

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

Juliane Mathey^{1*}, Stefanie Rößler, Iris Lehmann und Anne Bräuer

Zusammenfassung

Die positiven bioklimatischen Wirkungen von Stadtgrün bilden wichtige Ansatzpunkte für die Anpassung von Städten an die Herausforderungen des Klimawandels und für die Erhaltung städtischer Umwelt- und Lebensqualität. Im vorliegenden Beitrag werden Methoden und Ergebnisse zur Quantifizierung mikroklimatischer Wirkungen unterschiedlicher Vegetationsstrukturen und urbaner Freiräume vorgestellt sowie Planungsempfehlungen gegeben.

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 Modellierungen klimatischer Wirkungen für Stadtvegetationsstrukturtypen werden Planungsempfehlungen zur Ausgestaltung sowohl einzelner Vegetationsstrukturen als auch des gesamtstädtischen Freiraumsystems gegeben.

Einleitung

Städte sind durch spezifische klimatische Bedingungen - Trockenheit, hohe Temperaturen, ein verändertes Windfeld - geprägt, die sie zu bioklimatischen Belastungszonen machen. Durch den Klimawandel wird sich die Situation 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 Auswirkungen des Klimawandels auf den Siedlungsraum auseinandersetzen. Wichtige Ansatzpunkte für die Planung an den Klimawandel angepasster Städte sind die klimaregulierenden und positiven bioklimatischen Wirkungen von Stadtgrün (u.a. Bruse 2003, Endlicher, Kress 2008). Klimatische Wirkungen der Stadtvegetation sind beispielsweise Temperaturabsenkung, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und Änderung der Luftzirkulation. Allerdings ist die städtische Vegetation auch den Folgen des Klimawandels ausgesetzt und dadurch in der Erfüllung der von ihr erwarteten ökosystemaren Dienstleistungen beeinträchtigt (Gill 2004, Handley o. J., Roloff et al. 2007).

Das Wissen um die klimatischen Effekte von Stadtgrün ist nicht neu (Werner 2010). So ist das Thema Stadtklima und die Sicherung biometeorologisch positiver Effekte in

urbanen Räumen spätestens seit Mitte der 1980er Jahre regelmäßiger Bestandteil ökologisch orientierter Landschafts- und Stadtplanung. Allerdings fehlten bislang detaillierte Kenntnisse über die (mikro-) klimatischen Wirkungen spezifischer städtischer Vegetationsstrukturen innerhalb des Freiraumsystems. Die im vorliegenden Beitrag vorgestellten Stadtvegetationsstrukturtypen mit ihren klimatischen Wirkungen und die Planungsempfehlungen entstammen überwiegend dem vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) geförderten F+E-Projekt „Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel“ (Mathey et al. 2011).

Klimatische Wirkungen von Stadtgrün

Ausgangspunkt für die Untersuchungen ist die Annahme, dass Wirkungszusammenhänge zwischen typischen städtischen Vegetationsstrukturen und deren klimatologischen Leistungen bestehen. Auf Grundlage der Empfehlungen zur „flächendeckenden Biotopkartierung im besiedelten Bereich“ nach Schulte et al. (1993) sowie den Stadtbiotop-typenkartierungen der Stadt Dresden aus den Jahren 1993 und 1999 wurde der städtische Raum so typisiert, dass sich differenzierte flächenbezogene Aussagen im Hinblick auf klimatische Ausgleichsfunktionen von Stadt- und Vegetationsstrukturen ableiten lassen. Als geeignete homogene Einheiten wurden 57 Stadtvegetationsstrukturtypen identifiziert und hinsichtlich ihres Grünvolumens, ihrer Grünflächen- und Vegetationsschichtungsanteile sowie ihres Versiegelungsanteils charakterisiert (Arlt et al. 2005, *Tabelle 1*). Auf Basis dieser Datengrundlage wurden unter Anwendung der Programme ENVI-Met (Bruse und Fler 1998) und HIRVAC-2D (Goldberg und Bernhofer 2001) auf teilstädtischer und gesamtstädtischer Ebene Modellierungen durchgeführt, um strukturbasierte Aussagen zu klimatischen Wirkungen von Stadtgrün abzuleiten.

