

Stadtklima – ein unausweichliches Phänomen?

Untersuchung zur Wirkung naturnäherer baulicher Mikrostrukturen

Heinz H. Sperber

Seit der Mensch siedelt und wirtschaftet, dabei flächig Vegetation und offenen Boden vernichtet, reduziert oder qualitativ verändert, erzeugt er lokal ein neues Klima – dies bewusst, um sich, seinen Nutzpflanzen und -tieren ein geschütztes Milieu zu schaffen. Unbedacht zeitigt das oft überschießende oder kumulative Effekte. Eingegrenzt auf Siedlungen ändert man das charakteristische regionale und lokale Klima markant zum Stadtklima: ein manipulierter, ambivalenter Klimatyp, welcher außerdem rückkoppelnd das regionale Klima der Landschaft beeinflusst.

Erzeugt wird dieser Klimatyp allein schon durch Baulichkeiten (Materialien, Form, Stellung), sodann verstärkt durch wirtschaftende Aktivitäten und ihre Folgen, vorrangig Emissionen (chemische Verbindungen, Partikel, Wärme, Licht), und durch Versiegelung von Boden, Gewässern und Vegetation. Die „wahrscheinlichen Ursachen“ des Stadtklimas hat Kuttler (1998) en détail aufgelistet. Da jene Kompartimente in Stärke und Kombination wechseln, bündelt der Begriff „Stadtklima“ eine hohe Zahl klimatischer Kleinstrukturen. In Karten etwa ist das Stadtklima vereinfacht, geben sie doch realiter nur das Klima des untersuchten Profils oder der gescannten Oberflächen wieder.

Das Umlandklima ist in einer Siedlung in einigen Parametern geschwächt (Strahlung, Temperaturminima, relative Luftfeuchtigkeit, Nebelbildung, Schneefall, mittlere Windgeschwindigkeit), in anderen verstärkt (Bewölkung, Temperaturmaxima, mittlerer Jahresniederschlag, Windstillen und Böigkeit des Windes) (verkürzt nach Schönwiese 1994). Und: Das Milieu tendiert verstärkt zu warm-trocken, so dass Flora und Fauna phänomenisch abweichen vom Umland (zum Beispiel www.vistaverde.de 2006). Das Strahlungs-

spektrum wandelt sich, von weniger an beruhigendem Blau-Grün zu mehr an anregendem Rot-Gelb

Das Stadtklima innerhalb der Klima-Debatte

Seit Jahrzehnten wird zum Verhalten der Klima-Parameter der „städtischen Wärmeinsel“ geforscht, vor allem in europäischen und nordamerikanischen Großstädten. Lange bekannt ist auch, dass schon Dörfer und Weiler Wärmeinseln besitzen (Sharon/Koplowitz 1972). Dass vornehmlich die bebaute Fläche deren Stärke bestimmt, beweist das Zitat von Schönwiese (1994: 348) aus einer Untersuchung westlich Frankfurt/M.: Lag 1861–1890 die Temperaturdifferenz Stadtrand Frankfurt zu Geisenheim bei 0,3 K, so „hat sie sich bis 1961–1980 offenbar verdoppelt“ – auf 0,6 K (für Temperaturdifferenzen wird Kelvin verwendet). Ein zweites Beispiel: Das Klima der Stadt Bonn wurde zweimal in vergleichbarer Art untersucht: 1951/52 (bei 123 400 Einwohner, Stat. Landesamt NW 1972) von Emonds (1954) und 1971/72 (bei 138 000 Einw.) von Sperber (1976). Im Ergebnis war die City 1951/52 um +1,1° C, 1971/72 jedoch um +2,1° wärmer als ein 1,4 km entfernter stadtrandnaher Ort (jeweils vor Mitternacht). Ursachen waren die landwärtige Verschiebung des Stadtrandes wegen Bebauung dort und von Baulücken und verstärkte Emissionen. Eine ganz andere Dimension eröffnet die Angabe bei Haas (2003: 11), in Tokio (1999: 26 Mio. Einw.) habe sich laut japanischem Umweltministerium „die Zahl der Stunden, an denen die Lufttemperatur über 30° C lag, in den vergangenen 20 Jahren mehr als verdoppelt. Heute gibt es dort 20-mal mehr „tropische“ Nächte (über 25° C) als vor 100 Jahren. Im Umland ist es dabei bis zu fünf Grad kühler“.

Ein sich ausbreitender Wärmeinsel-Effekt lässt sich auch für Deutschland ableiten aus der steten Zunahme an Siedlungs- und Verkehrsfläche (2003: 12,3 % der Fläche, UBA 2006), da die Wohnfläche/Person steigt und mit ihr die Bau- und Verkehrsflächen. Die UNEP (2002) stellt fest, dass in Europa 74,6 % der Bevölkerung in Orten mit mehr als 1000 Einwohnern leben (Stand 2000), und erwartet, diese Zahl werde sich erst bei etwa 82 % stabilisieren. Dieser Nutzungswandel wird zweifellos das Stadtklima verstärken.

Das Stichwort „Klima“ assoziiert man heute je nach Temperament mit „Klimawandel“ oder „Klima-Katastrophe“. Nicht ohne Grund, denn Untersuchungen rund um den Globus zeigen, dass seine untere Atmosphäre sich binnen weniger Jahrzehnte merklich erwärmt hat, speziell auf der Nord-Halbkugel. Umso nötiger müsste es da sein, auch am Stadtklima anzusetzen, welches sicherlich am Klimawandel mitwirkt. Dessen Effekte zu reduzieren hilft, die „Klima-Zeitbombe“ zu entschärfen, welche nach Hansen (2005: 55) nur noch so lange ticken wird bis „die globale Mitteltemperatur um ein weiteres Grad Celsius“ gestiegen sei. Für Europa lassen jüngste Berechnungen an der ETH Zürich erwarten, dass mediterrane Klimatypen sich wegen zunehmender Treibhausgase nordwärts verlagern und hier vermehrt heiße Sommer bringen werden (Seneviratne et al 2006). Das bedeutet für den Umgang mit dem Stadtklima: Um große Räder zu justieren, muss man an kleinen stellen. Zum Stadtklima im Einzelnen liefern bis dato Profilmessungen und thermographische Befliegungen viele wissenschaftliche Argumente zu seinen Großstrukturen, für die Stadtplanung etwa und beim Entwurf von Grünzügen. Die Ergebnisse mikroklimatischer

Untersuchungen bleiben wegen der Intensität ihrer Gewinnung in engerem Rahmen, obwohl gerade sie Stadtbewohnern und Umwelt großen Nutzen bringen. Fehlen sie, führen Analogieschlüsse zwar zu guter Annäherung, bleiben aber angreifbar, zumal schon astreine Fakten allzu oft im Strudel politischer Querelen versinken. Obendrein ist das Thema „Klima“ peinlich dünn in der deutschen Gesetzgebung und in der Behördenpraxis vertreten. Die rechtlichen Regelungen halten sich weitläufig, so im BauGB (Fassung 2004) § 1, (5), Nr. 7 oder im BImSchG (Fassung 2001) § 1 (1). Im BNatSchG 2002 § 2 (1) Nr. 6 bestimmt der Bundestag noch am klarsten: „Beeinträchtigungen des Klimas sind zu vermeiden“; und weiter: „Auf den Schutz und die Verbesserung des Klimas, einschließlich des örtlichen Klimas, ist auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege hinzuwirken“. Als Handlungsanweisung folgt: „Wald und sonstige Gebiete mit günstiger klimatischer Wirkung sowie Luftaustauschbahnen sind zu erhalten, zu entwickeln oder wiederherzustellen“. Schließlich ist zu betonen, dass der Begriff „Naturhaushalt“ in den Gesetzen immer das Klima umfasst, siehe Legaldefinition in § 10 (1) Nr. 1 BNatSchG. Das Stadtklima zählt dazu. Abgesehen von seinen angenehmen Seiten (Gartenlokal, Gebäudeheizung), erfordern seine anthropogenen Nachteile Gegensteuerung, um zum einen für Menschen bioklimatisch ungünstige, gar ungesunde Wirkungen (Hitze, Herzstörungen, Gebäudekühlung), zum anderen den Eingriff in den regionaltypischen Naturhaushalt zu vermeiden und zu mindern. Die wichtigsten Hebel dazu bieten bauliche Strukturen als direkte und indirekte Ursachen für Muster und Intensität des Stadtklimas.

