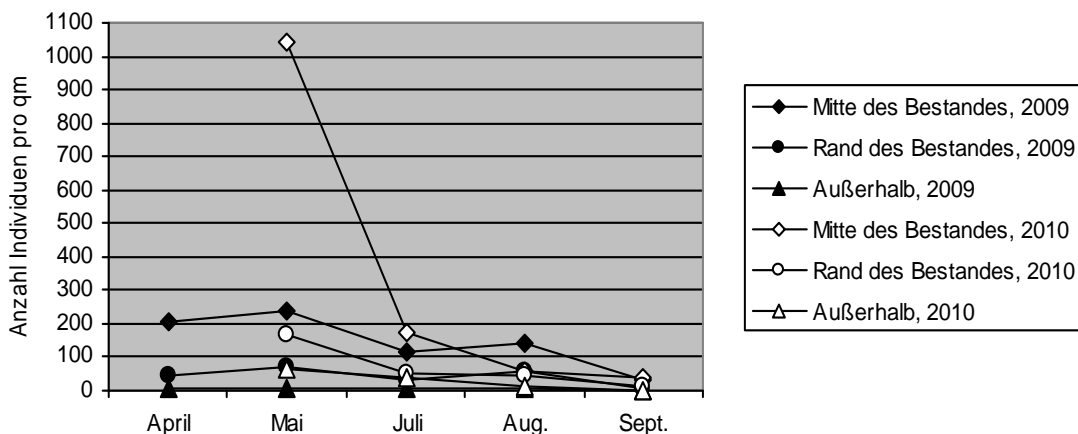


Abb. 4: Raum-zeitliches Muster der durchschnittlichen Individuendichte von *Ambrosia artemisiifolia* im Zeitraum April bis September 2009 und Mai bis September 2010

4. Diskussion

Biologische Invasionen gelten als eine der Hauptursachen für den weltweiten Artenrückgang (Kowarik 2003). Besonders die Frage, inwieweit die Ausbreitung florenfremder Pflanzensippen durch den Klimawandel ausgelöst bzw. gefördert wird und welche Auswirkungen das Eindringen invasiver Neophyten in die vorhandene Vegetation nach sich zieht, sind Gegenstand intensiver Forschung. Erhebliche Arealverluste werden für zahlreiche Arten prognostiziert (Kühn 2008) und die Verdrängung einheimischer Arten durch Neophyten wird befürchtet. In der Folge entstünden so „Neophytenfluren statt Orchideenwiesen“ (Himmler 2009). Tatsächlich bestätigen auch die keimungsbiologischen Daten einen posi-

ven Zusammenhang zwischen Temperatur und Keimrate, so dass „mediterrane“ Sippen auch zukünftig Bestandteil der Mannheimer Flora sein dürften – vorausgesetzt es kommt nicht zu einer Änderung der Dynamik von Einbringung und Einschleppung. Möglicherweise können die bereits im Gebiet vorhandenen sowie zukünftig hinzukommende Sippen unter den für sie günstigeren klimatischen Bedingungen ihr Areal vergrößern und werden somit zu den Gewinnern des Klimawandels zählen. Dies gilt vor allem für Sippen mit breiter ökologischer Amplitude wie *Parietaria judaica*, die hohe Keimraten bei hohen und mittleren Temperaturen aufweisen (zu der mit der Ausbreitung von *Parietaria* verbundene Problematik in Bezug auf die große Allergenität des Glaskraut-Pollens siehe z. B. Junghans 2008b).

Die Daten zu Keimraten und Verlauf der Keimphase können zudem wichtige Aussagen zur bereits erfolgten bzw. zukünftigen Bestandsentwicklung ermöglichen. So ist *Verbena bracteata* seit spätestens Anfang der 1990er Jahre in Mannheim gut eingebürgert, zeigt allerdings nur ein geringes Ausbreitungsvermögen, wofür neben anderen Gründen auch die sehr geringe Keimrate ursächlich sein dürfte.

Als seltene indigene Art erreicht *Fumana procumbens* nur in Ansätzen in Wasser bei mittleren Temperaturen höhere Keimraten (60 %), während bei *Cucubalus baccifer* sowohl die höchsten Keimraten als auch die kürzeste Keimdauer in Ansätzen bei 27° C auftreten, was einer Erweiterung des Areal nach Norden als auch einer weiteren Ausbreitung der Vorkommen in wärmebegünstigten Regionen wohl förderlich sein dürfte. Auch *Conyza albida* (analog zu *C. canadensis*) zeigt eine große Korrelation zwischen Temperatur und Keimrate, so dass in Zusammenhang mit anderen Faktoren (anemochore Diasporen etc.) zukünftig wohl mit einer weiteren Ausbreitung zu rechnen sein dürfte.



Verbena bracteata ist seit den 1990er Jahren in Mannheim eingebürgert (Foto: Junghans).

Invasive Neophyten sind meist keine geeigneten Indikatoren für den Klimawandel, da ihre Vorkommen sehr stark direkt oder indirekt anthropogen bedingt sind (z. B. Böhmer 2001), weshalb sie geradezu als „Bioindikatoren für Störungen und Mismanagement“ gelten können (Brandes 2005, Junghans 2010a). Dies verdeutlichen auch die Daten zu *Ambrosia artemisiifolia*, die überwiegend mit Sonnenblumensamen ein- und verschleppt wird (Alberternst et al. 2006). Sowohl die Keimraten als auch die Befunde zur Individuendichte lassen auf kein sehr ausgeprägtes invasives

Potenzial schließen, außerdem unterliegen die Bestände einer ausgeprägten jahreszeitlichen Dynamik (Abb. 4). Dabei gelingt es am Ende der Vegetationszeit nur wenigen Individuen, sich am Standort erfolgreich zu reproduzieren. Ebenso wenig lassen die geringen Keimraten und die lange Keimdauer bei *Amorpha fruticosa* eine besorgniserregende Bestandsentwicklung entlang von Flussufern und in Auenwäldern erwarten (Junghans 2010d).

Der Nachweis eines direkten Zusammenhangs zwischen Klimawandel und Arealerweiterungen wird wohl kaum jemals möglich sein, auch wenn die in den letzten Jahren festgestellten Ausbreitungstendenzen von Arten wie *Polygonum tetraphyllum*, *Crepis setosa*, *Chondrilla juncea*, *Himantoglossum hircinum* etc. (Mazomeit 2002, Junghans 2007a, 2008a, 2009a, 2010b,C, Himmler 2008, Sonnberger et al. 2008) dies anzudeuten scheinen. Dass insbesondere invasive Neophyten negative Auswirkungen auf die Pflanzenwelt haben können, ist unbestritten (z. B. Callaway & Aschehoug 2000, Hejda et al. 2009). Dennoch halten die vielfach sehr schnell geäußerten Befürchtungen negativer Auswirkungen einer kritischen Überprüfung oft nicht stand. Außerdem dürfte die Gefährdung der Biodiversität durch Eutrophierung, veränderte Landnutzungsformen, Intensivlandwirtschaft, Lebensraumzerstörung durch urban-industrielle Siedlungsentwicklung, Ausbreitung von verwilderten Zierpflanzen etc. (Junghans 2003, Sukopp & Wurzel 2003, van der Veken et al. 2004, Pompe et al. 2008, Junghans 2010a,b,d) eine zumindest bislang noch deutlich größere Rolle spielen.