Klimatische Wirkungen unterschiedlicher städtischer Vegetationsstrukturen

Zur Darstellung der klimatischen Wirkungen der einzelnen Stadtvegetationsstrukturtypen wurde mit dem Modellierungstool ENVI-Met (Bruse und Fler 1998) jeweils die Situation an einem strahlungsreichen Sommertag (Mitte Juli) simuliert. Die Ergebnisse der Modellierung des durchschnittlichen Temperaturverhaltens (Lufttemperatur in 1,2 m Höhe) von Stadtvegetationsstrukturtypen zeigen, dass die vielfältigen Vegetationsstrukturen in der Stadt

¹ Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Weberplatz 1, D-01217 DRESDEN

* Dr. Juliane MATHEY, j.mathey@ioer.de



Tabelle 1: Übersicht über die 57 Stadtvegetationsstrukturtypen

1. Wohnbebauung, gemischte Bauflächen sowie Industrie-, Gewerbe- u. Sonderflächen 1.1 Baufläche mit reich strukturierten, parkartigen Gärten 1.2 Baufläche mit reich strukturierten Gärten, mittlerer bis hoher Laubgehölzanteil 1.3 Baufläche mit strukturalarmen, intensiv gepflegten Gärten 1.4 Vegetationsarme bis vegetationslose Baufläche 1.5 Baufläche mit keinem bzw. gering ausgeprägtem Gehölzbestand 1.6 Baufläche mit ausgeprägtem Gehölzbestand	7. Grünland 7.1 Intensivgrünland 7.2 Grünland ohne bzw. weitgehend ohne Gehölze 7.3 Grünland mit Hochstauden 7.4 Grünland mit Gehölzen
2. Verkehrsanlagen und Verkehrsflächen 2.1 Bahnanlage; Gleisanlage; Bahndamm 2.2 Straßenverkehrsfläche mit Begleitgrün 2.3 Verkehrsanlage; Verkehrsfläche stark bis vollständig versiegelt 2.4 Verkehrsfläche; Parkplatz; begrünt	8. Bäume, Kleingehölze und Gebüsche 8.1 Gebüsch; Vorwaldgebüsch 8.2 Hecke; Strauchreihe 8.3 Baumreihe; Baumgruppe 8.4 Streuobstwiese 8.5 Markanter Einzelbaum
3. Grünlagen 3.1 Grünanlage mit geschlossenem Baumbestand 3.2 Grünanlage mit wechselndem Anteil an Gehölzen 3.3 Scher-, Zier-, Sportrasen 3.4 Vegetationsfreie bzw. -arme Grünanlage 3.5 Grünanlage mit jungem bis dichtem Baumbestand 3.6 Gehölzreiche Grünanlage; Obstbaumbestand 3.7 Gehölzarme Grünanlage mit überwiegender Zierfunktion 3.8 Gehölzarme Grünanlage mit überwiegend Rasenflächen	9. Wälder (Laub-, Nadel- und Mischwälder) 9.1 Wald 9.2 Aufforstung; Baumschule 9.3 Kahlschlag; Schlagflur 9.4 Lichtung mit krautiger Vegetation 9.5 Lichtung mit Wildwiese oder Wildacker 9.6 Ausgeprägter Waldsaum
4. Stadtbrachen 4.1 Stadtbrache mit Ruderal- und Staudenfluren (Sukzession jüngerer Stadien) 4.2 Stadtbrache mit beginnender Gehölzsukzession (ältere Brache) 4.3 Stadtbrache mit Sukzessionswald (alte Brache)	10. Naturnahe Feucht- und Nassstandorte 10.1 Naturnaher Feucht- oder Nassstandort mit Röhricht; Röhricht-, Binsen-, Seggensümpfen 10.2 Naturnaher Feucht- oder Nassstandort mit Hochstaudenfluren 10.3 Naturnaher Feucht- oder Nassstandort mit verbuschten Flächen 10.4 Naturnaher Feucht- oder Nassstandort mit baumbestandenen Flächen
5. Aufschüttungen und Abgrabungen 5.1 Verbuschende bis verbuschte, renaturierte Aufschüttung oder Abgrabung 5.2 Vegetationsarme bis verbuschte Aufschüttung oder Abgrabung 5.3 Vegetationslose bis vegetationsarme Aufschüttung oder Abgrabung	11. Uferzonen 11.1 Uferzone mit Röhricht, Binsen, Seggen 11.2 Uferzone mit Hochstauden; Ufergehölz 11.3 Uferzone mit Rasenböschungen 11.4 Vegetationsarme und -lose Uferzone
6. Landwirtschaftliche Nutzflächen 6.1 Ackerfläche 6.2 Obstkulturlfläche 6.3 Erwerbsgartenbaufläche 6.4 Grabeland 6.5 Weinberg	12. Trockenrasen und Heiden 12.1 Trocken- und Halbtrockenrasen; Heiden 12.2 Verbuschte bis baumbestandene Trockenrasen und Heiden
	13. Offenstandorte 13.1 Felsbereich 13.2 Sandfläche 13.3 Düne

