

Cyrus Samimi und Barbara Elisabeth Strobel

Das Stadtklima von Erlangen

unter Berücksichtigung kleinräumiger stadtklimatischer Strukturen

mit 19 Abbildungen, 4 Tabellen und 1 Beilage

1 Allgemeine stadtklimatische Grundlagen

In der freien Landschaft hängt das Klima weitgehend von natürlichen Gegebenheiten ab, wie z.B. der geographischen Breite, der Höhe über dem Meeresspiegel, dem Ausmaß der Sonneneinstrahlung usw. In Stadt- und Industrielandschaften finden wir gegenüber dem Umland ein verändertes Lokalklima vor, das so genannte Stadtklima. Wesentliches Merkmal des Stadtklimas ist die Ausbildung einer Wärmeinsel mit einer im Vergleich zum Umland durchschnittlich 1,5 K höheren Temperatur im Jahresmittel. Weiter weicht es vom Regionalklima vor allem durch folgende Eigenschaften ab:

- horizontale Windabschwächung bzw. lokale Verstärkung durch Düseneffekte
- geringere Luftfeuchte
- höhere Luftverunreinigungen

Einen Überblick über die Unterschiede der Klimaparameter zwischen Stadtregionen und dem Umland gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Mittlere Veränderung von Klimaparametern in Verdichtungsgebieten (SCHMALZ 1984)

Parameter	Charakteristische Größen	Vergleich zum Umland
Luftverschmutzung	Kondensationskerne	10 x mehr
	gasförmige Verunreinigungen	5 - 25 x mehr
Strahlung	Globalstrahlung	15 - 20 % mehr
	UV (Winter)	30 % weniger
	UV (Sommer)	5 % weniger
	Sonnenscheindauer	5 - 15% weniger
Temperatur	jährliches Mittel	0,5 - 1,5 K höher
	an Strahlungstagen	2 - 6 K höher
Windgeschwindigkeit	jährliches Mittel	10 - 20 % weniger
	Windstille	5 - 20 % mehr
Relative Feuchtigkeit	Winter	2 % weniger
	Sommer	8 - 10 % weniger
Wolken	Bedeckung	5 - 10 % mehr
	Nebel (Winter)	100 % mehr
	Nebel (Sommer)	30 % mehr
Niederschlag	totale Regensumme	5 - 10 % mehr
	Tage mit weniger als 5 mm Regen	10 % mehr
	Schneefall	5 % weniger

Ursache dafür sind die Bebauungsart und -dichte sowie die Anordnung der Baukörper, das Wärmespeichervermögen der verwendeten Baustoffe, die Bodenversiegelung, geringe bis fehlende Vegetationsflächen und vermehrte Emissionen von Abgasen, Staub und Aerosolen (*VDI-Kommission Reinhaltung der Luft* 1988). Ein hoher Versiegelungsgrad bedingt durch die geringere Verdunstung unmittelbar eine höhere Lufttemperatur. In München durchgeführte Untersuchungen (BRÜNDEL u.a. 1986) ergaben, dass pro 10%iger Zunahme des Versiegelungsgrades die mittlere Jahrestemperatur um 0,2 K steigt. Ab einem Versiegelungsgrad von 60 % ist deshalb eine deutliche Zunahme der Überwärmung festzustellen. Die Gebäude speichern die Tageseinstrahlung und kühlen nur langsam ab. Durch Hausbrand, Motoren und Industrieanlagen wird zusätzlich Wärme abgegeben. Aufgrund der „Dunstglocke“ aus Gasen und Stäuben werden langwellige Wärmestrahlungen besser absorbiert. Kalt- und Frischluftströme, die die Überwärmung mildern, werden durch die höhere Oberflächenrauigkeit und durch Hindernisse verringert.

Die Heterogenität von Städten, für die neben stark versiegelten und dicht bebauten Flächen eben auch städtisches Grün – z.T. sehr kleine Grünflächen und teilweise große Parks – und lockere, durchgrünte Bebauung kennzeichnend ist, hat zur Folge, dass die stadtklimatische Situation nicht als homogenes überwärmtes Gebilde ausgebildet ist, sondern ein Klimamosaik zu beobachten ist. ERIKSEN (1976: 369) spricht von einer „mehrkernigen Wärme-Insel“. Die Bausteine des Klimamosaiks sind nachfolgend im Überblick aufgeführt.

1.1 Klimatische Belastungsgebiete

Belastend für das Stadtklima sind besonders die atmosphärischen Verhältnisse während austauscharmer Hochdruckwetterlagen. Im Sommer kommt es dabei zu einer kombinierten Wärme- und Schadstoffbelastung der Luft. Im Winter spielt ausschließlich die Schadstoffbelastung eine Rolle. Austauscharme Hochdruckwetterlagen sind gekennzeichnet durch vorwiegend geringe Bewölkung, ungehinderte Sonneneinstrahlung und nächtliche Wärmeabstrahlung sowie schwachen Wind. Die niedrigen Windgeschwindigkeiten sorgen kaum für einen Austausch der belasteten Luft mit frischen Luftmassen.