Literatur

- Alberternst, B., Nawrath, S., Klingenstein, F. (2006). Biologie, Verbreitung und Einschleppungswege von *Ambrosia artemisiifolia* in Deutschland und Bewertung aus Naturschutzsicht. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 58 (11). p. 379-385
- Böhmer, H.J. (2001). Das Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens* DC. 1837) in Deutschland – eine aktuelle Bestandsaufnahme. Flor. Rundbr. 35 (1/2). p. 47-54
- Brandes, D. (2005). Neophyten und Biodiversität. Abhandlungen der BWG 54. p. 25-37
- Brandes, D. (2008). Invasive Pflanzen – Naturkatastrophe oder Spiegel unserer Kulturgeschichte? Abhandlungen der BWG 59. p. 9-36
- Callaway, R.M., Aschehoug, E.T. (2000). Invasive plants versus their new and old neighbors: A mechanism for exotic invasion. Science 290. p. 521-523

- Hejda, M., Pyšek, P., Jarošík, V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of Ecology* 97. p. 393-403
- Himmler, H. (2008): Indikatoren für den Klimawandel in der Flora der Pfalz. *Pollichia-Kurier* 24 (2). p. 12-18
- Junghans, Th. (2003). Landschaftswandel und Naturschutz am Beispiel von Mannheim-Neckarau. *Bad. Heimat* 83(3). p. 516-520
- Junghans, Th. (2005). *Cucubalus baccifer* L. in der Nördlichen Oberrhein-Niederung: Ein bemerkenswerter Neufund in Mannheim. *Flor. Rundbr.* 39. p. 51-56
- Junghans, Th. (2007). Zu den Vorkommen einiger bemerkenswerter Neophyten in Mannheim (Baden-Württemberg). *Flor. Rundbr.* 41. p. 51-57
- Junghans, Th. (2008a). Neufunde – Bestätigungen – Verluste Nr. 581-591. *Ber. Bot. Arbeitsgem. Südwestdeutschland* 5. p. 139-141
- Junghans, Th. (2008b). Das Glaskraut – eine verkannte Allergiepflanze in Mitteleuropa. *Pharm. Unserer Zeit* 37 (5). p. 433
- Junghans, Th. (2009a). „Neubürger“ der Uferflora am Unteren Neckar – Neophyten zwischen Heidelberg und Mannheim. *Unser Land.* p. 231-233
- Junghans, Th. (2009b). Zum Vorkommen des Zwerg-Sonnenröschens (*Fumana procumbens* (Dunal) Gren. & Godr. 1847) in der nördlichen Oberrheinebene unter besonderer Berücksichtigung eines Neufundes in Mannheim. *Florist. Rundbriefe* 43. p. 8-16
- Junghans, Th. (2010a). Sind invasive Neophyten geeignete Indikatoren für den Klimawandel? *Pollichia-Kurier* 26 (2). p. 6-8
- Junghans, Th. (2010b). Flucht aus dem Garten – Verwilderungen von Zierpflanzen in der Kurpfalz. *Unser Land.* p. 205-208
- Junghans, Th. (2010c). Neufunde – Bestätigungen – Verluste Nr. 709-724. *Ber. Bot. Arbeitsgem. Südwestdeutschland* 6. p. 104-106
- Junghans, Th. (2010d). Der Bleibusch (*Amorpha fruticosa*) als Neophyt in der Ufervegetation des Rheins. *Pollichia-Kurier* 26 (4). p. 11-14
- Kowarik, I. (2003). *Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa*. 1. Aufl. Ulmer. Stuttgart. 380 S.
- Kühn, I. (2008). Die floristische Kartierung – ein heißes Thema. *Florist. Rundbriefe* 42. p. 154-165
- Mazomeit, J. (2002). Zum Status und zur Ausbreitung von *Polycarpon tetraphyllum* L. (L.) in Mitteleuropa. *Flor. Rundbr.* 36 (1/2). p. 15-24
- Menzel, A. (2003). Anzeichen des Klimawandels in der Pflanzen- und Tierwelt. *LWF aktuell* 37. p. 14-18
- Pompe, S., Hauspach, J., Badeck, F., Klotz, S., Thuiller, W., Kühn, I. (2008). Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biol. Lett.* 4. p. 564-567
- Sonnberger, M., Lalov, S.V., Ziegler, S. (2008). Borsten-Pippau (*Crepis setosa*) und Nagelkraut (*Polycarpon tetraphyllum*), zwei seltene Arten in der Kurpfalz in Ausbreitung. *Ber. Bot. Arbeitsgem. Südwestdeutschland* 5. p. 124-127
- Sukopp, H. & Wurzel, A. (2003). The Effects of Climate Change on the Vegetation of Central European Cities. *Urban habitats* 1 (1). p. 66-86
- Van der Veken, S., Verheyen, K., Hermy, M. (2004). Plant species loss in an urban area (Turnhout, Belgium) from 1880 to 1999 and its environmental determinants. *Flora* 199 (6). p. 516-523
- Wisskirchen, R. & Haeupler, H. (1998): *Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands*. 1. Aufl. Ulmer. Stuttgart. 765 S.

Internetquelle:

http://www2.biologie.uni-halle.de/bot/ag_chorologie/neophyten/
(eingesehen am 9. August 2010)

Autorenanschrift:

Dipl.-Biol., Dipl.-Umweltwiss.
Thomas Junghans
Rotdornweg 47
D-33178 Borchen
E-mail: tjunghans@aol.com

Cool Places – historische Vorbilder, aktuelle Trends

Beiträge der Landschaftsarchitektur zur Anpassung an den Klimawandel

Cool places – Historic examples, new tendencies

How landscape architecture contributes to the adaptation to climate change

MATTHIAS LAMPERT

Zusammenfassung

Die Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse eines Ortes und deren Gestaltung durch die gezielte räumliche Anordnung von Freiflächen, Pflanzen und Bauelementen gemäß ihrer thermischen Eigenschaften bzw. mikroklimatischen Auswirkungen gehört seit langem zum Standardrepertoire der Landschaftsarchitektur. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels gilt es, diese – zumindest teilweise in den Hintergrund geratene – Kompetenz zur Sicherung und Verbesserung urbaner Freiraumqualitäten zu aktivieren – nicht nur bei Neuplanungen sondern auch im Bestand, sowohl auf der Ebene der Objektplanung, als auch im städtebaulichen Maßstab.

Anhand von Beispielen italienischer Gärten des 15. bis frühen 17. Jahrhunderts wird gezeigt, dass klimatische Erwägungen große Bedeutung für den Entwurf auf den verschiedenen Detaillierungsebenen hatten. Es wird diskutiert, inwieweit sich historische Raumkonzepte, Planungsgrundsätze und Methoden der Klimamodifikation in der aktuellen Freiraumplanung wiederfinden bzw. sich hierher übertragen lassen.

Landschaftsarchitektur, Mikroklima, Klimamodifikation, Renaissancegärten, italienische Gärten, Klimawandel, Anpassung

Summary

The consideration and subsequent modification of climatic conditions by deliberately arranging open spaces, plants and constructional elements according to their specific thermal properties and microclimatic effects has been, for a long time, part of the standard repertoire of landscape architecture. Eventually, though, the employment of this expertise has been partly eclipsed by other professional demands. Our growing awareness of climate change now makes it necessary to reactivate this knowledge in order to secure and improve the quality of urban open spaces. This applies not only to new developments but also to existing landscapes, both on a single project scale as well as on a wider basis.

Examples of Italian gardens of the 15th to early 17th century show that climatic considerations were of great importance in their various designs. This article discusses to what extent historic spatial concepts, planning principles and methods are employed or are suitable for use in today's open space planning.