Das Ziel dieser Arbeit lautet daher, die Argumente der Freiraumplaner für ein besseres Stadtklima generell und für eine hohe Qualität städtischer Freiräume speziell zu stärken – einerseits mit Ergebnissen aus fein gerasteten Messungen von bodennahen und Oberflächen-Temperaturen an geeigneten Messorten, andererseits mit abgeleiteten Vorschlägen zu Planung und Unterhaltung.

Messort	Ziel	Methode
Gewerbegebiet	Engräumige, vergleichende Messung des Tagesverlaufs der Temperatur an offenen und versiegelten Flächentypen	Mobiler, batteriebetriebener Meßfühler; Auflösung 0.5° C; halbstündliche Messung
Fußgängerzone	Stärke des temperaturmindernden Effekts wandernder Baumschatten auf die Oberflächentemperatur von Pflaster bei direkter Sonnenstrahlung	Mobiler, batteriebetriebener Meßfühler; Auflösung 0.5° C; halbstündliche Messung
Privatgrundstück	Feststellung der Oberflächentemperatur diverser bewachsener und gebauter Strukturen zur Zeit der stärksten Erwärmung (14.30 MESZ) in Abhängigkeit vom Niveau der Lufttemperatur sonniger Tage	Mobiler, batteriebetriebener Meßfühler; Auflösung 0.5° C; Messung einmal täglich
Schmuckanlage	Vergleich der Tiefe des Eindringens von Wärme aus direkter Sonnenstrahlung in bewachsenen, gering bewachsenen und versiegelten Boden	Quecksilber-Erdboden-Thermometer, Auflösung 0.2° C; Messtiefe 2 cm; Lufttemperatur per Aspirations-Psychrometer in 150 cm über Niveau

Auswahl der Messorte, Ziele und Methoden

Untersuchungsfläche		Untersuchungsbedingungen		
Nutzungstyp	Stadt/ Bundesland	Objekt fläche qm	Zeitraum; Messwerte pro Tag	Wetterlage; Lufttemperatur bei Messung
Gewerbegebiet, intensives Parkplatzareal mit je drei Typen der Bepflanzung und der Versiegelung zwischen diversen GE-Betrieben	Bad Kreuznach/RP	ca 180	Ein Messtag: 14. 7 2003, 7.00–21.00 MESZ; 29 Werte	Hochdruck, wolkenlos, E-Wind; 16–28° C
Fußgängerzone, am Messort total versiegelt mit Betonverbundstein; angrenzende Grünfläche mit Rasen und wenigen ca 15 m hohen Laubbäumen	Bingen a. Rh./RP	ca 200	E Juli/A. August 1991, vier Tage, 10.00–20.00 MESZ; 21 Werte	Hochdruck, fast wolkenlos; 23–30° C
Privatgrundstück, strukturreich, gering versiegelt, mit Einfamilienhaus; zwei Messpunkte am Boden, drei Messpunkte auf Baumaterialien	Bad Kreuznach/RP	ca 150	E August/A. September 2003, 19 Tage, jeweils um 14.30 MESZ	Hochdruck, an einem Tage Tiefdruck; 18–37° C
Halböffentliche Schmuckanlage mit einem Versiegelungsgrad von 58 %, baumarm und übersichtlich	Bonn/NW	Linie à 3 m L mit drei Messpunkten	August und September 1972, zwei Tage, 8.00–20.00 MEZ; 49 Werte	Hochdruck, sonnig, 7–19° bzw 14–22° C

Untersuchungsflächen und -bedingungen

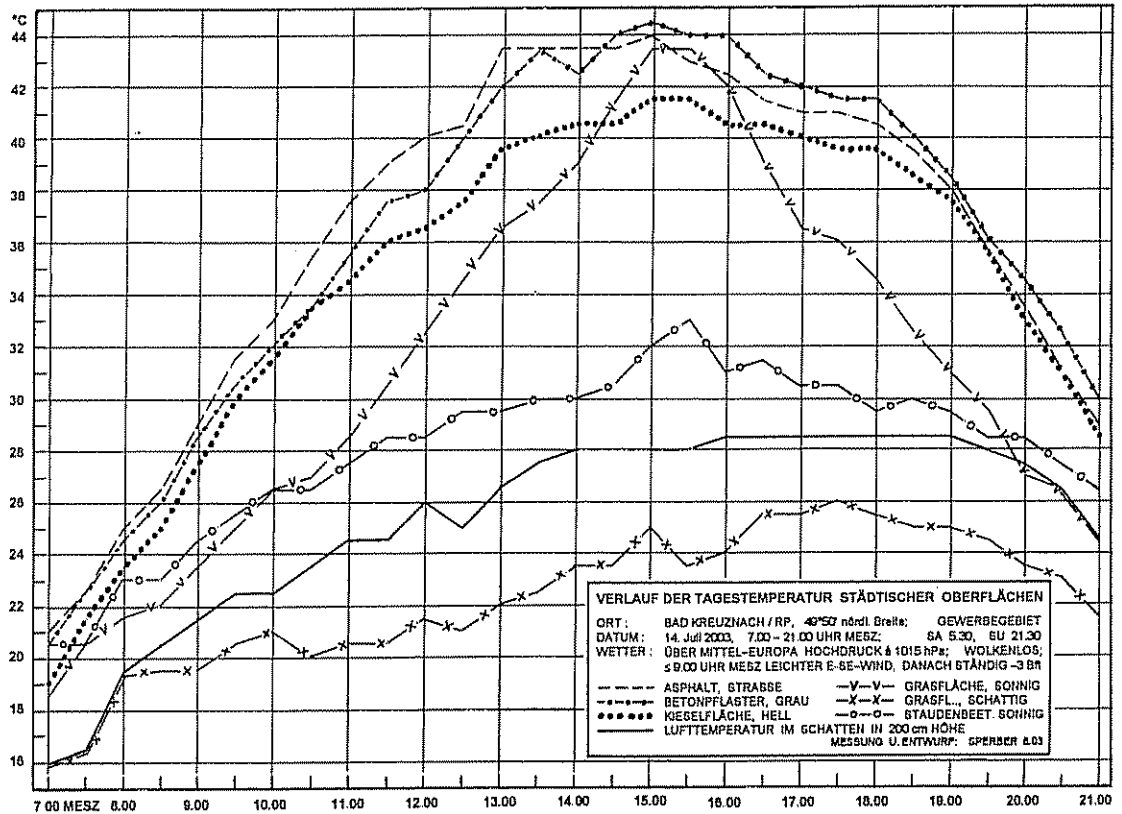
Bauliche Mikrostrukturen als Ursachen des Stadtklimas

Um diese Ursachen zu ermitteln, wurden in vier Freiräumen Temperaturverläufe an und unter städtischen Oberflächen gemessen. Mit jedem Freiraum wurde die Auflösung verfeinert. Die Temperatur fungiert hier als Indikator; steht sie doch vorrangig für „Stadtklima“, da jeder sie am ehesten wahrnimmt. An ihr spürt man zudem die klimatischen Folgen planerischer und baulicher Änderungen am deutlichsten.