Als thermisch belastete Bereiche werden dabei vor allem stark versiegelte und dicht bebaute Flächen angesehen, die sich tagsüber stark aufheizen und die gespeicherte Wärme noch lange nach Sonnenuntergang an die Umgebung abgeben. Die Folge ist eine hohe Wärmebelastung für den Menschen. Besonders bei älteren und kreislaufgeschwächten Menschen kann das Fehlen der nächtlichen Abkühlung nachteilige gesundheitliche Auswirkungen hervorrufen. Auch ist bei Nachttemperaturen über ca. 18 °C, wie sie in wärmebelasteten Gebieten oft auftreten, die Voraussetzung für einen physiologisch erholsamen Schlaf nicht mehr gegeben.

1.2 Klimatische Entlastungsbereiche

Unter klimatischen Entlastungsbereichen (Ausgleichsflächen) versteht man Flächen, die zu einer Verbesserung der oben beschriebenen Belastungen des Stadtklimas, z.B. durch Frisch- oder Kaltluftbildung, beitragen. Zu den wichtigsten Ausgleichsflächen gehören Vegetationsflächen, Gewässer und Wälder.

Der klimatische Ausgleich wird durch die Vermischung der warmen, belasteten mit relativ kühler, unbelasteter Luft herbeigeführt. Diese Vermischung erfolgt einerseits durch hangabwärts fließende Kalt- oder Frischluft von den Ausgleichsflächen in die belasteten Stadtbereiche. Andererseits kann ein lokal eng begrenzter Ausgleich durch Luftzirkulationen infolge von Temperaturunterschieden stattfinden.

1.2.1 Kaltluftentstehungsgebiete

Offene, gehölzarme Grünflächen bewirken eine starke klimatische Entlastung durch Verdunstung und somit geringerer Erwärmung der Oberfläche und der Luft einerseits und Abschwächung der Einstrahlung und damit geringerer Erwärmung der Pflanzenbestände andererseits. Nachts, vor allem bei wolkenarmen, windschwachen Wetterlagen, kühlen die Vegetationsflächen und die darüber liegenden bodennahen Luftschichten durch eine ungehinderte Ausstrahlung stärker als abebaute oder mit Wald bestandene Flächen. Die Kaltluftbildung auf Vegetationsflächen hängt dabei sehr stark von der Art des Bewuchses ab. So haben Grünland, Brachflächen oder Äcker mit dichtem Bewuchs die höchste Kaltluftproduktionsrate. Unbewachsene Ackerflächen erwärmen sich tagsüber relativ stark und zeigen nur nachts einen Kühleffekt.

1.2.2 Frischluftentstehungsgebiete

Wald ist ein schlechter Kaltluftproduzent, da die durch Ausstrahlung im Kronenraum entstandene Kaltluft in den Stammraum abfließt und sich dort erwärmt. Nach KIESE (1988) produzieren Waldflächen zwar auch Kaltluft in sehr großen Mengen, die Kaltluft ist jedoch wesentlich wärmer als die auf offenen Vegetationsflächen entstehende und deshalb von geringerer Kühlwirkung. Wälder sind jedoch die wichtigsten Lieferanten für Frischluft; besonders tagsüber liefern sie staubfreie, wenig belastete, kühlere und feuchtere Luft. Durch Blätter und Nadeln werden Luftschadstoffe und vor allem Stäube herausgefiltert; zusätzlich wird in Wäldern reichlich Sauerstoff abgegeben. Die Wohlfahrtswirkungen von Wäldern sind jedoch nur in den unmittelbaren Waldrandbereichen noch spürbar. Dennoch besitzen sie einen Abkühlungseffekt für Siedlungsgebiete und sind für den Luftaustausch zwischen Umland und Bebauung wichtig.

Insgesamt können größere Waldflächen klimatische Extreme, wie Niederschläge, Wind und Hitze, dämpfen. An heißen Tagen besitzen besonders größere Waldflächen in ihrem Inneren ein kühleres Bestandsklima. Sie eignen sich deshalb zur Erholung in hitzebelasteten Perioden.

1.2.3 Kaltluft- und Frischluftflüsse

Die Kaltluft- und Frischluftentstehungsgebiete mit ihren relativ kühlen und unbelasteten Luftmassen bekommen ihre Funktion als klimatische Ausgleichsflächen, wenn diese Luftmassen in die Belastungsbereiche gelangen und dort zu einem Luftmassenaustausch führen.