1. Einführung

Städte und damit auch die urbane Lebensqualität sind wegen ihres hohen Versiegelungsgrads und ihrer Dichte besonders stark von den direkten und indirekten Folgen des Klimawandels betroffen. In Mitteleuropa liegt eine wesentliche Herausforderung in der Zunahme der thermischen Belastung während sommerlicher Hitzewellen, die in Zukunft wohl häufiger, länger und intensiver auftreten werden und an die die hiesigen Stadtstrukturen nur zum Teil angepasst sind (Mayer, Holst 2011).

Als umsetzungsorientierte Gestaltungsdisziplin kann die Landschaftsarchitektur sowohl im

gesamstädtischen Maßstab als auch auf der Ebene der Objektplanung Beiträge zur Verbesserung der stadt- und mikroklimatischen Bedingungen leisten. Schwerpunkt dieses Textes sind die thermophysikalischen und wahrnehmungspsychologischen Ansatzpunkte für die Gestaltung der mikroklimatischen Verhältnisse mit den Mitteln der Landschaftsarchitektur. Diese werden gestützt auf Leon Battista Alberti, einem der wichtigsten Architekturtheoretiker der Frühen Neuzeit, und anhand von Beispielen v. a. italienischer Gärten des 15. bis frühen 17. Jahrhunderts dargestellt und diskutiert. Die Gärten dieser Zeit bieten sich hierfür an, weil das Mikroklima und seine Beeinflus-

sung bereits bei der Planung eine wichtige Rolle spielten, auch wenn dies nur ein kleiner, funktionaler Aspekt aus dem weiten kulturgeschichtlichen Kontext der Entstehung dieser Anlagen ist. Zusätzlich bewegen sich die mittelfristig für unsere Breiten projizierten Klimabedingungen mit trockeneren und wärmeren Sommern und teilweise regenreicheren Wintern in Richtung 'italienischer Verhältnisse' (Umweltbundesamt 2007).

Die Kernaussage dieser Arbeit ist, dass die Möglichkeiten, die mikroklimatischen Bedingungen im Freiraum zu gestalten, im Prinzip seit langem bekannt sind, diese aber in den letzten Jahren aus verschiedenen Gründen etwas in Vergessenheit gerieten. Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist den mikroklimatischen Aspekten wieder mehr Bedeutung bei der Gestaltung insbesondere öffentlicher Freiräume beizumessen, damit man sich dort angenehm aufhalten kann. Der technische Begriff hierfür ist *Thermische Behaglichkeit*. Er beschreibt den Zustand (*condition of mind*), in dem man mit seiner aktuellen thermischen Umwelt zufrieden ist (ASHRAE 1966). Das Behaglichkeitsempfinden wird auf der physischen Ebene durch ein komplexes Zusammenspiel sowohl äußerer, mikroklimatischer Faktoren als auch individueller physiologischer und situationsbezogener Einflussgrößen bestimmt. Bei den individuellen Faktoren sind vor allem Statur, Aktivität und Kleidung von Bedeutung. Die äußeren, mehr oder weniger mit den Mitteln der Landschaftsarchitektur beeinflussbaren Faktoren sind die Strahlungsverhältnisse (kurzwellige Sonnenstrahlung und Wärmestrahlung), Oberflächentemperaturen sowie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung. Zusätzlich beeinflussen wahrnehmungspsychologische Aspekte, das Behaglichkeitsempfinden, das sich durchaus vom thermischen Befinden unterscheiden kann (Nikolopoulos 2004).

Diese Zusammenhänge stelle ich zunächst anhand der historischen Beispiele dar. Anschließend gehe ich auf die gegenwärtigen Aufgaben, Bedingungen und Möglichkeiten der Mikroklimamodifikation durch die Landschaftsarchitektur ein.

2. Historische Gärten als 'Klimaanlagen'

2.1 Physikalische Ansatzpunkte

Physikalische Ansatzpunkte für die Herstellung von thermischer Behaglichkeit sind die Energieströme bzw. die Mechanismen, über die der Mensch Wärme aufnimmt und abgibt. Landschaftsarchitektonisch relevant sind hier der Wärmeaustausch über elektromagnetische Wellen, der direkte Wärmeaustausch mit der Luft (Konvektion), die Wärmeleitung durch feste oder flüssige Materialien und der sogenannten Strom latenter Energie; das ist die bei der Verdunstung von Flüssigkeiten der Umgebung entzogene und bei der Kondensation wieder freigesetzte Wärme.

Sonne und Wind (kurzwellige Strahlung, Konvektion, Verdunstungskühlung)

Im Freiraum hat an sonnigen Tagen die Steuerung der kurzwellige Sonnenstrahlung den größten Einfluss auf das thermische Befinden. Der thermophysiologische Unterschied zwischen einer besonnten und einer nicht besonnten Straßenseite kann im Sommer und bei Windstille 15° C betragen (Mayer & Matzarakis 1998). Im Schatten von Bäumen kann man mit einem Unterschied von bis zu 10° C rechnen (Bauer 1999). Ansatzpunkte für den Landschaftsarchitekten sind hier also vor allem die Lichtdurchlässigkeit bzw. Beschattungswirkung von Bauelementen und Pflanzen. Klassische Beschattungselemente im landschaftsgärtnerischen Bereich sind vor allem Bäume, Laubengänge, Zeltdächer, Pergolen oder Pavillons. Im Bereich des Hoch- und Städtebaus sind Alleen, Kolonnaden bzw. Arkadengänge, Hallen sowie textile Überdachungen zu nennen. Diese Elemente wurden und werden in einer jeweils zeitgemäßen Gestaltssprache mit entsprechenden Materialien bzw. Materialkombinationen ausgeführt (Abb. 1/2). Grundsätzlich ist wichtig, dass die Bauelemente bzw. Pflanzen in Abhängigkeit von den örtlichen Geländeverhältnissen, dem Sonnenlauf oder dem zeitlichen Muster der Flächennutzungen räumlich angeordnet werden.



Abb. 1/2: Als geschützte öffentliche Freiräume im Prinzip sehr ähnlich: der *mercato nuovo* in Florenz und die neue Straßenbahnhaltestelle an der Münchner Freiheit in München

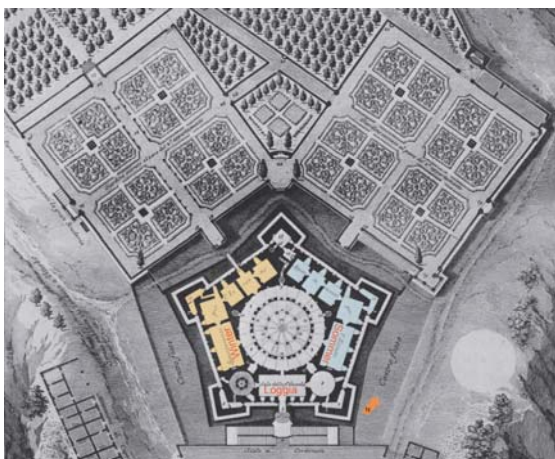


Abb. 3: Grundriss der Villa Farnese, Caprarola (Giuseppe Vasi 1748)