auch ganz unterschiedliche klimatische Wirkungen entfalten. Die potenziellen Abkühlungseffekte im Vergleich zu einer Asphalt-Referenzfläche bewegen sich für eine 1 ha große Fläche über den Tagesverlauf von 2,1 K bis 0,1 K. So gibt es auch in ausgewiesenen Grünanlagen eine große Bandbreite. Während beispielsweise in Grünanlagen mit einem eher gemischten und dichten Baumbestand (Typ 3.5, *Tabelle 1+Abbildung 1*), eine Temperaturminderung von bis zu 2,1 K potenziell erreichbar ist, können auf großen Rasenflächen (Typ 3.3, *Tabelle 1+Abbildung 1*) Abkühlungseffekte von durchschnittlich 1,0 K erwartet werden. Brachflächen mit unterschiedlichen Sukzessionsstadien können ebenfalls Abkühlungseffekte von ca. 1,5 K erzeugen (Typen 4.1-4.3, *Tabelle 1+Abbildung 1*).

In bebauten Gebieten zeigen sich mit 1,7 K die höchsten Abkühlungseffekte auf Flächen mit starker Durchgrünung (Typ 1.2, *Tabelle 1*).

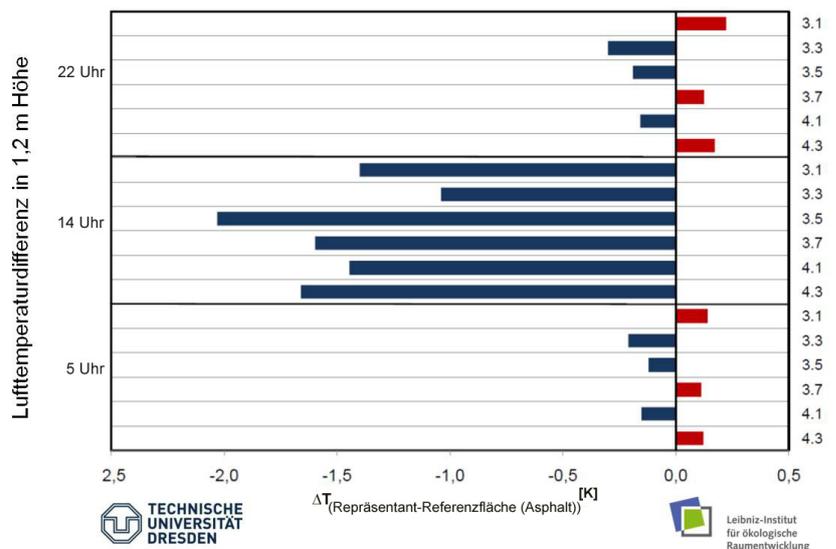


Abbildung 1: Abkühlungspotenziale ausgewählter Stadtvegetationsstrukturtypen der Hauptkategorien 3 „Grünanlagen“ und 4 „Stadtbrachen“ zu verschiedenen Tageszeiten: 5 Uhr, 14 Uhr, 22 Uhr (Modellierungsergebnisse); Stadtvegetationsstrukturtypen-Nummerierung siehe *Tabelle 1*.