Kaltluft- bzw. Frischluftflüsse entwickeln sich auf unbebauten und unbewaldeten Hängen infolge der Schwerkraft. Ihre entlastende Wirkung ist abhängig von der Hangneigung, der Bodenrauigkeit, der Reliefenergie und der Größe des Entstehungsgebietes. Die Strömungen entstehen nach Sonnenuntergang und können bei unbehinderten Abflussmöglichkeiten die ganze Nacht andauern.

1.2.4 Flächen mit lokalem klimatischem Ausgleich

Nutzungsbedingte Temperaturunterschiede zwischen Vegetationsflächen und bebauten/versiegelten Flächen können ab etwa 5 K schwache Luftzirkulationen bewirken, die einen Temperatureausgleich zur Folge haben.

Die Wirksamkeit dieser Art des Luftaustauschs hängt wesentlich von der Größe der Vegetationsflächen ab. Laut MAYER (1990 zit. in FISEL 1994) bewirken Freiflächen erst ab einer Ausdehnung von 50 ha einen klimatischen Ausgleich über weitere Entfernungen. Lokal wirksam können jedoch bereits Flächen ab 200 x 200 m sein (MAYER & MATZARAKIS 1992 zit. in FISEL 1994).

So können mit Gehölzen und Bäumen bestandene Grün- und Parkflächen oder Friedhöfe oder auch Streuobstwiesen zur Verbesserung des Stadtklimas im dicht bebauten Bereich beitragen. Wenn auch die Reichweite ihrer Wirkung in die weitere Umgebung gering ist, können sie doch zu einer Luftverbesserung durch Ausfiltern von Stäuben und Schadstoffen beitragen. Weiterhin bieten sie dem Stadtbewohner die Möglichkeit, bei hohen Außentemperaturen die kühleren Parkanlagen aufzusuchen (FEZER 1995).

In den äußeren Wohnbereichen leisten landwirtschaftliche Nutzflächen und Waldgebiete einen wichtigen Beitrag zur Abkühlung und Luftverbesserung.

1.2.5 Luftleitbahnen

Auf Luftleitbahnen fließt die Frisch- und Kaltluft vom Umland in die belasteten Stadtgebiete. Ihre Wirksamkeit hängt von der Breite der Leitbahn, der Oberflächenrauigkeit, dem Gefälle und von der Exposition zur Hauptwindrichtung ab.

Für die Funktion als Luftleitbahn müssen nach MAYER & MATZARAKIS 1990 (zit. in FISEL 1994) folgende Kriterien erfüllt sein:

- Ausrichtung vom Umland möglichst geradlinig ins Stadtzentrum
- geringe Oberflächenrauigkeit
- Länge über 1.000 m, mindestens jedoch 500 m
- Breite 50 m, mindestens 30 m
- möglichst keine Hindernisse; Hindernisse sollten unter 10 m hoch sein und in der Breite weniger als 10 % der Breite der Ventilationsbahn betragen.

Prinzipiell werden Kalt- und Frischluftbahnen unterschieden, die jedoch häufig beide Funktionen erfüllen. Kaltluftbahnen oder Kaltluftschneisen bringen vor allem in den frühen Abendstunden und nachts in windschwachen, strahlungsreichen Nächten kühlere Luft ins Stadtgebiet. Die lufthygienische Belastung kann dabei unterschiedlich sein (z.B. Grünachsen mit niedrigem Bewuchs, unverbaute Bach- und Flusstäler, größere Gleisanlagen und größere Straßenzüge, letztere aber nur nachts). Überstreichen die Kaltluftströmungen auf ihrem Weg ins Stadtgebiet keine Emissionsquellen, spricht man von Frischluftbahnen oder Frischluftschneisen (z.B. Grünachsen mit niedrigem Bewuchs, unverbaute Bach- und Flusstäler, größere Gleisanlagen). Frischluftbahnen entlasten die verunreinigte Stadtluft, erhöhen im Sommer die Luftfeuchte und können kleinräumig Inversionen abmildern.

1.2.6 Stadtplanerische Konsequenzen

Ausgehend von den oben geschlößerten bioklimatischen Belastungen würdigen verschiedene Gesetze, wie z.B. das Baugesetzbuch §1 (5) 7 und das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG §2 (1)), stadtklimatische Aspekte und bilden so gesetzliche Grundlagen bei Planungen. So fordert das BNatSchG in § 2: „Beeinträchtigungen des Klimas, insbesondere des örtlichen Klimas, sind zu vermeiden, unvermeidbare Beeinträchtigungen sind auch durch landschaftspflegerische Maßnahmen auszugleichen oder zu mindern“. Dementsprechend sollte das Ziel übergeordneter Planungen sein, klimatische Belastungsgebiete durch Entlastungsgebiete, wie Wald-, Grün- und Parkflächen zu verbessern. Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas, wie die Schaffung und Erhaltung von Freiflächen, Sicherung von Luftleitbahnen, Entsigelungsmaßnahmen oder die Verbesserung und Vernetzung von Grünstrukturen, kommen auch in beträchtlichem Ausmaße den Zielen des Arten- und Biotopschutzes zugute und haben so eine doppelte Funktion.