Ein gutes Beispiel für den räumlich differenzierten Umgang mit der kurzweiligen Strahlung ist die Villa Farnese in Caprarola, ca. 60 km nordwestlich von Rom. Dies mag angesichts der in Abb. 3 deutlich werdenden strengen Symmetrie der Anlage zunächst überraschen: Im Grundriss erkennt man die pentagonale Form der ursprünglich als Festung geplanten Villa sowie jenseits des Burggrabens zwei spiegelbildlich angeordnete *Hängende Gärten*, die jeweils über Brücken von den zugeordneten Wohnbereichen des Hauptgeschosses (*piano nobile*) zu erreichen sind. Diese sind ebenfalls spiegelbildlich angeordnet. Die Symmetrie täuscht eventuell darüber hinweg, dass sich die Strahlungsverhältnisse und damit die Aufenthaltsqualitäten in den beiden Bereichen je nach Sonnenstand deutlich unterscheiden. Entsprechend befinden sich im Norden des Pentagons die Räume für den Sommer (blau hinterlegt) und im Westen die für den Winter (gelb hinterlegt). Die Loggia über dem Eingangsraum ist entsprechend dem damaligen Baustandard, mikroklimatisch vorteilhaft nach Südosten ausgerichtet. Alberti (1485) schreibt hierzu: *"Die Säulenhalle, meinten die Alten, sei gen Mittag zu legen, weil im Sommer die Sonne in höherem Bogen ihren Kreis ziehe und die Strahlen daher nicht hineinfallen. Im Winter aber fallen Sie hinein."* Die klimatische Differenzierung der räumlichen Anordnung betrifft nicht nur das Gebäude, sondern auch die Gärten. Während der Sommergarten im Norden im Mittagsschatten des Gebäudes liegt, ist der westlich gelegene Wintergarten ab dem Vormittag besonnt. Darüber hinaus unterscheiden sich die Gärten auch hinsichtlich der Windverhältnisse. Diese Unterschiede wurden bei der Gestaltung der Gärten berücksichtigt bzw. im Sinne einer mikroklimatisch vielfältigen Gestaltung genutzt. Einen Eindruck hiervon gibt ein Fresco, das die Villa Farnese von Osten her zeigt (Abb. 4). Winter- und Sommergarten unterscheiden sich hier deutlich. Im Wintergarten erkennt man einen Laubengang (A), der nicht nur als Sonnen-, sondern auch als Windschutz dient. In der Ostwand des Sommergartens öffnet sich ein schattiger Pavillon (B) der kühlen Brise (Sullivan 2002). Bei Russell (1997) finden sich zusätzlich Hinweise auf Brunnenanlagen, die die sommerliche Hitze über Verdunstungskühlung milderten. Nach dem Architektur- und Gartenhistoriker David R. Coffin (1991) vermittelt der kreisrunde Bereich im Zentrum (C) ein Gefühl von Weite, das bei warmen Wetter angenehm ist: *"[...] promoting a feeling of broad expanse suitable for warm weather."*



Abb. 4: Fresco der Villa Farnese, Caprarola (vermutl. Raffaellino da Reggio, 16. Jh.)

Massive Materialien (langwellige Strahlung, Wärmeleitung)

Der Wintergarten verfügt zusätzlich über eine nach Südosten exponierte Terrasse (D), die von einem Wäldchen und einer massiven Stützmauer mit Sitznische vor dem kühlen Nordostwind geschützt wird. Diese Mauer (Abb. 5) wirkt auf verschiedene Weise auf den menschlichen Wärmehaushalt und damit auf das Behaglichkeitsempfinden ein: Erstens hemmt der Windschutz den Wärmeaustausch zwischen Körperoberfläche und Luft (Konvektion und Übergang latenter Wärme). Zweitens gibt sie Energie als Wärmestrahlung ab. Deren Intensität wird durch die Emissivität und Temperatur der Maueroberfläche bestimmt, die wiederum vom Tageslauf der Besonnung und den Oberflächen- und Materialeigenschaften der Mauer wie kurzwellige Albedo, Wärmeleitfähigkeit und -speicherkapazität abhängig ist. Die Wärmestrahlung ist z. B. die Ursache dafür, dass es noch lange nach Sonnenuntergang auf einer tagsüber besonnten Terrasse angenehm warm ist oder dass es unter dem Blätterdach eines Biergartens weniger schnell auskühlt als unter freiem Himmel. Drittens kann die Wärmeleitung eine Rolle spielen, wenn man sich auf die eingebaute Bank setzt. Diese Wärmeübergänge können im Prinzip in beide Richtungen ablaufen, also dem menschlichen Körper und seiner Umgebung entweder Wärme entziehen oder zuführen, was je nach aktuellem thermischen Be- bzw. Empfinden mehr oder weniger willkommen ist. Mit der sinnvollen räumlichen Anordnung geeigneter Materialien können die mikroklimatischen Verhältnisse entsprechend den jeweiligen Anforderungen modifiziert werden. Alberti (1485) schreibt zum Wärmeverhalten von Baustoffen:

"An Orten, wo die Sommerhitze sehr lästig ist, wird eine Mauer, welche aus Bimsstein hergestellt ist, die Erwärmung weniger aufnehmen und auch weniger bewahren."



Abb. 5: Stützmauer mit Sonnenterrasse an der Nordwestseite des Wintergartens der Villa Farnese, Caprarola

Speicherwände, bei denen die thermische Trägheit massiver Mauern ausgenutzt wird, finden sich in vielen Gartenanlagen. Ihr differenzierter Einsatz lässt sich sehr gut am Beispiel der Villa Medici in Fiesole zeigen (Abb. 6/7). Sie wurde Mitte des 15. Jahrhunderts für Giovanni di Medici (1421) an einem Hang oberhalb der Stadt Florenz errichtet, an einem Ort, von dem aus – ich zitiere Alberti (1485), der sich über den Bautypus des Landhauses äußert – *"man alle Vorzüge und Annehmlichkeiten der Luft, der Sonne und der Aussicht ganz ungezwungen genießen kann."* In der Tat kommt die Villa Medici aufgrund ihrer Lage ca. 250 m oberhalb von Florenz auch dann in den Genuss frischer Westwinde, wenn unten im Arnotal drückende Hitze herrscht. Im Winter sind die nach Süden und Westen exponierten Gartenterrassen durch die Mauern vor dem kalten Nordostwind geschützt. Die größte technische Herausforderung beim Bau war die starke Geländeneigung. Diese machte einerseits aufwändige Stützmauern notwendig, ermöglichte andererseits aber auch die komplexe Struktur der Anlage mit Terrassen und ebenerdigen Gebäudezugängen auf verschiedenen Geländeneiveaus. Die gesamte Anlage wurde im Laufe der Zeit mehrmals umgebaut und ergänzt. Dennoch sind bis heute wesentliche Teile ihrer baulichen Grundstruktur erhalten.