Verlauf der Tagestemperatur bei unversiegelten und versiegelten Oberflächen

Bei der Lufttemperatur in 2 m Höhe der Fläche Gewerbegebiet sticht der flache nachmittägliche Kurvenverlauf hervor. Er wird auf den leicht böigen Wind zurückgeführt. Von den drei bewachsenen Messorten liegt die Oberflächentemperatur der schattigen Grasfläche (zweimähdig, Messpunkt im Schatten jüngerer Linden) wie erwartet am tiefsten. Während bis 7.30 Uhr noch Tau verdunstet, wird der flache Abstieg der Kurve ab

Verlauf der absoluten Tages-temperaturen häufiger städtischer Bodenoberflächen in einem Gewerbegebiet in Bad Kreuznach/RP bei sommerlicher Hochdruckwetterlage



17.30 Uhr der schwachen Evapotranspiration wegen des trockenen Bodens zugeschrieben. Die Kurve des Staudenbeetes (Pflanzstreifen à 90 cm mit Storchnabel, überragt von Trompetenbaum-Kugeln, verdichteter Lösslehm) zeigt auf höherem Temperaturniveau (Rohboden) einen „normalen“ Tagesverlauf. Die Spitzenwerte von 15.00 bis 15.45 Uhr resultieren aus einem Sonnenfleck am sonst beschatteten Messpunkt. Hingegen gleicht die Kurve des Messortes sonnige Grasfläche fast denen der versiegelten Messpunkte: Nur bei schräg einfallender Sonnenstrahlung bis 10.30 und ab 17.00 Uhr beschatten die circa 8 cm hohen Pflanzenstängel den Boden leicht. Ab 20.00 Uhr taucht diese Kurve unter die des Staudenbeetes, da dieses die Abstrahlung des Bodens zurückhält. Die mikroklimatische Schwäche trockener, lückiger Rasen und Wiesen zeigt sich zudem an der mit 25° C höchsten Tagesamplitude aller fünf Messorte, – vor Betonpflaster und Asphalt (24 bzw. 23° C). Im Vergleich zur sonnigen Grasfläche steigen die Temperaturen der massiven Baumaterialien ab 7.00 Uhr steil an, da sie schon seit Sonnenaufgang (5.30) Wärme akkumuliert haben, besonders stark bei Asphalt. Sein maximaler Einzelwert 44,0° C (15.30 Uhr) wird bei Kessler (1971) etwa bestätigt (45,5°), bei Hofmann (zit. in Bernatzky 1974)

übertroffen (>50°). Die Oberfläche der Kiesel erwärmt sich vormittags langsamer und erreicht eine kleinere Spitze als Pflaster und Asphalt, wohl wegen geringerer Kompaktheit und der Ventilation zwischen den Kiesel. Dunkelfarbige Kiesel heizen sich gegenüber hellgrauen bis zum Mittag um 1 bis 2° C stärker auf, haben dann aber gleiche Temperatur. Um 21.00 Uhr zeigen alle massiven Baumaterialien das zweite stadtklimatische Merkmal neben der hohen Nachmittagspitze: die träge Abkühlung abends (2 bis 7° wärmer als die schattige Grasfläche) und bis in die Nacht.

Thermische Wirkung von Baumschatten auf versiegelte Flächen

An der Fläche in einer Fußgängerzone wird die Wirkung wandernder Schatten hoher Bäume und Gebäude auf die Oberflächentemperatur von Betonverbundpflaster während sonniger Hochsommertage vorgestellt. Die Mauer zur Grünfläche ermöglicht die Untersuchung der fast reinen Wirkung der Baumschatten. Die Ergebnisse entstammen der Diplomarbeit von Dieter Gründonner (1991) und sind ergänzt. Die Verteilung der mittleren Oberflächentemperatur wird als Abweichung vom Referenzpunkt R an fünf Tageterminen registriert. Dem um 10.00 Uhr kontrastarmen

Temperaturmuster, verursacht von Gebäudeschatten auf dem gesamten Platz, folgt eine schnelle Erwärmung des Pflasters von Norden und Osten her. Ab spätem Vormittag prägen sich die temperatursenkende Wirkung der Baumschatten und der Wärmekeil dazwischen gut aus. Die Zone am nördlichen Gebäude erreicht um 14.30 Uhr bei einer gemittelten absoluten Temperatur von 40,0° C zum nicht einmal 9 m entfernten Punkt unter den Kastanien (F) ein ΔT von 13,6° C, am 6. August 1991 sogar 15,2° C! Jenes Muster wandert mit dem Sonnenstand südostwärts. Das Pflaster vor dem nördlichen Gebäude hat sich um 16.30 MESZ (15.30 MEZ) auf den maximalen absoluten Wert von 44,0° C erhitzt. Mit dem Einfluss des Gebäudeschattens auf den östlichen Teil der Fläche deutet sich eine Temperaturabstufung ähnlich derjenigen um 10.00 Uhr an, dominiert von der hohen Wärmekapazität des Pflasters und der Mauern am nördlichen Gebäude. Diese Verteilung pro Zeit demonstriert, dass das Temperaturfeld mit der Dauer direkter Einstrahlung variiert. Wie intensiv sich dies am einzelnen Messpunkt über den Tag abspielt, präzisiert die Kombination der einzelnen gemittelten absoluten Oberflächentemperaturen mit der zugleich kartierten Beschattung (Balken) an fünf der sieben Messpunkte (C, D, E, F, R). Punkt R empfängt

keine Sonneneinstrahlung Folge: eine gemächliche Temperaturkurve. Die Punkte E und F verhalten sich ähnlich R außer vorübergehenden Hebungen. Zwei einstündige Sonnenphasen mit Hebungen bei E belegen jedoch, wie stark Baumschatten zuvor die Erwärmung des Pflasters dämpften. Die Punkte C und D vertreten die sonnenverwöhnten Lagen. Als Gegenpol zu Kurve R bildet Kurve D wegen der sechsständigen Sonnenphase und wegen „Hilfestellung“ der Hauswand eine zeitlich breite Kuppel hoher Oberflächentemperatur. Und das, obwohl die Kurve bis 11.30 ähnlich den anderen ansteigt, nur um ca. 2°C höher. Der danach steile Anstieg um fast 14° in zwei Stunden beweist die rasante Kumulation an Wärme in dem Betonbelag, die abends trotz Schattens

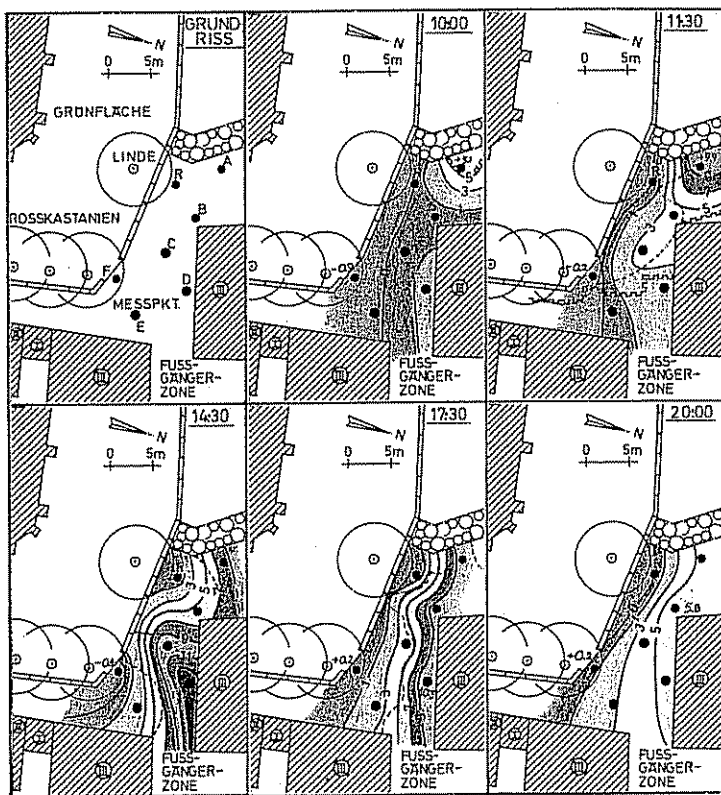
lange gespeichert bleibt: ΔT des Punkts D zu R beträgt um 10 Uhr „nur“ +2,2°, um 20 Uhr jedoch +5,4°.

Oberflächentemperaturen in Pflanzflächen und am Gebäude eines Privatgrundstücks

Als Ansatz dieser Untersuchung galt, die Kopplung von Höchsttemperaturen bepflanzt und gebauter Oberflächen an Hochsommertagen an diverse Niveaus der Lufttemperatur zu prüfen. Eine besonnte, versiegelte Bodenoberfläche stand nicht zur Verfügung (s. hierzu die Darstellung der Fußgängerzone).