Im Folgenden wird deshalb neben der Darstellung von Belastungsbereichen Wert auf diejenigen Flächen und Strukturen im Stadtgebiet gelegt, die zu einer Verbesserung der Luftqualität und einer Verminderung der städtischen Überwärmung beitragen können. Weiter wird versucht zu klären, welchen räumlichen Einfluss städtisches Grün auf benachbarte versiegelte bzw. dichter bebaute Flächen hat.

2 Grundlagen und Methoden

Die Grundlage der vorliegenden Studie ist eine Diplomarbeit, deren Geländearbeiten im Sommer 2001 stattfanden (STROBEL 2002). Weitere wichtige Aussagen basieren auf einem Stadtklimagutachten für die Stadt Erlangen (*Deutscher Wetterdienst* 1989). Im Jahr 1982 fand im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen eine Thermalbefliegung des Großraumes Nürnberg-Fürth-Erlangen statt. Die Daten stehen digital zur Verfügung und wurden zusätzlich zu den schon bei BAUMGARTNER u.a. (1985) veröffentlichten Ergebnissen nicht weiter ausgewertet, aber zur Verdeutlichung der eigenen Untersuchungen herangezogen.

Von Mitte Mai/Anfang Juni bis Ende September liefen im Stadtgebiet Erlangen fünf mit Data-Loggern ausgestattete Messstationen, die die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit in 2 m Höhe in einem 10-Minutentakt aufnahmen (Abb. 1). Die Standorte der Stationen repräsentieren typische Gegebenheiten der Stadt Erlangen. Logger A befand sich im verdichteten Zentrum in einem Innenhof. Der Standort von Logger B ist durch eine offene Bebauung mit hohem Grünflächenanteil charakterisiert. Logger C und D (zwei Logger) standen in lockerer Bebauung am Stadtrand. Logger C repräsentiert dabei die für den Norden und Osten der Stadt kennzeichnende Nähe zu Waldflächen, Logger D die Nähe zur Regnitzaue. Alle Logger-Fühler und die Fühler der mobilen Geräte wurden auf den Referenzfühler des Loggers B abgeglichen.

Zur Ermittlung des Temperaturfeldes in Abhängigkeit von der Oberflächenbedeckung erfolgten Messfahrten während sommerlicher Strahlungswetterlagen. Unter Strahlungswetterlagen versteht man Wetterlagen, die sich durch Wolkenarmut auszeichnen. Von großer Bedeutung ist dabei eine weitgehende Windstille. Unter solchen Bedingungen ist die Temperatur nur durch den Strahlungsumsatz gesteuert, wodurch thermische Unterschiede verschiedener Oberflächen deutlich hervortreten. Um das gesamte Stadtgebiet von Erlangen repräsentativ abzudecken, wurden drei Routen durch die Stadt gelegt (Abb. 1). Die Messkampagnen entlang dieser Routen erfassen die Minimum- und Maximumtemperaturen während der Nacht bzw. tagsüber. Die Nachtmessungen starteten gegen 1.30 und endeten kurz vor Sonnenaufgang. Die Tagesmessungen begannen am Mittag. Da die Messfahrten zwischen drei und vier Stunden dauerten, wurden die erfassten Temperaturen mit Regressionsgleichungen auf die jeweilige Minimumtemperatur der Nacht bzw. 14 Uhr umgerechnet (NAGL 1997, STROBEL 2002). Hierzu diente Logger B, der die tiefsten nächtlichen Minima und niedrigsten Temperaturen tagsüber lieferte.

Zusätzlich zu den Messrouten fanden zur Erfassung kleinräumiger Unterschiede Detailmessungen im Stadtgebiet statt (Abb. 16, 18). Die Detailmessungen sollen Nachbarschaftseffekte, insbesondere den häufig diskutierten Abkühlereffekt innerstädtischer Grünflächen aufzeigen. Die Zeitpunkte der Detailmessungen an Strahlungstagen waren kurz vor Sonnenaufgang, zum Strahlungsmaximum um 14 Uhr und um 21 Uhr.

Neben den Temperaturen umfasst die Untersuchung von STROBEL (2002) auch das Klimaelement Luftfeuchtigkeit, das hier aber nicht weiter dargestellt wird.