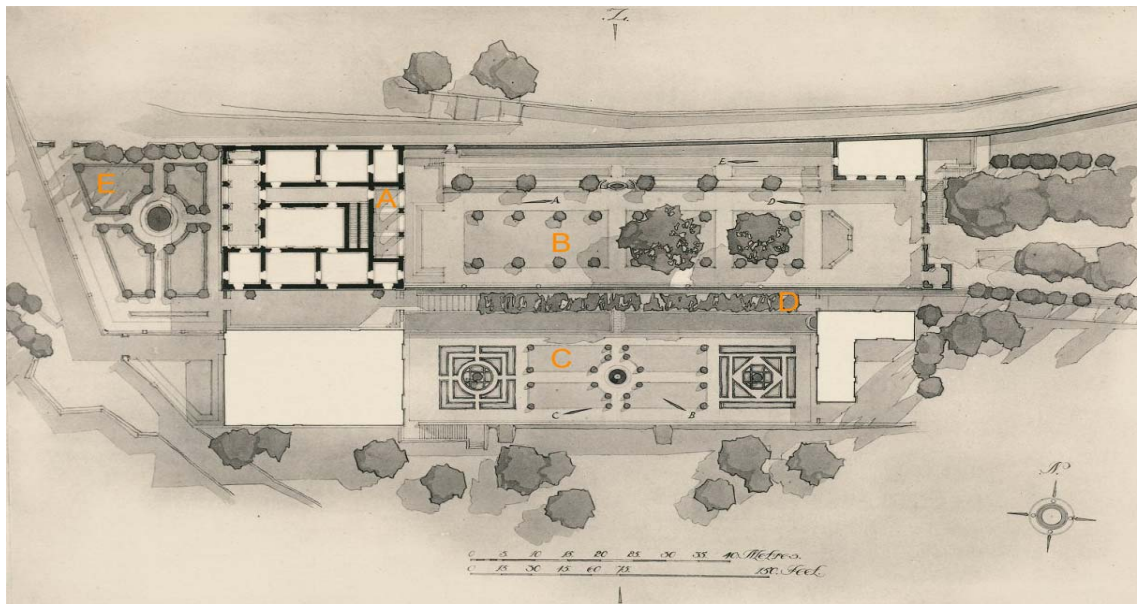


Abb. 6/7: Villa Medici, Fiesole

Aus dem *piano nobile* des Gebäudes gelangt man nach Osten über eine Loggia (A) direkt auf die obere der beiden südexponierten Gartenterrassen (B/C). Unterhalb der Stützmauer zwischen den beiden Terrassen befindet sich auf halber Höhe eine Pergola (D). Die Terrassen sind wegen ihrer Ausrichtung auch im Winter angenehme Aufenthaltsorte, wenn die Sonne scheint. An der Mauer unterhalb der Pergola überwintern sogar Zitruspflanzen, die vom Windschutz und von der Wärmespeicherung und -abstrahlung der Mauern profitieren – dies verweist darauf, dass vermutlich ein wesentlicher Impuls für die Mikroklimamodifikation aus dem Gartenbau kommt. Über die Pergola gelangt man auch in den trapezförmigen *giardino segreto* (E) an der Westseite der Villa (Abb. 8). Er ist im Norden und Osten durch die Gebäudewand und eine Mauer geschützt. Entlang der Hauswand zieht sich eine mehrere Meter lange Sitzbank. Sie wird

während der Übergangsjahreszeiten noch angenehm warm, wenn die anderen Terrassen schon abgekühlt sind. Analog unterscheiden sich die mikroklimatischen Verhältnisse je nach Tages- und Jahreszeit auch in den nach Osten und Westen ausgerichteten Loggien. Aufgrund des Gebäudeschattens und der thermisch trägen Materialien ist es an heißen Sommertagen im *giardino segreto* morgens auch noch länger kühl.



Abb. 8: *giardino segreto*, Villa Medici, Fiesole

Dieser Kühlungseffekt der im Vergleich zur Umgebungstemperatur geringeren Wärmestrahlung thermisch träger Materialien lässt sich optimieren indem man entsprechende Materialmengen mit geeigneten thermischen Eigenschaften (hoher Wärmekapazität, Oberflächen mit geringer Emissivität und hoher kurzweiliger Albedo) räumlich sinnvoll anordnet und deren Erwärmung z. B. durch um-

fangreiche Verschattung minimiert. Auf diesen Effekt bezieht sich Alberti, wenn er – allerdings bezogen auf den Innenraum – schreibt: *"Um wiederum einen an sich kühleren Schatten zu erhalten, wird es angebracht sein, das Dach mit einem Dache und die Mauer mit einer Mauer zu bedecken. Und je mehr diese voneinander abstehen, desto mehr wird der Schatten gegenüber der Hitze zur Geltung kommen, so daß ein bedeckter und umschlossener Ort weniger warm wird. Dieser Zwischenraum [...] hat auch den Vorteil, daß die Mauer die von der Sonne empfangene Hitze später langsamer abgibt und die vorhandene Kälte auch länger festhält"* (1485).

Alberti widmet dem Aspekt der Kühlung besondere Aufmerksamkeit, denn *"[...] nach meiner Meinung wird einer, der baut, für die Bedürfnisse des Sommers bauen, wenn er gescheit ist. Denn dem Winter zu genügen, ist eine leichte Mühe: Mach' zu und zünd' den Ofen an. Gegen die Hitze versucht man vieles, doch hilft dies nicht immer viel"* (1485, S. 286). Er schreibt: *"Unsere Vorfahren bedienten sich gegen die Gewalt der Hitze sehr vieler Mittel, unter welchen die Kryptoportiken und die Gewölbe Gefallen finden, besonders jene, welche nur durch ihren obersten Scheitelpunkt Licht empfangen. Es gefielen ihnen auch Hallen, mit offenen von Süden abgewendeten Fenstern, welche besonders von der Decke beschattete Lüfte erhielten. [...] Wo die Luft von einem weiten Raum, besonders wenn dieser von der Sonne beschienen wird, kommt, so ist sie warm, kommt sie aber aus einer engeren schattigeren Gasse, so ist sie dort lebhafter und erfrischender"* (1485).

Praktisch umgesetzt findet sich dies in den Grotten, die man in zahlreichen Gärten findet. Die in Abb. 9 gezeigte Grotte aus dem *Sacro Bosco* bei Bomarzo mit einem als Zunge ausgeführten Tisch und einer umlaufenden Bank im Inneren belegt, dass sie auch bewusst als Aufenthaltsraum angelegt wurde. Der Temperaturunterschied zwischen dem Grotteninneren und einem schattigen Bereich außerhalb beträgt an warmen Sommertagen immerhin ca. 3° C – ohne zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. die Kühlung durch Verdunstung.



Abb. 9: Grotte im *Sacro Bosco*, Bomarzo

Verdunstungskühlung (Strom latenter Energie)

Verdunstungskühlung kann auf zweifache Weise zur Mikroklimamodifikation eingesetzt werden: zum einen zur Kühlung von Oberflächen, um deren langwellige Abstrahlung zu minimieren und zum anderen, um die Luft zu kühlen. Dieses ist wegen deren Flüchtigkeit allerdings nur räumlich begrenzt möglich. Dennoch können auch im Freiraum fühlbare Effekte erzielt werden, insbesondere, wenn verhindert wird, dass die gekühlte Luft schnell abfließt. Der in Abb. 10 gezeigte Bereich der *Villa d'Este* in Tivoli ist beschattet und windgeschützt und wird von einem künstlichen Wasserfall dominiert. Hier liegt an einem warmen Sommernachmittag die Lufttemperatur ca. 5° C unter dem im Umgriff einer offenen Aussichtsterrassen gemessenen Wert (eigene Messung im Juli 2008).



Abb. 10: Fontana dell'Ovato, *Villa d'Este*, Tivoli

Die Kühlwirkung ist abhängig von der Menge des verdunstenden Wassers und der Wasseraufnahmefähigkeit der Luft, also von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Windgeschwindigkeit, die die Nachlieferungsrate aufnahmefähiger Luftpakete oder – physikalisch korrekter – die Dicke der Grenzschicht bestimmt. Bei der Luftkühlung ist es entscheidend, dass möglichst feine Wassertröpfchen in der Luft verdunsten. Der Effekt der Verdunstungskühlung wird auch bei den in vielen historischen Gartenanlagen zur Erheiterung eingesetzten Wasserscherzen wirksam (Abb. 11). Über die rein physikalischen Zusammenhänge hinaus wird hier auch auf der wahrnehmungspsychologischen Ebene von möglicherweise thermisch unbehaglichen Bedingungen abgelenkt.