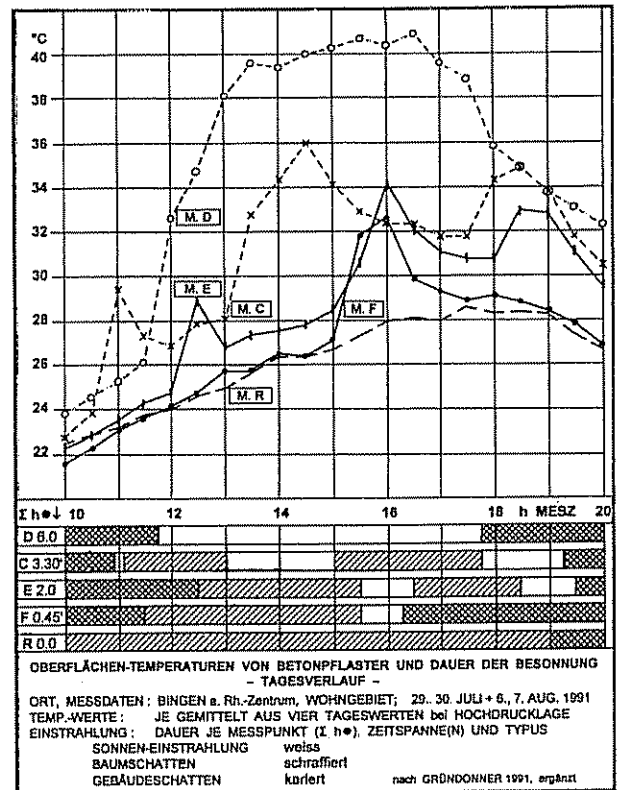
Ein erster Überblick zeigt, dass alle örtlichen Temperaturkurven mit derjenigen der Luft steigen, jedoch nicht gänzlich konform

wegen kurzfristiger mikroklimatischer Einflüsse, vor allem Luftströmung; dies umso häufiger, je freier der Messpunkt liegt (etwa Dachpfanne) Die Kurven der bewachsenen Oberflächen bleiben weit unter (Waldstaudendecke unter Feldahorn) oder nahe (Rasen) der Kurve der Lufttemperatur, da Bodenrauhigkeit Windruhe fördert und damit Abkühlung aus Verdunstung bewahrt. So verstärkt sich das negative ΔT der Staudendecke zur Luft – also deren kühlende Wirkung im Sommer von minus 2,5° bei circa 18° C Lufttemperatur stark auf minus 12,5° im 35°-Niveau der Luft, dasjenige des Rasens von plus 2,0° auf max. minus 4,0° C. Der Messpunkt Brüstungsplatte mit beschattender Glycine (Deckungsgrad nur 70 % wegen trockenen Sommers) beweist, dass dieser Fassadenbe-



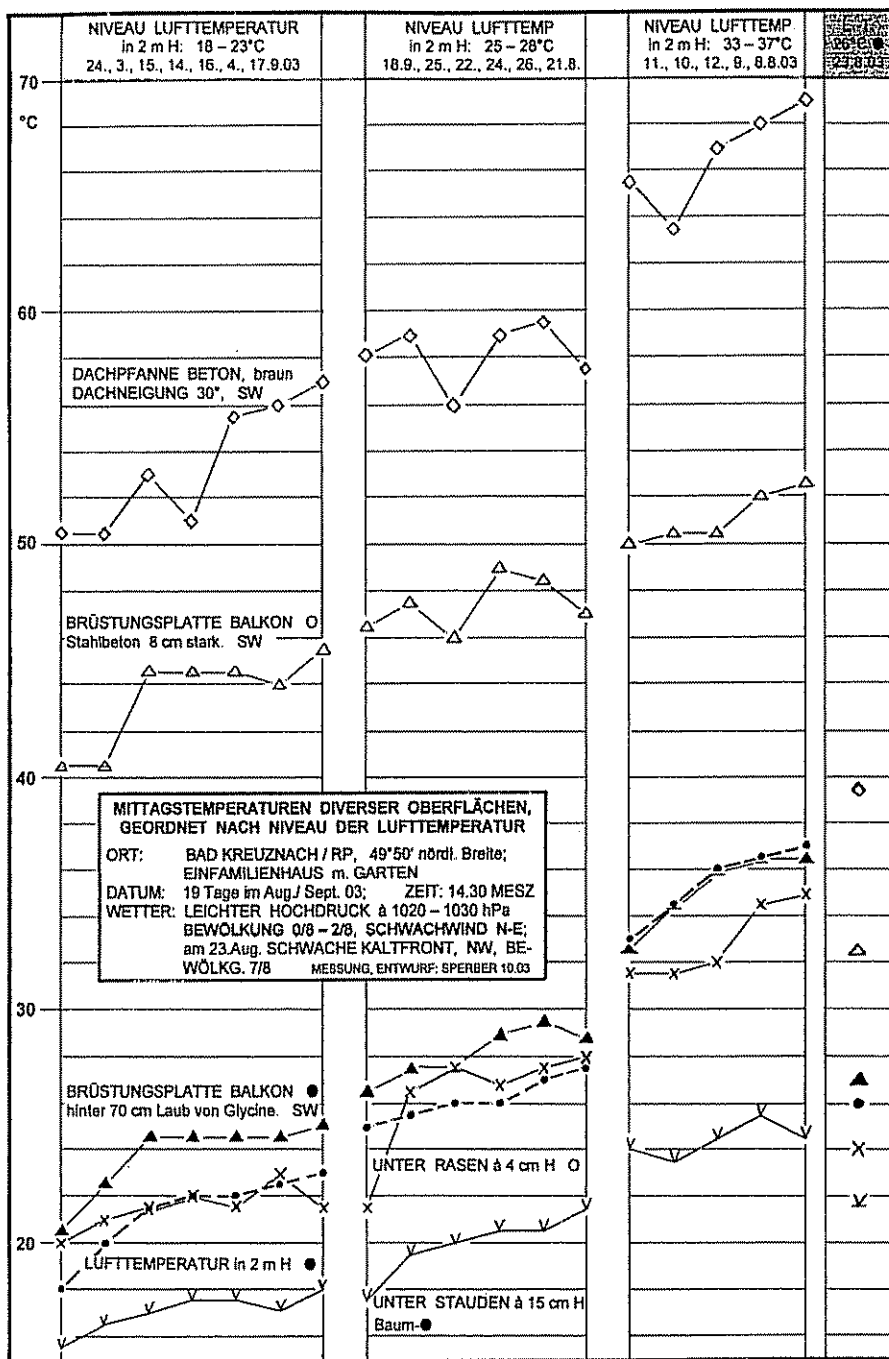
Messpunkt R = Referenzpunkt, gantztägig im Schatten Die Isolinien zeigen die Abweichung in °C von der Temperatur bei R; die höchste und niedrigste Abweichung je Termin ist eingetragen Gerissene Linie = Baumschatten Zackenlinie = Gebäudeschatten

Verteilung der Temperatur der Oberfläche (Mittelwert aus vier Tagen) eines Abschnittes der Binger Fußgängerzone um 10.00, 11.30 Uhr (oben), 14.30, 17.30 und 20.00 Uhr (unten) bei sommerlichem Hochdruckwetter



M. D = Messpunkt D

Oben: Tagesverlauf der absoluten Temperatur der Oberfläche (Mittelwert) eines Abschnittes der Binger Fußgängerzone anhand von fünf Messpunkten aus (Abbildung links) Unten: Dauer der direkten Sonneneinstrahlung und Ursache der Beschattung am Messpunkt.



wuchs bei hohen Temperaturen durchaus gut wirkt. Der Messpunkt sonnige Brüstungsplatte, nur 1,5 m vom beschatteten entfernt, ist kontinuierlich um 20° wärmer, außer im Bereich über 30°C Lufttemperatur. Die Dachpfanne erhitzt sich um 30° über Lufttemperatur, wegen ihrer langzeitigen und geneigten Exposition (30°-Dach) zur Einstrahlung. Vergleicht man die Messwerte der Oberflächen bei bedecktem Tageshimmel (diffuse Einstrahlung) und einer Lufttemperatur à 26° C um 14.30 MESZ mit dem sonnigen Niveau block 25-28° C, liegt nur die Temperatur unter Stauden höher, alle anderen niedriger. Dabei reicht der „Absturz“ der beiden freiliegenden Baustoffe bis weit unter die niedrigsten Werte bei 18° Lufttemperatur und Sonne. Dennoch setzen die steinartigen Baustoffe diffuse Strahlung in höhere Wärme um als bewachsener Gartenboden. Da man für einen höheren Flächenanteil an bewachsenem Boden gegenüber heute plädieren will, wird dieser in Gestalt der untersuchten Staudenpflanzung den vier anderen Oberflächentypen gegenübergestellt, um seine stadtklimatische Wirkung zu dokumentieren. Dieser Vergleich zeigt, dass die absolute Oberflächentemperatur unter Stauden mit der Lufttemperatur zwar ansteigt, jedoch deutlich flacher. Der Boden unter Rasen erwärmt sich stärker als unter der Staudendecke wegen besseren Zutritts der Strahlung. Als erstaunlich effektiv erweist sich die lockere Begrünung der Brüstungsplatte verglichen mit ihrem besonnten Teil. Der große Sprung an Überwärmung aber liegt nicht zwischen Stauden und Beton an sich, sondern zwischen Stauden und unbeschattetem Beton! Dessen Überhitzung von hier mehr als