Die Thermalbefliegungen fanden an Strahlungstagen am Morgen, Mittag und Abend in den Monaten Februar, März und Juli im Jahr 1982 statt. Die Daten weisen eine starke Verzerrung, vor allem zu den Rändern der Befliegungsstreifen auf (BAUMGARTNER u.a. 1985). Diese wurde so weit möglich beseitigt und die einzelnen Streifen so zusammengesetzt, dass das Stadtgebiet von Erlangen abgedeckt ist. In die vorliegende Arbeit sind nur die Befliegungen am Morgen und Mittag der Monate Februar und Juli einbezogen, denn sie zeigen am deutlichsten den Wärmeinseleffekt.

Die Übertragung der Ergebnisse der Messfahrten auf den gesamten Untersuchungsraum erfolgte mit dem GIS TNT-MIPS. Eingang fand der Datensatz zur Landnutzung aus dem ABSP der Stadt Erlangen (ABSP 1992). Die ABSP-Klassen waren nicht direkt für die Klimamodellierung verwendbar, sondern mussten in klimarelevante Klassen überführt werden (s. Kap. 5).

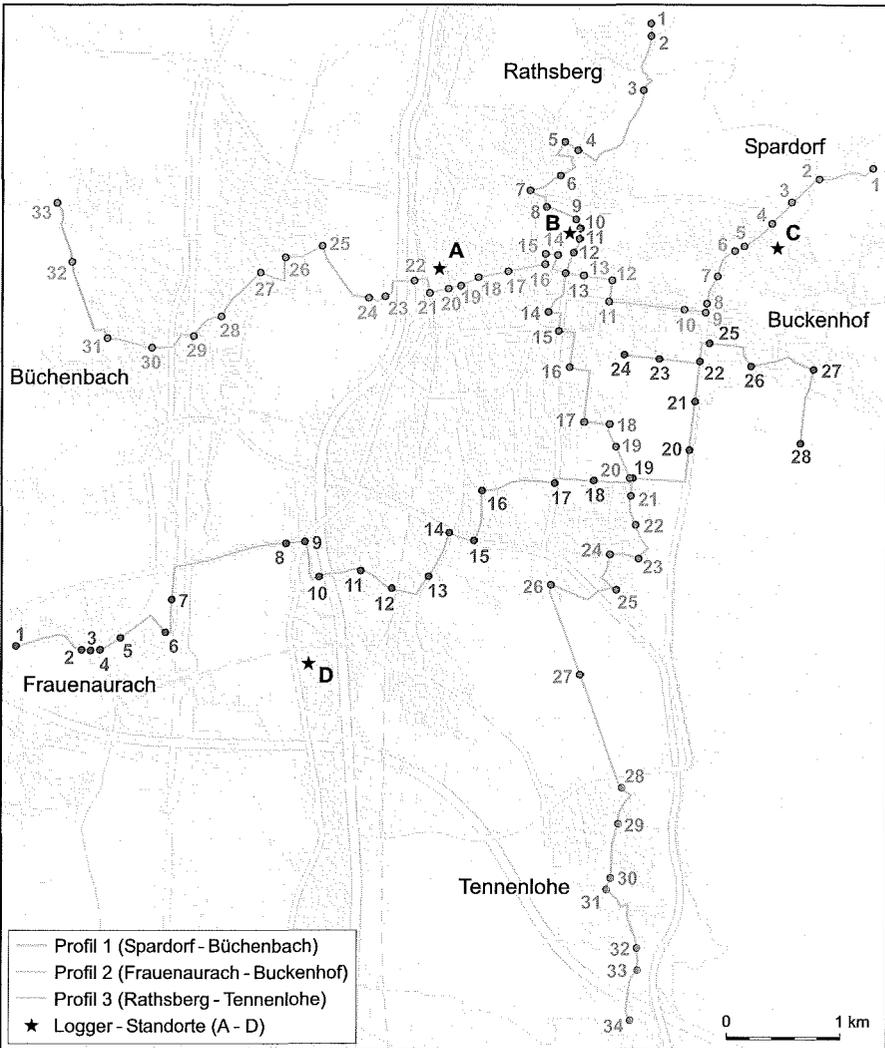


Abb. 1: Übersichtskarte Messprofile, Logger

3 Allgemeine klimatische Verhältnisse in Erlangen

Großklimatisch liegt Erlangen in der kühlgemäßigten Klimazone, wobei sich in Bayern von Westen nach Osten der Übergang vom maritim geprägten Klima Westeuropas zum kontinentaleren Osteuropa vollzieht. Durch die orographische Gliederung Bayerns, die das Großklima maßgeblich beeinflusst, ist der größte Teil des Stadtgebietes dem Klimabezirk Mittelfranken zugeordnet (*Bayerischer Klimaforschungsverbund* 1996). Innerhalb des Klimabezirkes Mittelfranken ist eine weitere Differenzierung in die Naturräume des Mittelfränkischen Beckens, und da insbesondere in das Flusstal der Regnitz und ihrer Zuflüsse, sowie das Vorland der Nördlichen Frankenalb sinnvoll. Letzteres, das vor allem die östlichen Stadtbereiche beeinflusst, leitet in den Klimabezirk der Fränkischen Alb über. Der gesamte Klimaraum ist noch deutlich maritim geprägt, was sich neben einem sekundären Niederschlagsmaximum im Winter auch an den Temperaturverhältnissen zeigt.