Abb. 11: Wasserscherz, Villa Farnese, Caprarola

2.2 Wahrnehmungspsychologische Aspekte

Dies leitet über zur Villa Lante in Bagnaia (Abb. 12). Sie stammt ebenso wie die Villa Farnese und die Villa d'Este aus der Mitte des 16. Jahrhunderts. Wegen ihrer harmonischen Komposition und des Zurücktretens der Gebäude hinter den Freiraum gilt sie als ein Hauptwerk der italienischen Gartenkunst. Der Garten besteht aus einer Abfolge von vier Terrassen entlang einer zentralen Achse, an der über einen Höhenunterschied von insgesamt 15 m eine Vielzahl von Wasserspielen aufgereiht ist. Dem Lauf des Wassers durch die verschiedenen Brunnen, Becken und Gerinne folgend gelangt man von der schattigen obersten Terrasse über mehrere Treppenanlagen zum sonnigen, formalen Parterre auf der untersten Terrasse.



Abb. 12: Villa Lante, Bagnaia

In der Literatur zur Villa Lante wird vor allem ihr künstlerisches Programm thematisiert. Zu mikroklimatischen Gesichtspunkten findet sich wenig und auch bei einem Besuch des Gartens fallen mikroklimatisch relevante Elemente als solche erst auf den zweiten Blick auf. Diese Beiläufigkeit, mit der das funktionale physische Repertoire der passiven Klimamodifikation differenziert in die Gestaltung der Anlage integriert ist, ist ein Grund, warum die Villa Lante für Landschaftsarchitekten interessant und lehrreich ist. Auf engstem Raum gibt es Sonne und Schatten, windgeschützte und offene Bereiche, kühle Grotten und warme Mauern. Wasser findet man zur Kühlung durch Wärmeleitung und Verdunstung vielfältig eingesetzt. Der zweite Grund weswegen die Villa Lante mikroklimatisch aufschlussreich ist, sind die wahrnehmungspsychologische Einflussgrößen auf das thermische Empfinden, die sich an ihr fest machen lassen. Diese werden erst seit einigen Jahren systematisch untersucht und ins Verhältnis zu den physikalischen Aspekten des Behaglichkeitsempfindens gesetzt. Eine Untersuchung des Mikroklimas verschiedener öffentlicher Freiräume in Cambridge und des thermischen Empfindens der sich dort aufhaltenden Menschen im Jahr 1997 zeigte eine deutliche Diskrepanz zwischen dem subjektiven Empfinden und den objektiven mikroklimatischen Bedingungen (Nikolopoulou 2004). In der Regel fühlten sich die Menschen behaglicher als das verwendete Energiebilanzmodell vorausgesagt hatte, das ursprünglich unter Laborbedingungen für die Arbeitsplatzergonomie entwickelt und dort auch erfolgreich eingesetzt wurde. Eine Reihe von Faktoren wurde als Ursachen für diese Diskrepanz identifizierten, z. B. die Wahrnehmung der klimatischen Bedingungen als natürlich. Im Garten, dem Ort der Auseinandersetzung mit der Natur, akzeptiert man es eher, unangenehmen Witterungsbedingungen ausgesetzt zu sein als beispielsweise beim Einkaufen in der Stadt, insbesondere, wenn es wie in der Villa Lante die Möglichkeit gibt, von der Sonne in

den Schatten oder aus dem Regen unter das Blätterdach einer Platane zu wechseln. Dies ist ein zweiter Faktor: das Gefühl, Kontrolle über sein thermisches Befinden zu haben, indem man z. B. seine Kleidung lockert oder durch eine Ortsveränderung eine thermisch angenehmere Situation erreicht. Drittens beeinflussen auch die Erfahrungen bzw. die Erwartungen an die klimatischen Bedingungen eines Ortes das thermische Empfinden. Viertens spielt die Stimmung eines Ortes bei der Wahrnehmung der mikroklimatischen Verhältnisse eine Rolle. Zu den in diesem Sinne atmosphärisch (!) wirksamen Elementen gehören die Farbe, die räumliche Konfiguration, die haptischen Eigenschaften und symbolischen Bedeutungen von Orten und Objekten bzw. Materialien (Lenzhölzer 2010, S. 109 u. 157), die natürlich häufig auch den tatsächlichen thermophysikalischen Eigenschaften entsprechen. Die schattige Terrasse mit der steinernen Treppe im Vordergrund und der lichte Pinienhain im Hintergrund von Abb. 13 evozieren zu recht ganz unterschiedliche Vorstellungen von den jeweiligen thermischen Bedingungen. Das Bild *Villa Lante I* (Abb. 14) von Ulrich Erben lässt sich als eine atmosphärische Thermografie des Gartenparterres interpretieren (vgl. Abb. 12), die sich in Beziehung zum technisch messbaren Mikroklima dieses Gartenbereichs setzen lässt.



Abb. 13: Schon auf den ersten Blick erschließen sich die unterschiedlichen mikroklimatischen Verhältnisse im Pinienhain und auf der von Platanen beschatteten Terrasse der Villa Lante.



Abb. 14: Villa Lante I, Ulrich Erben (1999). Das Bild lässt sich als atmosphärische Thermografie des Gartenparterres lesen, vgl. Abb. 12.

3. klimatische Aspekte in der aktuellen Landschaftsarchitektur

3.1 Neuere Beispiele - alter Wein in neuen Schläuchen?

Die heute angewendeten Raumkonzepte, Planungsgrundsätze und Methoden der Klimamodifikation im Freiraum unterscheiden sich im Grundsätzlichen kaum von den historischen. Nach wie vor orientiert man sich am Lauf der Sonne und den vorherrschenden klimatischen Bedingungen, baut schattige Plätze, wenn die Sonne zu sehr brennt, kühlt die Luft, wenn es zu warm ist und nutzt die thermischen Eigenschaften von Materialien. Dabei haben sich die technischen Möglichkeiten seit der Renaissance natürlich stark erweitert. So sind z. B. Sprühnebeldüsen hinsichtlich der Verdunstungskühlung erheblich effizienter als die meisten herkömmlichen Brunnenanlagen. Auch erlauben moderne Materialien und Steuerungstechniken klimamodifizierende Bauelemente wie Verschattungen oder Kühlvorrichtungen je nach Bedarf flexibel einzusetzen.

Ein eher experimentelles Beispiel hierfür ist ein zweischaliger Betonblock mit integrierter Wasserkühlung, der im Rahmen einer Dissertation an der Uni Kassel entstand (Abb. 15). Relaisgesteuert kann die schwarze Drainbetonoberfläche, die sich bei Sonne sehr stark erwärmt, in kurzer Zeit geflutet werden, wodurch deren Temperatur innerhalb kurzer Zeit deutlich vermindert wird (Laue 2009).



Abb. 15: Wassergekühlter Betonblock, Kassel

Ein Projektbeispiel für die Gestaltung des Mikroklimas im städtischen Freiraum ist eine Wasseranlage, die 2006 im Zuge eines größeren Investitionsprogramms zur Verbesserung der Qualität des öffentlichen Raums am *Place de la Bourse* in Bordeaux entstand (Abb. 16). Es handelt sich um ein etwa 2 cm flaches Wasserbecken mit ca. 900 Sprühdüsen, die in bestimmten Intervallen ein bis zu 2 m dickes Nebelpaket erzeugen, was besonders an heißen Sommertagen eine Attraktion ist.