Niveau der LUFT-Temperatur °C absolut, 2m H, E. Aug./A. Sept.	Niveau 18-23°	Ø 21,3°	Niveau 25-28°	Ø 26,1°	Niveau 33-37°	Ø 35,4°
Oberflächen-Temp Boden unter STAUDEN absolut, = ± 0°	Amplitude	Ø	Amplitude	Ø	Amplitude	Ø
Abweichung bei RASEN	15,5 - 18,0°	17,0°	17,5 - 21,5°	19,9°	23,5 - 25,5°	24,4°
Abwg. BETONPLATTE +GLYCINE	+3,5 - +6,0°	+4,5°	+4,0 - +7,5°	+6,4°	+7,5 - +10,5°	+8,5°
Abwg. BETONPLATTE SONNE	+5,0 - +7,5°	+6,7°	+7,0 - +9,0°	+8,2°	+8,5 - +12,0°	+10,8°
Abwg. DACHPFANNE	+23,5 - +27,5°	+26,4°	+25,5 - +29,0°	+27,5°	+26,0 - +28,0°	+26,7°
	+33,5 - +39,0°	+36,4°	+36,0 - +40,5°	+38,3°	+40,0 - +44,5°	+42,2°

Oben: Mittägliche Temperaturen häufiger städtischer Oberflächen in Abhängigkeit vom Niveau der Lufttemperatur anhand eines Wohngrundstückes in Bad Kreuznach/RP.

Links: Mikroklimatischer Vergleich von vier Typen städtischer Oberflächen eines Wohngrundstückes als Abweichung ihrer Mittags-Temperaturen (14.30 MESZ) in Amplitude und Mittelwert von denen am Boden einer Staudenpflanzung auf diesem Grundstück

26° C gegenüber bewachsenem, schattigem Boden lässt verstehen, woher – neben anderen Ursachen – die hochsommerliche „Backofenhitze“ in Städten rührt.

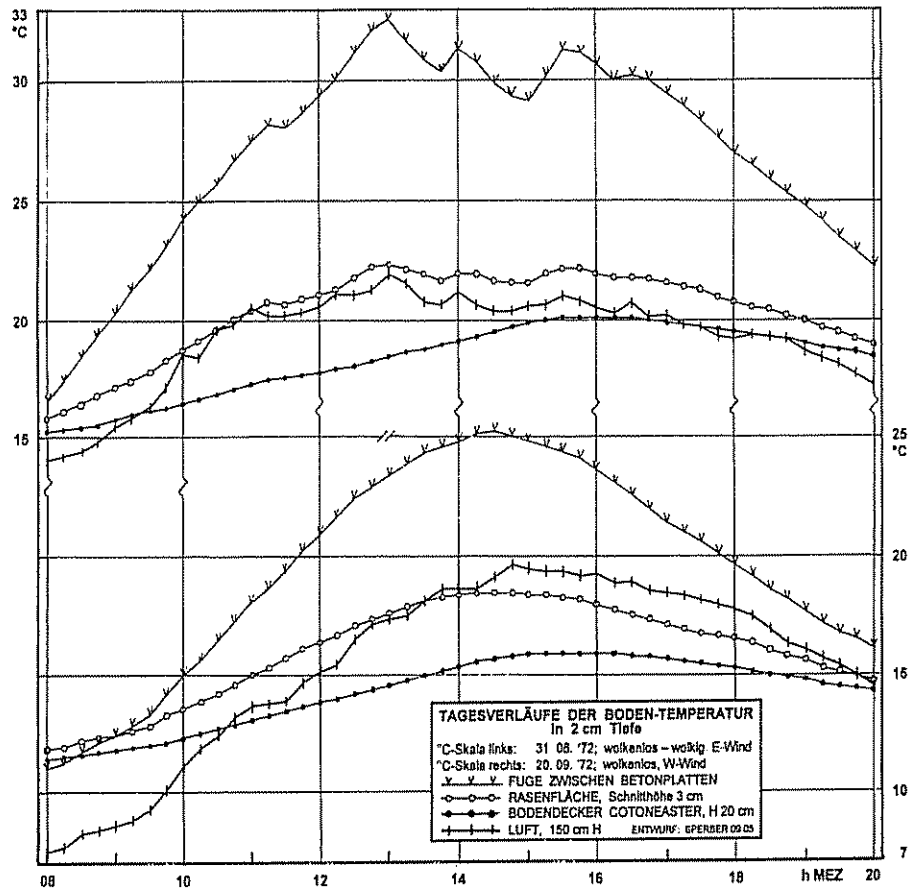
Erdbodentemperaturen in einer repräsentativen Schmuckanlage

Das Thema des vorigen Messortes wörtlich vertiefend, wird an dieser Anlage gezeigt, wie stark Wärme aus direkter Sonneneinstrahlung in die obere Boden- oder Substratschicht eindringt.

Zunächst zur Lufttemperatur: Ihre Kurve am 30. August 1972 (oben) erreicht wegen mittäglicher Wolken einen flacheren Gipfel als die vom 20. September, sie startet jedoch wegen ca. 30 min früheren Sonnenaufgangs und höheren Sonnenstands um 8.00 Uhr MEZ bei 14,0° C gegenüber 7,4° am 20. September.

Vergleicht man die Messkurven im Boden, fällt der ruhige und flache Verlauf bei kleinen Tages-Maxima (20,1° bzw. 15,9° C) und -Amplituden (4,9° bzw. 4,5° C) unter Cotoneaster auf im Vergleich zum Rasenpunkt, wo sich ein höheres Niveau und größere Amplituden bilden (6,6° bzw. 6,7° C). Zwei Ursachen fördern die günstige Situation unter Cotoneaster: die von den Sträuchern behinderte direkte Einstrahlung auf den Boden und sein höherer Luftgehalt gegenüber dem von Tritt verdichteten Rasen. In der sonnigen Plattenfuge hängt die Temperatur an beiden Tagen auffällig ab von der Lufttemperatur bzw. der Einstrahlung, jedoch jeweils markant überhöht. Am 31. August hätte die Temperatur in der Fuge ohne die mittäglichen Quellwolken etwa 36° C erreicht (Probemessung am 11. August 1971 ergab für 13.30 Uhr 39,2° C bei 22,6° Lufttemperatur).

Wählt man die Plattenfuge als stadtklimatisch ungünstigsten Fall, so erweist sich Boden mit schattendem Bewuchs als besonders kühl, ausgedrückt in seinem maximalen negativen ΔT zur Mittagszeit: am 31. August minus 14,2° (vor aufkommenden Wolken!), am 20. September minus 9,5° C; ΔT von Rasen nur minus 10,2° bzw. bis 6,7° C. Die unter Bewuchs gedämpfte und weniger tief dringende Bodenerwärmung (Stoutjesdijk, Barkman 1992) spielt eine wichtige Rolle für



Zwei sommerliche Tagesverläufe von Erdboden-Temperaturen unter drei gängigen Oberflächentypen in einer Grünfläche in Bonn/NW.

die Wasserversorgung von Pflanzen in der Stadt. Sie wird weniger angespannt, was für diese Pflanzen und für das Bodenleben existenziell sein kann, da beide eher vom Bodenwasser aus periodischem Niederschlag leben müssen als aus längerfristigem kapillarem Aufstieg. Generell bewirkt sachgerechte Bepflanzung also besten Klima- und Bodenschutz.

Diskussion und Vorschläge für reduzierte nachteilige Effekte des Stadtklimas

Jedes Kind erlebt, an einem sonnigen Mittag im Sommer barfuss laufend, dass Asphalt, Betonflächen und selbst Sand den Sohlen der Füße partout nicht behagen. Welcher Autofahrer sucht nicht an einem solchen Tage Baumschatten für sein ruhendes Gefährt? Selbst eingefleischte Baumfeinde springen hierzu über ihren Schatten. Man kann daraus schließen, es sei gesund und angenehm, erhitzte Materialien im Lebensumfeld von Menschen so weit wie möglich und konkret zu vermeiden. Da die Umschau im Lande ergibt, dass dies offenbar selten gelingt, folgen einige Vorschläge mit Diskussion.