3.1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Langjährige Temperaturmessungen liegen für Stationen am Nürnberger Flughafen und an der Kläranlage Erlangen vor. Die Jahresmitteltemperatur an diesen Stationen liegt bei 8,7 °C bzw. 8,5 °C (*Bayerischer Klimaforschungsverbund* 1996, *Deutscher Wetterdienst* 1989). Der Juli hat eine Durchschnittstemperatur von 18,2 °C bzw. 17,6 °C und die Januarmitteltemperatur erreicht -0,7 °C und -0,8 °C. Das Mittelfränkische Becken und somit auch Erlangen zählen demnach zu den wärmsten Regionen Bayerns und werden nur von der Untermainebene übertroffen. Allerdings ist die Wärmegunst vor allem auf die warme Jahreszeit zurückzuführen, wohingegen in den Wintermonaten das Maintal und die Untermainebene deutlich höhere Temperaturen aufweisen.

3.2 Niederschlag

Die Jahresniederschlagssumme liegt im Mittelfränkischen Becken zwischen 650 und 750 mm, wobei die Station Nürnberg mit 645 mm etwas darunter liegt (*Bayerischer Klimaforschungsverbund* 1996). Das Maximum der Niederschläge liegt eindeutig in den Sommermonaten, ein Hinweis auf den kontinentalen Einfluss.

3.3 Wind

Laut Klimaatlas zählt der Erlanger Raum mit einem Jahresdurchschnitt der Windgeschwindigkeit von unter 1,8 m/s bzw. unter 1,4 m/s zu den windarmen Regionen Bayerns (*Bayerischer Klimaforschungsverbund* 1996). Einen deutlichen Anstieg erfährt die Windgeschwindigkeit mit dem Anstieg zur Frankenalb, wo sie z.T. über 2,5 m/s erreicht. Messungen für das Stadtgebiet Erlangen ergaben davon etwas abweichende Resultate, allerdings betrug die Messperiode auch nur zwei Jahre (*Deutscher Wetterdienst* 1989). Insbesondere die Station „Büchenbach“, aber auch eine Station in Frauenaaurach zeigten deutlich höhere Windgeschwindigkeiten. An den