Der technische Fortschritt betrifft auch die Entwicklung von Simulationsmodellen wie beispielsweise das als Freeware erhältliche *Envimet*. Sie helfen, die mikroklimatischen Auswirkungen von Freiraumplanungen zu quantifizieren. Damit sind den planenden Disziplinen Werkzeuge an die Hand gegeben, die mikroklimatischen Verhältnisse schon im Entwurfsstadium zu optimieren. Abgesehen von größeren interdisziplinären Projekten werden derartige Modelle in der Praxis der Landschaftsarchitektur bisher allerdings nicht häufig verwendet. Nach einer Umfrage unter Landschaftsarchitekten ist auch das Bewusstsein des Berufsstandes für die Möglichkeiten, die thermischen Bedingungen im Freiraum zu verbessern, derzeit nur bedingt vorhanden (Laue 2009).

3.2 Bedeutungsverlust?

Möglicherweise haben die modernen technischen Möglichkeiten der Klimatisierung – von der Thermounterwäsche bis zur Klimaanlage – und eine Tendenz zur Konzentration auf den Innenraum den Gedanken an die frühzeitige Integration mikroklimatischer Gesichtspunkte in die Planung von Außenräumen etwas in Vergessenheit geraten lassen. In der Tat weist Sandra Lenzhölzer (2010) im Rahmen Ihrer Dissertation zur Gestaltung holländischer Stadtplätze nach, dass örtliche klimatische Aspekte bei neueren Entwürfen häufig



Abb. 16: *Place de la Bourse*, Bordeaux. Das Konzept für die Wasseranlage wurde von dem Pariser Brunnenkünstler Jean-Marc Llorca, dem Landschaftsarchitekten Michel Corajoud und dem Architekten Pierre Gangnet entwickelt.

keine Rolle spielten, was insbesondere in Verbindung mit den in den letzten 20 Jahren vorherrschenden coolen, minimalistischen und an der Innenarchitektur orientierten Designvorstellungen problematisch ist. Als Beispiel führt sie die oft viel zu großen freien Platzflächen an, auf denen man Wind und Regen ungeschützt ausgesetzt ist.

Eine weitere Ursache für die zu geringe Berücksichtigung der mikroklimatischen Verhältnisse sieht Lenzhölzer in deren Komplexität und dem Fehlen einfacher, örtlich angepasster mikroklimatischer Gestaltungsleitlinien. Diese Gedanken erscheinen plausibel, allerdings sollte ein qualifizierter Planer bei Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten in der Lage sein, mikroklimatische Zusammenhänge in einen Entwurf zu integrieren, zumal es ohnehin nicht möglich ist, ein 100 %iges Optimum für alle und zu jeder Zeit zu erreichen. Denn erstens unterliegen Freiräume viel stärker als Innenräume den Zyklen der Tages- und Jahreszeiten und der relativ großen Schwankungsbreite der Witterung. Da die meisten Freiräume in unseren Breiten zu allen Jahreszeiten genutzt werden und es trotz des Klimawandels in Mitteleuropa noch

recht kühl werden kann, ist eine einseitige Optimierung für besonders warme Tage nicht sinnvoll. Hinzu kommen zweitens die individuellen physiologisch-, psychologisch- und situationsbedingten Anforderungen der Nutzer an ihre thermische Umgebung. Drittens sind mikroklimatische Gesichtspunkte nicht die einzigen Aspekte, die Landschaftsarchitekten zu berücksichtigen haben. Als Planungsdisziplin, die unterschiedliche Anforderungen prozesshaft in einen – im Idealfall – umsetzungsreifen Entwurf integriert, unterscheidet sich die Landschaftsarchitektur von Disziplinen, die sich naturwissenschaftlich mit den Folgen des Klimawandels und mit Anpassungsstrategien beschäftigen, wie z. B. der Stadtklimatologie. Deren Problemstellungen sind in der Regel klarer definiert und die Ergebnisse innerhalb der Problemstellung eindeutiger als in den planenden Disziplinen. Insbesondere der öffentliche Freiraum unterliegt einer Vielzahl verschiedener Nutzungsansprüche und sonstiger Bedingungen. So stellen sich hier im Vergleich zu privaten Freiräumen andere Anforderungen an Robustheit, Stabilität und Sicherheit, an die Wirtschaftlichkeit und die Gestaltung der Anlagen und deren Ausstattung. In Zukunft dürften sich diese Anforderungen noch erhöhen und zwar nicht nur als indirekte Folge des Klimawandels, durch den sich die Freiraumnutzungszeiten wohl ausweiten werden, sondern auch weil sich die städtischen Freiraumfunktionen bzw. -nutzungen im Zuge gesellschaftlicher Veränderungen (zunehmende Immigration, Abnahme verbindlicher Verhaltensregeln, Rückwanderung älterer Menschen in die Städte, ...) und neuer Nutzungsangebote weiter ausdifferenzieren werden (Tessin 1997, S. 69).

Eine wichtige Rahmenbedingung für den Beitrag der Landschaftsarchitektur zur Verbesserung der mikroklimatischen Verhältnisse ist der bauliche und städtebauliche Zusammenhang, in dem landschaftsarchitektonische Interventionen stehen. Insbesondere seit Mitte des letzten Jahrhunderts haben sich aus der Kombination von technischen Möglich- und Notwendigkeiten, ökonomischen Bedingungen, globalisierten Gestaltvorstellungen, funktionalen Erfordernissen oder planungsrechtlichen Vorgaben und unter Vernachlässigung klimatischer Aspekte Bauformen und städtebauliche Konfigurationen ergeben, die mikroklimatisch ungünstig sind. Beispiele sind breite Straßenkorridore in windexponierten Gegenden oder nach rein technischen Gesichtspunkten geplante Infrastrukturen, z. B. Großparkplätze, bei denen

der Aspekt der Aufenthaltsqualität außer Acht gelassen wurde.

Handlungsschwerpunkte

Was ist zu tun? Die Landschaftsarchitektur muss sich ihrer Möglichkeiten wieder bewusster werden, Atmosphären sowohl in physikalischer als auch in wahrnehmungspsychologischer Hinsicht zu beeinflussen und diese Möglichkeiten auf der Objektebene wie im städtebaulichen Maßstab auch nutzen. Handlungsschwerpunkte sehe ich vor allem im öffentlichen Raum. Besondere Beachtung verdienen erstens spezifische Einrichtungen für Personengruppen, die durch den Klimawandel besonders belastet werden, wie z. B. Seniorenheime, Kindergärten oder Krankenhäuser und zweitens Freiräume, bei denen man keine oder nur geringe Ausweichmöglichkeiten hat, z. B. Haltestellen des öffentlichen Verkehrs oder Fußwegeverbindungen, etwa zwischen Parkplätzen und Einkaufs- oder Veranstaltungsorten.

Auf der kommunaler Ebene ist die Untersuchung der mikroklimatischen Situation der existierenden öffentlichen Freiräume ein wichtiger erster Schritt. Bei den durchzuführenden Maßnahmen kann es im Hinblick auf steigende Temperaturen reichen, einzelne Bäume an die richtige Stelle zu pflanzen, Sitzgelegenheiten umzugruppieren, Badeverbotschilder an Brunnen zu entfernen oder Trinkbrunnen aufzustellen. Grundsätzlich muss es darum gehen, klimatische Aspekte früher und stärker in Planungsprozesse – für den Freiraum und für das Zusammenspiel zwischen Freiraum und Gebäude – und in das Freiflächenmanagement zu integrieren. Die gesamtstädtische Perspektive mit der Entwicklung der Freiflächenstruktur ist dabei nicht aus den Augen zu verlieren. Hier geht es auch darum, durch die (gestalterische) Integration von verschiedenen Freiraumnutzungen in ein stimmiges Gesamtkonzept monofunktionale Flächen zu vermeiden – beispielsweise im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz.