Grobstruktur von Grünflächen Absolute und interne Vergrößerung von klimawirksamen Flächen steigern

Die Forderung „Mehr Grünfläche in der City“ schließt ein, viele Grünfläche müssten in sich „ergrünen“. Generell wirkt mehr absolute Fläche je Grünfläche klimatisch positiv: So hat v. Stülpnagel (1987: 139) einen „logarithmischen Zusammenhang bei relativ guter Korrelation“ hergestellt zwischen der Fläche einer Grünanlage und ihrer Temperaturdifferenz zur Bebauung. Er sieht aber auch, dass jene allein nicht genügt, sondern dass die innere Struktur entscheidet. Dazu ein Vergleich von fünf Bonner Grünanlagen bezogen auf ihr ΔT zur Bebauung.

In erster Linie schafft ein geringer Versiegelungsgrad eine gute Klimaqualität, denn er gestattet nicht nur viel bewachsenen Boden, sondern zugleich den klimatisch wichtigen hohen Anteil an Laubbäumen. Um im Sommer effektiv Schatten spenden und per Transpiration Kühle erzeugen zu können, müssen sie allerdings erwachsen sein. Die Anzahl städtischer Bäume erregt nur den Statistiker, für Klima et al. zählen neben der Vitalität das Volumen und die Struktur ihrer

Bezeichn. d. Grünanlage	Strukturtyp	Fläche (ha)	Versiegelungsgrad	ΔT (°C) der Grünanlage gegenüber ihrem nahem Straßenraum					
				14:00 Uhr MEZ			18:00 Uhr MEZ		
				$\bar{\Delta T}$	ΔT_{max}	ΔT_{min}	$\bar{\Delta T}$	ΔT_{max}	ΔT_{min}
Tulpenfeld	Große Areale von Betonplatten und Rasen; Bodendecker, Kübel	4,34	58 %	-1,05 n = 10	-1,7	-0,3	-0,73 n = 9	-1,6	-0,1
Alter Friedhof	Dichter Hain alter Laubbäume, Mauer zu den Straßen	1,69	25%	-1,72 n = 6	-2,3	-1,4	-2,06 n = 5	-2,8	-1,7
Baumschulwäldchen	Hain aus alten Laubbäumen mit Strauchgruppen	1,18	18%	-1,44 n = 11	-2,1	-0,8	-1,17 n = 12	-2,3	-0,8
Elisabeth-Schule	Rasen mit jungen Baumgruppen, kompakte Pflanzung zu Straßen	0,43	13%	-1,92 n = 5	-3,4	-1,2	-1,18 n = 5	-1,5	-0,8
Martinsplatz	Schmuckanlage der City: Rasen und Sommerblumen	0,11	55%	-0,64 n = 5	-1,2	-0,2	-0,60 n = 5	-1,0	-0,2

Anlagen geordnet nach Fläche.
Messzeiten Sommer 1971 und 1972
Messhöhe 150 cm
Datenbasis: Sperber 1974

Vergleich von fünf Grünanlagen in Bonn nach ihren Differenzen der Lufttemperatur gegenüber Messpunkten in benachbarten Straßen, bis zu 75 m entfernt vom Rande der Grünanlage

Kronen! Diese Wirkung, mittags und erst recht abends (bis ca. Mitternacht), zeigt der Vergleich des fast baumfreien „Tulpenfelds“ mit dem nur gut ein Viertel so großen Hain des „Baumschulwäldchens“ und dem etwas größeren, waldartigen „Alten Friedhof“. Hin-gegen treten die hohen Temperaturkontraste der Anlage „Elisabeth-Schule“ fast nur direkt beidseits der 3–10 m breiten Randpflanzung und vor allem mittags auf. Die Anlage „Martinsplatz“ liegt frei in der City, wodurch ihre scheinbar kühlende Wirkung aus der Überhitzung der geschlossen bebauten Straßen mit starkem Verkehr resultiert. Daher ist diese Anlage auch als einzige an allen Messtagen ab 12.00 Uhr MEZ im Mittel wärmer als der westliche Bonner Stadtrand, um 24.00 sogar um 2,5° C.

Zur Unterstützung der Grünflächen soll man zudem jede Baulücke einbeziehen, liege sie kurz- oder langfristig brach (Brachflächenkataster, Nutzungs-/Pflegevertrag). Dass dies intensiv dort gilt, wo man Schneisen verbessern will für Belüftung/Abkühlung, für Boden und Grundwasser, für genetischen Austausch von Pflanzen und Tieren, für Erholung, sei hier nur angerissen.

Mikrostrukturen der Grünflächen

Vornehmlich abiotische Baustrukturen verursachen, wie gezeigt, sommerliche Überhitzung, vor allem wegen hoher Wärmekapazität, guter Wärmeleitung und wegen fehlender Abkühlung durch Verdunstung. Abiotische Baustrukturen sind daher aus klimatischen Gründen streng zu begrenzen.

Versiegelungsgrad senken

Bodenbeläge zu reduzieren zugunsten bewachsenen Bodens, bildet die wichtigste Abhilfe, primär in der Planungs- und Bauphase. Bewachsener Boden fördert nicht nur die Erlebbarkeit städtischer Natur, sondern auch die Versickerung sowie die Existenzchancen für Lebewesen, die wiederum die Versickerungsfähigkeit des Bodens erhöhen. Beim Bewuchs wirken Gehölze am günstigsten auf das Mikroklima; sie bedürfen dazu aber passender Bedingungen, vor allem ausreichend Wasser. Generell gilt: Je ausgeglichener der Bodenwasserhaushalt ist, desto länger am Tage kann eine Pflanze verdunsten, was zum einen hohe Temperaturen sehr effektiv senkt: Indem 1 l Wasser verdunstet, werden 640 kcal verbraucht. Zum anderen

kann ein Baum nur dann sein Blattwerk und folglich seine positiven Klimafunktionen optimal entwickeln. Gebäudeschatten senken hohe Temperaturen zwar auch, wirken aber sonst klimatisch nicht günstig; sie werden bei Wind sogar als unangenehm empfunden. Mikroklimatisch gesehen gelten auch Decken aus Zierkieseln als Versiegelungen. Sie lassen zwar Niederschlag passieren, erwärmen sich aber fast so stark wie Asphalt- und Betonbeläge. Statt ihrer sollte man diese Flächen niedrig, etwa mit Stauden, bepflanzen, womit sich hohe sommerliche Oberflächentemperaturen bei voller Einstrahlung um mehr als 10° C senken lassen.

So gilt, selbst für „pocket parks“: Jede nicht unbedingt nötige Versiegelung soll aufgehoben, jede von der Tragkraft her überdimensionierte soll in eine offenere Bauweise umgewandelt werden, nach der erweiterten Maxime „Form follows function as well as mitigation“.

Versiegelte Flächen gut beschatten

In Siedlungen und Grünflächen bleiben, auch bei intensiver Prüfung, versiegelte Bereiche immer nötig. Man kann aber Bäume so anordnen, dass sie wandernde Schatten auf die Beläge werfen, vor allem wichtig um die Zeit des höchsten Sonnenstands. Die Messungen in der Fußgängerzone ergaben derart feine thermische Abstufungen, dass man Sitzbänke danach platzieren könnte. Zudem steuert die Artenwahl die Intensität des Baumschattens; man vergleiche den von Rosskastanie mit dem eines Lederhülsenbaumes.

Die Vorschläge, Bäume einzusetzen, meinen erwachsene Laubbäume und Großsträucher wie Hasel, Kornelkirsche, Erbsenstrauch. Ihr Problem in Siedlungen kann nur skizziert werden: Die Gehölze brauchen Wuchszeit von Jahrzehnten, günstige Lebensbedingungen (offenen Bodenraum, ausgewogen Nährstoffe, Wasser), Vorsicht bei Bauarbeiten und Ähnlichem, eine gewisse Versorgung und öffentliche Akzeptanz. Als „Angestellte im Öko-Service der Stadt“ haben sie eben Ansprüche – wie jeder Mensch. Die Diskrepanz zur hektischen Realität (zum Beispiel Totalpflastern ist „ordentlich, billig“ – nur nicht preiswert) dürfte reichlich beklagt sein,

soll dennoch nicht vom Einsatz für Bäume abhalten.