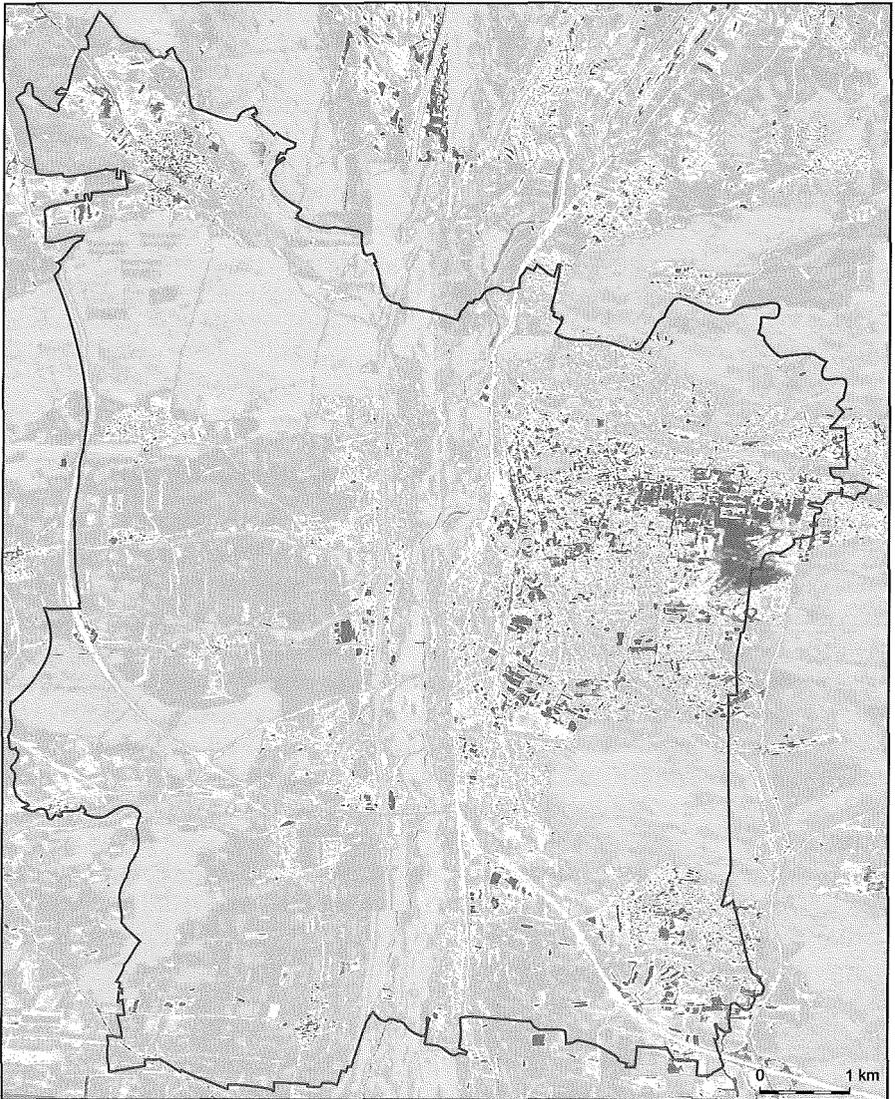
beiden Stationen dominieren Winde aus den Sektoren Südost über West bis Nordwest. Bei niedrigen Windstärken, so genannten Schwachwinden mit Geschwindigkeiten unter 1,5 m/s, dominieren südöstliche und östliche Richtungen. In Frauenaurach bekommen Schwachwinde zusätzlich eine Richtungskomponente entlang des Regnitztales. Eine dritte Station in der Werner-v.-Siemensstraße ist dadurch gekennzeichnet, dass verstärkt westliche und östliche Windrichtungen auftreten, was durch die orographische Beeinflussung des Windfeldes durch den Burgberg und das Schwabachtal erklärt wird (*Deutscher Wetterdienst* 1989, S. 54). Durch eine Schwachwindsituation, in der sich die lokale Differenzierung des Klimas, also auch die städtische Wärmeinsel, besonders gut zeigen, sind nach *Bayerischem Klimaforschungsverbund* (1996) und dem Klimagutachten (*Deutscher Wetterdienst* 1989) etwa 30 % der Wettersituationen gekennzeichnet.

4 Das thermische Stadtklima von Erlangen

4.1 Großräumige Temperaturverhältnisse

Wie oben schon erwähnt, zeichnen sich ca. 30 % der Wettersituationen in Erlangen durch Schwachwinde aus; für die Station Nürnberg-Flughafen werden 2,3 % der Wetterlagen als windstill angegeben (*Bayerischer Klimaforschungsverbund* 1996). Austauscharme Verhältnisse gelten als potentielle Belastungssituation, was sich für die dicht bebauten Stadtgebiete von Erlangen schon in den Temperaturkarten im Bayerischen Klimaatlas zeigt (*Bayerischer Klimaforschungsverbund* 1996). Diese Darstellungen werden durch die Messungen an den temporären Stationen, durch die Messfahrten und durch die Ergebnisse der Thermalbefliegung gestützt.

Das Thermalbild des 9. Juli 1982 mittags zeigt beeindruckend die Überwärmung der versiegelten Siedlungsbereiche (Abb. 2). Nach BAUMGARTNER u.a. (1985) heizten sich die versiegelten Flächen auf mehr als 34,5 °C, z. T. sogar auf über 50 °C auf. Die Überwärmung betrifft nicht nur die Innenstadt von Erlangen, sondern auch kleinere Ortsteile, deren Kerne ebenfalls deutlich wärmer sind als die sie umgebenden unversiegelten Flächen. Obwohl nicht versiegelt, heizte sich auch der ehemalige Standortübungsplatz, der großteils vegetationsfrei bzw. mit einer lichten Pflanzendecke bewachsen war, stark auf. Begünstigt wurde die starke Überwärmung hier durch das sandige Substrat, das nach einer längeren Trockenphase (BAUMGARTNER u.a. 1985) sicher trocken war. Die ebenfalls relativ warmen Acker- und Grünlandflächen werden von BAUMGARTNER u.a. (1985) auch mit der Trockenphase und der damit verbundenen Austrocknung der Vegetation und des Bodens erklärt. Die feuchten Wiesen der Auen, insbesondere der Regnitz und Schwabach, sind hingegen zusammen mit den Wasserflächen und den Wäldern die kühlest Bereiche im Stadtgebiet. Innerhalb des Stadtgebietes lassen sich deutliche Unterschiede in den Temperaturverhältnissen ausmachen, die mit der Bebauungsdichte korrelieren. Sehr hohe Temperaturen sind in der Alt- und Hugenottenstadt zu verzeichnen, aus der der Schlossgarten, aber auch andere Grünflächen herausstechen, die deutlich kühler sind. Als kompakter warmer Raum fallen auch das Siemensgelände und die



< 10,5 °C > 43,5 °C



9. 7. 1982 mittags

Abb. 2: Thermalbild vom 9.7.1982 mittags

sich östlich entlang der Drausnickstraße anschließende Blockbebauung, das Kasernengelände und der schon erwähnte Standortübungsplatz auf. Ein zweiter Wärmepol sind die dichte Bebauung zwischen der Nägelsbachstraße/Karl-Zucker-Straße und den Bahngleisen sowie die Gewerbeflächen südlich der Paul-Gossen-Straße.