4. Fazit

In diesem Text wurden historische und aktuelle Ansatzpunkte der objektplanenden Landschaftsarchitektur für die Gestaltung des Mikroklimas vorgestellt und gezeigt, dass die Werkzeuge der Klimaanpassung in ihren Prinzipien seit langem bekannt sind. Allerdings sind die Bedingungen, unter denen die hier als mikroklimatische Kunstwerke vorgestellten Villen gebaut und genutzt wurde, nicht mit denen des heutigen öffentlichen Raums mit der Vielzahl von Anforderungen, die an ihn gestellt werden, zu vergleichen.

Dennoch können die historischen Anlagen viele Anregungen bieten. Nicht zuletzt zeigen sie, dass es möglich ist, das Nützliche, Schöne und Angenehme glücklich zu verbinden bzw. – mit etwas weniger Pathos –, dass es möglich ist, das mikroklimatische Anpassungs- und Modifikationsrepertoire in ein befriedigendes gestalterisches Gesamtkonzept zu integrieren. Der Anpassungsbedarf, der sich aus dem Klimawandel und dem sich ändernden Freiraumverhalten an die Herstellung und den Unterhalt der öffentlicher Freiräume hinsichtlich der Material- und Pflanzenverwendung sowie der Pflege ergibt, kann – ins Positive gewendet – der Landschaftsarchitektur Anlass geben, sich den mikroklimatischen Gesichtspunkte wieder verstärkt zuzuwenden.

Literatur

- Alberti, L. B. (1485 - 1912 / 1991). Zehn Bücher über die Baukunst. Erste lateinische Veröffentlichung 1485 in Florenz. Hier verwendet: Unveränderter reprographischer Nachdruck der 1. Auflage der 1912 in Wien und Leipzig erschienenen, von Max Theuer ins Deutsche übertragenen, eingeleiteten und mit Anmerkungen und Zeichnungen versehenen Fassung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt. 739 S.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1966: Thermal comfort conditions. Standard 55-60. ASHRAE. New York. 2 S.
- Bauer, B. (1999). Mikrometeorologische Analyse und Bewertung kleinräumiger Stadtstrukturen. Dissertation, Georg-August-Universität zu Göttingen. UFZ Bericht, Nr. 18, 3/1999. UFZ Leipzig-Halle GmbH. Leipzig. 159 S.
- Coffin, D. R. (1979). The Villa in the Life of renaissance Rome. Princeton University Press. Princeton. 385 S.
- Laue, H. (2009). Gefühlte Landschaftsarchitektur – Möglichkeiten der thermischen Einflussnahme in städtischen Freiräumen. Dissertation. Universität Kassel. Kassel. 265 S
- Lenzhölzer, S. (2010). Designing Atmospheres - Research and Design for Thermal Comfort in Dutch Urban Squares. Thesis. Wageningen University. Wageningen. 196 S.
- Mayer, H., Holst, J. (2011): Hitzestress im Stadtquartier, in: CONTUREC Heft 4, S. 27ff
- Mayer, H.; Matzarakis, A. (1998): Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. In: Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University (Hrsg.). Proceedings of the Second Japanese-German Meeting Klimaanalyse für die Stadtplanung - Toward Reconstruction in Kobe, Kobe, September 25-28, 1997, p 155-168
- Nikolopoulou, M. (2004). Thermal Comfort. In: Steemers, K. & Steane, M. A. (Hrsg.) Environmental Diversity in Architecture. Spon Press. Oxon. S. 101-119
- Russel, V. (1997). Edith Wharton's Italian Gardens. Frances Lincoln. London. 197 S.
- Sullivan, C. (2002). Garden and Climate. McGraw-Hill. New York. 263 S
- Tessin, W. (1997). Perspektiven des Freiraumverhaltens. In: Lehrstühle für Landschaftsarchitektur der TU München. 40 Jahre Landschaftsarchitektur an der Technischen Universität München – Dokumentation der Planungswerkstatt und der Vortragsreihe 9. bis 20. September 1996. Freising. S. 65-73
- Umweltbundesamt (2007). Neue Ergebnisse zur regionalen Klimaänderung – Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Hintergrundpapier. Dessau. 27 S.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Berry, Miles (2006), Mercato Nuovo. Giovan Battista del Tasso; ca. 1550.
<http://www.flickr.com/photos/mberry/130672422/sizes/o/n/photostream/> (2010-12-05)
- Abb. 2: User:mattes (2010), Strab- und Busbahnhof der MVG; Wettbewerbsentwurf: OX2 Architekten, Aachen; Realisierung: RPM Architekten, München; Bauherr: Stadtwerke München GmbH; Eröffnung: 2009.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C3%BCchner_Freiheit_-_Strab-_und_Busbahnhof_der_MVG.JPG (2010-12-05)
- Abb. 3: Vasi, Giuseppe (1748). Pianta generale del Reale Palazzo di Caprarola. In: Coffin, D. R. (1979). The Villa in the Life of Renaissance Rome; S. 290.
Farbcodierung: Lampert
- Abb. 4: Lueg, Sophie (2008), Fresco der Villa Farnese in der Villa Lante in Bagnaia. Verm. Raffaellino da Reggio, 16. Jh.. Codierung: Lampert
- Abb. 5: Lueg, Sophie (2008), Stützmauer, Villa Farnese, Caprarola
- Abb. 6: Villa Medici, Fiesole - Plan to scale of 48 feet to one inch. In: Shepherd, J. C.; Jellicoe, G. A. (1953). Italian Gardens of the Renaissance; S. 5

Abb. 7: Mazzini, Donata (2006), Villa Medici a Fiesole 1.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Villa_Medici_a_Fiesole_1.jpg (2010-12-06)

Abb. 8: Pfister, Jenny (2005), *giardino segreto*, Villa Medici, Fiesole

Abb. 9: Damato, Alessio (2008), Bomarzo parco mostri orco.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bomarzo_parco_mostri_orco.jpg?uselang=de
(2010-12-06)

Abb. 10: Bartholmai, Gunter (2005), *Fontana dell'Ovato*, Villa d'Este, Tivoli

Abb. 11: Lampert, Matthias (2008), Wasserscherz, Villa Farnese, Caprarola

Abb. 12: Bartholmai, Gunter (2008), Villa Lante, Bagnaia

Abb. 13: Lampert, Matthias (2008), Villa Lante, Bagnaia

Abb. 14: Ulrich Erben (1999), Villa Lante I.
http://www.focus.de/fotos/ulrich-erben-villa-lante-i-1999-lackfarbe-aufleinwand_mid_329503.html
(2010-12-12 mit freundlicher Genehmigung des Künstlers)

Abb. 15: Laue, Hendrik (2006), BetonCube, Kassel

Abb. 16: Vrevin, Marie-Aline (2007), *Enfant dans la brume*.
Konzept: Jean-Marc Llorca, Michel Corajoud und Pierre Gangnet. http://www.freemages.fr/album/bordeaux/bourse_miroir_brume.jpg (2010-12-06)

Autorenanschrift:

Matthias Lampert
Landschaftsarchitekt
Nonntaler Hauptstraße 37 E
A – 5020 Salzburg
Österreich
lampert@pls27.de