Andere günstige Strukturelemente wie bewachsene Pergolen bzw. „Vordächer“ vor südexponierten Hauswänden oder freistehend an Wegen und (Spiel-)Plätzen, ebenso Pflanzenwände beschatten die Flächen, lassen Luftbewegung zu und geben ein angenehmes Licht

Gebäude sind meistens als wörtlich feste Größen einzukalkulieren. Stoßen Gebäude direkt an eine Grünanlage, kann ihre heizende Wirkung mit Fassadenbegrünung beschränkt werden. Feinmaschige Fensterraster setzen dabei enge Grenzen; dort eignen sich windende Pflanzen, gezogen an Stahlseilen, evtl. Tröge mit Hängepflanzen.

Rasenflächen durch Bodenvegetation ersetzen

Rasenflächen wirken klimatisch günstiger als befestigte, wie gezeigt aber oft nur wenig: Starke Nutzung presst den Boden oder reißt die Narbe auf, wonach sich offener Boden ähnlich Stein erwärmt; Verdichtung durch Mahd und Tritt sowie Windangriff verschlechtern den Wasserhaushalt. Wird Rasen mit Bodenvegetation ersetzt, schon als Säume an Gehölzrändern, senkt man nicht nur die bodennahe Temperatur, sogar unter die Lufttemperatur, sondern umgeht auch die Nachteile von Rasen.

Struktur des Randes an der Nutzung der Grünfläche orientieren

Die Form der Randzone von Grünflächen entscheidet außer über deren Anblick über die Nutzbarkeit des Mikroklimas. Dazu muss die Grünfläche überhaupt erst ein Eigenklima entwickeln. Drei aneinander gekoppelte Voraussetzungen sind dazu nötig:

1. Eine kompakte Form bei einer Fläche ab 2 ha,
2. ein (für innenstädtische Zonen abenteuerlicher) Versiegelungsgrad von max. 25 %, ,
3. ein hainartiger Bestand alter Laubbäume mit einer Kronendeckung von ca. 60 %, begleitet von Strauchgruppen (wie zum Beispiel „Alter Friedhof“ und „Baumschulwäldchen“).

Dieses Eigenklima kann man passiv nutzen, das heißt die nähere Umgebung erfährt

günstige klimatische Wirkungen aus der Grünanlage heraus wie gesenkte Temperatur, erhöhte Luftfeuchtigkeit, geminderter Wind. Je offener der Rand der Grünfläche und der angrenzende Straßenraum geformt sind, desto eher kann sie diesen beeinflussen.

Dichte Pflanzungen oder Mauern hindern die klimatische Außenwirkung. Dies alles meint primär den bodennahen Bereich, also Fußgängerniveau. Leider stimmen etliche Untersuchungen darin überein, dass die starke Erhitzung der Bebauung mittags und abends die positive Wirkung der Grünfläche schon nach 50 (~100) m ab ihrem Rande aufgezehrt hat, das heißt der Schwellenwert für ΔT von 0.5° C wird unterschritten: Eriksen (1964) in Kiel nennt 60 m, Sperber (1974) in Bonn max. 80 m, v. Stülpnagel (1987) in Berlin max. 140 m; austauscharme Wetterlage vorausgesetzt. Zudem funktioniert dieser Einfluss kaum entgegen dem lokalen Bodenvind (genannte Autoren; Finke et al. 1976) und nicht, wo Autoverkehr den Einfluss wegen Verwirbelung mit warmer Luft stört. Das Eigenklima einer Grünfläche aktiv nutzen, heißt, diese bewusst zur Erholung aufzusuchen: die bioklimatisch beste Lösung. Wo diese Nutzung dominiert, soll man das Eigenklima deutlich stärken, etwa, indem man den Rand dicht bepflanzt oder im Extremfalle mit einer Mauer schließt, wo Wärmeausstoß des Verkehrs ihr Eigenklima beeinträchtigt. Eine ca. 1,5 m hohe Mauer, an der die mittägliche Temperaturdifferenz der Grünfläche zum Außenbereich mehr als 1° C betragen kann, nimmt dabei am wenigsten Platz, hindert aber keine Feinstäube. Eine dichte Strauchpflanzung von mehr als 5 m Breite erzeugt einen ähnlichen Temperatursprung, aber zusätzlich noch eine Filterleistung gegen Staub und Lärm.

Landschaftsarchitektonische Strukturreihe empfohlen

Das widerstreitende Duo Versiegelung und Versickerung wird zunächst zu einem Wirkungsnetz erweitert, um die nachfolgende Strukturreihe zu untermauern: Weniger Versiegelung bewirkt mehr Versickerung und weniger Windgeschwindigkeit → mehr Porenvolumen, mehr Edaphon und mehr Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre

→ mehr und gesündere Bäume und andere Pflanzen → mehr Evapotranspiration und Schattenwirkung → mehr regionaltypisches Mikroklima, vor allem geringere Überwärmung. Hinzuweisen ist auf die Tabelle „Stadtklimaverbesserung durch Grün“ bei Wilmers (1985).

Da diese das Stadtklima rückstellenden Wirkungen besonders mit dem Schatten von Laubbäumen (der im Winter ja nicht fällt!) gefördert werden, bietet es sich mikroklimatisch an, gestalterisch in erster Linie diesen zu nutzen. Daraus leitet sich aus diesen Untersuchungen die folgende Reihe absteigender Qualität der Struktur von Grünflächen ab: optimal sind große offene Vegetationsflächen mit 60 bis 70 % Deckung der Baumkronen – lockerer Baumschirm à ca. 40 % mit großen Strauchgruppen – Rasen und Baum- und Strauchgruppen, umgeben von Baum- und Strauch-Randpflanzung – Rasen mit „Savannenwald“ à ca. 20 % Deckung plus Strauchpflanzung – Schmuckanlage mit großen bewachsenen Baumscheiben bzw. an Hauptwegen, Spielplätzen etc. mit großen Baumscheiben aus versickerungsfähigen Belägen. Mikroklimatisch gut strukturierte Grünflächen bieten nicht nur dem Menschen die Chance, je nach Bedarf optimale Aufenthaltsorte aufzusuchen, sondern enthalten auch floristisch und faunistisch variable, vielfältige Lebensstätten, die den Aufenthalt für aufgeschlossene Menschen ebenfalls angenehm gestalten.

Aspekte von Kontrolle und Pflege

Einen im B-Plan genehmigten oder per Ortsatzung zulässigen Grad an Versiegelung bei Kommunen, Investoren und Privaten wiederholt zu kontrollieren, ist leider nötig, da spätere „Optimierungen“ im Sinne des Ausführenden und des Flächeneigentümers nicht unüblich sind (zum Beispiel Murowatz, Sperber 1999). Die Realisierung der Kontrolle ruht offenbar im Kummerkasten.

Der derzeit global geübte Stil des „Militär-Haarschnitts“ für Gehölze ist mikroklimatisch schlicht kontraproduktiv. Abgesehen von der ästhetischen Schaurigkeit muss das Gehölz jährlich eine neue Aststruktur aufbauen, und die Pflanzungen bleiben lange Zeit des Jahres durchlässig für Einstrahlung, Wind und

Immissionen und lebensfeindlich für Bodenleben und Makrofauna (zum Beispiel Brutvögel). Derart werden die klimatischen Wirkungen „kostengünstig“ an ihrer Ausprägung gehindert. Gegen einen fachlich gekonnten Strauch- und Baumschnitt in mehrjährigem Turnus (Auslichtungsschnitt) ist nichts einzuwenden.

Auch andere „Sparmaßnahmen“ zum Beispiel Umwandlung von Gehölzflächen in Rasen, Zusammenblasen von Herbstlaub sollten, als einem besseren Stadtklima ebenso zuwiderlaufend, revidiert werden.