Die Regulationswirkungen von städtischen Freiräumen und Vegetationsstrukturen variieren im Tagesverlauf (*Abbildung 1*). Tagsüber werden die klimatischen Wirkungen bestimmt durch das Zusammenwirken von direkter Sonneneinstrahlung, Schatten, Windstärke und -richtung. In den Nachtstunden führen hohe Versiegelungsanteile, dichter Gebäudebestand, aber teilweise auch dichter Baumbestand dazu, dass sich Flächen durch die Wärmespeicherung am Tag bzw. durch gebremste Abstrahlungsmöglichkeiten nicht abkühlen können. So treten vereinzelt auch geringe Erwärmungseffekte in den Abendstunden und am frühen Morgen im Vergleich zur Referenzfläche auf. 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. Offene unversiegelte Flächen weisen hauptsächlich in der Nacht hohe Abkühlungspotenziale auf (Mathey et al. 2011). Die Modellierungsergebnisse zeigen deutlich, dass das gesamte Freiraumsystem mit all seinen Elementen klimawirksam ist. So trägt auch der Vegetationsbestand außerhalb der expliziten Freiräume zur Bereitstellung klimatischer Ausgleichsleistungen bei. Dabei sind Stadtvegetationsstrukturtypen mit möglichst wenig versiegelten Flächen, mit einer vielfältigen Vegetationsstruktur und unterschiedlichen Baumhöhen als mikroklimatisch günstig zu bewerten.

Klimatische Wirkungen unterschiedlicher Freiraumsysteme

Für die Planung ist es außerdem 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 und 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. $1,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$) identisch sind: 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 im 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 Hitzestress auf kurzem Wege auszuweichen. Ebenso wird über eine Erhöhung potenzieller Randeffekte der Luftaustausch mit angrenzenden bebauten Gebieten möglich.

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 Ergebnissen der Strukturanalyse und der Modellierungen lassen sich folgende Hinweise für die Ausgestaltung und Unterhaltung einzelner Freiräume, aber auch des gesamtstädtischen Freiraumsystems ableiten:

- 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. Je höher der Anteil vegetationsgeprägter Stadtvegetationsstrukturtypen an der Stadtfläche, desto günstiger ist in der Regel die klimatische Wirkung auf das gesamte 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 ist, desto stärker ist in der Regel auch das Binnenklima auf dieser Fläche ausgeprägt.
- Stärker als die Größe beeinflussen Bebauungsstruktur und 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) und die Lage zur Hauptwindrichtung eine Rolle spielen.
- Mit Blick auf die jeweiligen planerischen Ziele ist abzuwägen, welche klimatischen Wirkungen an einem bestimmten Ort im Stadtgefüge wünschenswert sind, ob beispielsweise die erzielbaren Abkühlungseffekte einer Fläche tagsüber oder nachts an den Rändern einzelner Grünflächen angestrebt werden. Dies steht in einem engen Zusammenhang 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 Pflanzenarten wichtig (Roloff et al. 2008).

Literatur

- ARLT, G., HENNERSDORF, J., LEHMANN, I., THINH, N.X., 2005: Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen. Dresden (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung). IÖR-Schriften 47: 136 pp.
- BRUSE, M., FLEER, H., 1998: Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environ Modell Software* 13: 373-384.
- BRUSE, M., 2003: Stadtgrün und Stadtklima. Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. *LÖBF-Mitteilungen* (1): 66-70.
- ENDLICHER, W., KRESS, A., 2008: „Wir müssen unsere Städte neu erfinden“ Anpassungsstrategien für Stadtregionen. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, Heft 6/7: 437-445.
- GILL, S.E., 2004: Literature review: Impacts of Climate Change on Urban Environments (Draft Copy). - Manchester (Centre for Urban and Regional Ecology): 72 pp.
- 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: 581-587.
- HANDLEY, J.F., o. J.: *Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Environment (ASSCUE)*.
- MATHEY, J., RÖBLER, S., LEHMANN, I., BRÄUER, A., GOLDBERG, V., KURBUHN, C., WESTBELD, A., 2011: Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel. In: Bundesamt für Naturschutz (BfN, Hrsg.): *Naturschutz und Biologische Vielfalt Heft 111*: 220 pp.
- ROLOFF, A., THIEL, D., WEIB, 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: 132.
- 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.
- 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: 491-526.
- WERNER, P., 2010: Klimawandel, was tun? Regulierung des Stadtklimas durch qualifizierte Grüngestaltung. *Stadt + Grün* 12/2010: 11-16.