Unterstützung der Klimawirkungen durch Planung und Öffentlichkeitsarbeit

Diese und andere Untersuchungen zum klimatischen Rang von Grünflächen haben ergeben, dass WA-Gebiete in offener Bauweise, baumreiche Friedhöfe und Kleingartenflächen oft klimatisch besser wirken als die oft sehr handlichen Grünflächen. Daher soll bei B-Plänen ein hoher Anteil an Bäumen und bewachsenen Bodenflächen erwirkt werden (Auflage und Bestandsschutz nach § 9 BauGB), um die kommunalen Grünflächen zu stützen. Man kann dies argumentativ mit Bodenschutz, Versickerung von Niederschlag, Förderung von Pflanzen- und Tierwelt, Erholung, Kinderspiel und Stadtbild verknüpfen. Dass solche Aktivitäten *in toto* den Klimawandel verlangsamen helfen, betonen auch Rogers, McCarty (2000). Kommunal lassen sie sich zum Beispiel per Ökokonten realisieren, wobei der „Flächenverbund“ als ökologischer Geist immer präsent sein sollte. Weiter ermöglichen es diese Messergebnisse, Bewertungsverfahren für Bebauungspläne wie Biotopflächenfaktor, Grünvolumenzahl fortzuentwickeln.

Da neue Grünflächen in Städten selten zu erlangen sein werden, müssen die bestehenden planerisch saniert werden in Richtung der ersten Stufen der zuvor aufgestellten Reihe. Nach wie vor gilt die generelle Koppelung: Je dichter die Bebauung, desto stärker die ungünstigen Effekte des Stadtklimas. Damit erlangen alle erwähnten Vorschläge in dichter Bebauung hohe Priorität, unabhängig von heftigen ökonomisch motivierten Widerständen. Hoffnung besteht jedoch: zum einen, da schon mit recht simplen Mitteln wie Baumschatten, Fassadenbewuchs, Ent-

siegelung deutliche Erfolge zu erringen sind, so dass Privatleute selbst aktiv werden, zum anderen, da man peu à peu einsieht, dass anderes die Attraktivität der Städte ausmacht als mein Parkplatz vor jeder Ladentür. Bei der „Innenentwicklung“ von Städten soll klimatisch gesehen die bauliche Entkernung von Innenhöfen fortgesetzt, die klimatische Konsequenz einer Bebauung nach erhöhter GRZ/GFZ oder in zweiter Reihe aber kritisch bedacht werden, da sie das allgemeine Schutzgut Klima stark berühren wird. Gegenüber privaten Flächeneigentümern bleibt, vor dem Bau und in der Sanierung, nur Beratung, für welche ebenfalls auf die vorgebrachten Argumente zurückgegriffen werden kann.

Insgesamt wird erhofft, die betagte kritische Frage von Bernatzky (1966: 32), „ob unsere durchschnittlichen Grünflächen mit ihrer „malerischen Streuung“ von Bäumen, Sträuchern und Rasen den vom Stadtklima herkommenden Überlegungen entsprechen“, brauche immer seltener gestellt zu werden.

Zusammenfassung

Die Beiträge zum Stadtklima beleuchten seine mikroskaligen Ursachen selten oder zu kurz. Hier werden an vier Objekten die wichtigsten (landschafts-)baulichen Mikrostrukturen auf ihr Temperaturverhalten der Luft, der Oberflächen und des Erdbodens hin untersucht. Die Auswertung verdeutlicht, in welche Richtung und wie intensiv diese Strukturen das Stadtklimas mitprägen, wobei die Temperatur als Indikator für Stadtklima insgesamt steht. Die praktische Konsequenz für ein angenehmeres Stadtklima lautet, vorrangig den Anteil versiegelter Oberflächen so weit wie möglich zu beschränken und wieder zu reduzieren zugunsten bewachsener Bodenflächen; denn diese leisten Erhebliches darin, das sommerliche Mikroklima mitteleuropäischer Städte zu verbessern. Der hohe Rang erwachsener Laubbäume dabei wird betont. Der Autor ist überzeugt, dass naturnähere Baustrukturen angesichts der steten Ausdehnung bebauter Gebiete und der Häufung sommerlicher Hitzeperioden dazu beitragen werden, sowohl gesundheitliche Beeinträchtigungen der Stadtbewohner zu mindern als auch den Klimawandel zu bremsen.

QUELENNACHWEIS

- Bernatzky, A. (1966): Klimawirkungen von Grünflächen und ihre Beziehungen zur Städteplanung. *anthos* 5, (1): 29-34
- Bernatzky, A. (1974): Bäume in der Stadt. *Garten+Landsch* 10/1974: 543-546
- Emonds, H. (1954): Das Bonner Stadtklima. *Arb. z. Rhein. Landeskd.* H. 7. Bonn: Selbstverl. Geogr. Inst. Univ. Bonn
- Eriksen, W. (1964): Beiträge zum Stadtklima von Kiel. *Schr. R. Geogr. Inst. Univ. Kiel* Bd. XXII, H. 1. Kiel
- Finke, L., E. Heidtmann, R. Messner, J. von Reuß, G. Werner, E.-U. Sczesny, (Bearb.) (1976): Zuordnung und Mischung von bebauten und begrünten Flächen. *Schriftenr. „Städtebauliche Forschung“ Bundesmin. Raumordng., Bauw. u. Städtebau* 03/044. Bonn
- Haas, L. (2003): Der andere Klimawandel. *natur & kosmos* 1/2003: 5. 10-12
- Hansen, J. E. (2005): Lässt sich die Klima-Zeitbombe entschärfen? *Spektrum d. Wissensch.* 1/2005: 5. 50-58
- Gründonner, D. (1991): Mikroklimatische Standortuntersuchungen im Stadtgebiet von Bingen und deren grünplanerische Auswertung. *Dipl.-Arb. FH Rheinland-Pfalz, FB Umweltschutz, Bingen*. Unpubl.
- Kessler, A. (1971): Über den Tagesgang von Oberflächentemperaturen in der Bonner Innenstadt an einem sommerlichen Strahlungstag. *Erdkunde. Arch. f. wiss. Geographie*, Bd. 25, Lfg. 1. Bonn
- Kuttler, W. (1998): Stadtklima. In: Sukopp, H.; Wittig, R.: *Stadtökologie*. 2. Aufl. S. 125-167. Stuttgart: G. Fischer
- Murowatz, H., H.H. Sperber. (1999): Landschaftspflegerische Festsetzungen im Bebauungsplan. *Analyse – Umsetzungskontrolle – Verbesserungsmaßnahmen an Beispielen aus der Stadt Rüsselsheim*. *Stadt+Grün* 48, (9): S. 636-640
- Rogers, C.E., J.P. McCarty. (2000): Climate change and ecosystems of the Mid-Atlantic Region. *Climate Research*, Vol. 14: S. 235-244
- Schönwiese, C.-D. (1994): *Klimatologie*. UTB 1793. Stuttgart: Ulmer
- Seneviratne, S.I., Lüthi, D., Litschi, M., Schär, C. (2006): Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, Vol. 443, Ausgabe vom 14. 9. 2006. S. 205-209
- Sharon, D., Koplowitz, R. (1972): Observations on the Heat Island of a Small Town. *Met. Rdsh.* 5: S. 143-146
- Sperber, H. (1974): Mikroklimatisch-ökologische Untersuchungen an Grünanlagen in Bonn. *226 S. Diss. Landwirtschaftl. Fak. Univ. Bonn*
- Sperber, H. (1976): Zum nächtlichen Stadtklima von Bonn. *Gutachten für die Stadtverwaltung Bonn. Stadtplanungsamt*. 53 S., 3 Karten. Vervielfält. Manuskript
- Stoutjesdijk, Ph., J.J. Barkman. (1992): *Microclimate. Vegetation and Fauna*. Knivsta: Opulus Press AB
- von Stülpnagel, A. (1987): Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen. *dargestellt am Beispiel von Berlin (West)*. 173 S. *Diss. FB 14 Landschaftsentwicklung TU Berlin*
- UBA. Umweltbundesamt (2006): Flächenanteile der Nutzungen in Deutschland. *Stand Jan. 03*. www.env-it.de/umweltdaten vom 17. 2. 06
- UNEP (2002): *Global Environmental Outlook 3*. London: Earthscan Publ. Ltd.
- vista verde (2006): Frühjahrsblüte beginnt früher. www.vista-verde.de/news vom 24. 1. 06
- Wilmers, F. (1985): Ansprüche des Menschen an seine Klima-Umwelt. *Landsch.+Stadt* 17, (1): S. 30-42
- BauGB. Baugesetzbuch vom 24. Juni 2004. *BGBI* I: 1359
- BImSchG. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge vom 9. Sept. 2001. *BGBI* I: 2331
- BNatSchG. Gesetz zur Neuordnung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften vom 25. März 2002. *BGBI* I: 1193