< -12,5 °C

> -1,5 °C



2. 2. 1982 morgens

Abb. 3: Thermalbild vom 2.2.1982 morgens

Die überwärmten Kerne der kleineren Orte wie z.B. Tennenlohe, Frauenaarach und Dechsendorf wurden schon erwähnt. In Alterlangen zählen dazu auch die Gewerbeflächen südlich des Adenauer-Ringes. Deutlich kühler sind durchgrünte Stadtteile, wie Alterlangen, Sieglitzhof, der Burgberg, die Straßenzüge entlang der

Schwabach und die Stadtbereiche östlich bzw. südöstlich der Nürnberger und Werner-von-Siemens-Straße. In den kühleren Stadtteilen stechen v.a. die Straßen und größeren Gebäude als überhitzte und damit rote Flecken heraus. Schon in dieser kleinmaßstäbigen Darstellung ist gut zu erkennen, dass Flächen unterschiedlicher Temperaturverhältnisse relativ scharf voneinander abgegrenzt sind, also offenbar bei Strahlungswetter kaum ein Temperatenausgleich stattfindet. Wenig wirksam werden insbesondere reliefbedingte Abflüsse kühlerer Luft. Hier kann aufgrund der Reliefsituation in Erlangen nur der Burgberg eine gewisse Rolle spielen. Kühlere Luft kann von ihm allerdings nur in die unmittelbar südlich gelegenen Bereiche fließen, da spätestens die Schwabachau als Sammelbahn für die Kaltluft fungiert. Auch aus der Regnitzau kann sich keine Luft in bebaute Stadtteile bewegen, da auch sie eingeschnitten ist bzw. gegen die wärmebelasteten Gebiete z.B. durch den Damm der Bahnlinie und Bebauung abgeschirmt ist.

In der Aufnahme vom 2.2.1982 morgens fällt besonders die Regnitzau als warmes Band auf (Abb. 3). Sie war zu dieser Zeit überschwemmt und kühlte deshalb weniger ab als trockene Freiflächen (BAUMGARTNER u.a. 1985). Sehr stark kühlten in der Nacht die Straßen, versiegelten Plätze und Dachflächen, wie z.B. die der Siemensgebäude, ab. Im Stadtgebiet sind die Grünflächen, besonders mit Baumbestand, wärmer als die versiegelten Flächen, die stärker abstrahlen. Dieser Effekt ist auch bei den Waldflächen zu beobachten, die deutlich wärmer sind als Ackerflächen und trockene Wiesen, im Gegensatz zur überschwemmten Aue und nassen Wiesen nördlich und südlich von Frauenaarach.

Tabelle 2: Temperaturverhältnisse an den Loggern

Loggerstandort	Tagesmittel in °C	Tagesmaximum in °C	Tagesminimum in °C	Tagesamplitude in K
A	18,6	23,6	13,9	9,6
B	16,7	21,5	11,0	10,5
C	17,3	22,5	11,9	10,6
D	17,5	22,9	11,7	11,2

Die Überwärmung der dicht bebauten Innenstadt zeigt sich auch in den Temperaturwerten der vier Logger (Tab. 2). Der Standort von Logger A, in einem Hinterhof in der Innenstadt, hat jeweils die höchsten Temperaturen bei der niedrigsten mittleren Tagesamplitude. Die geringere Tagesamplitude ist auf die schwächere Abkühlung in der Nacht zurückzuführen. Die kühlste Temperatur wurde am Standort in der Hindenburgstraße (Logger B) gemessen. Insbesondere die Tagestemperaturen liegen unter denen der Logger C und D, was auf der Schattenwirkung der zahlreichen Bäume und der Nähe zur Schwabachau beruht. Betrachtet man Abbildung 4, die den Temperaturgang der vier Logger für einen Strahlungstag darstellt, fällt der insgesamt flachere Verlauf der Kurve von Logger A auf. Vor allem der langsame Rückgang der Temperatur in der Nacht ist auf die Wärmeabstrahlung der Wandflächen zurückzuführen. Die Kurvenverläufe von Logger B, C und D weichen nur

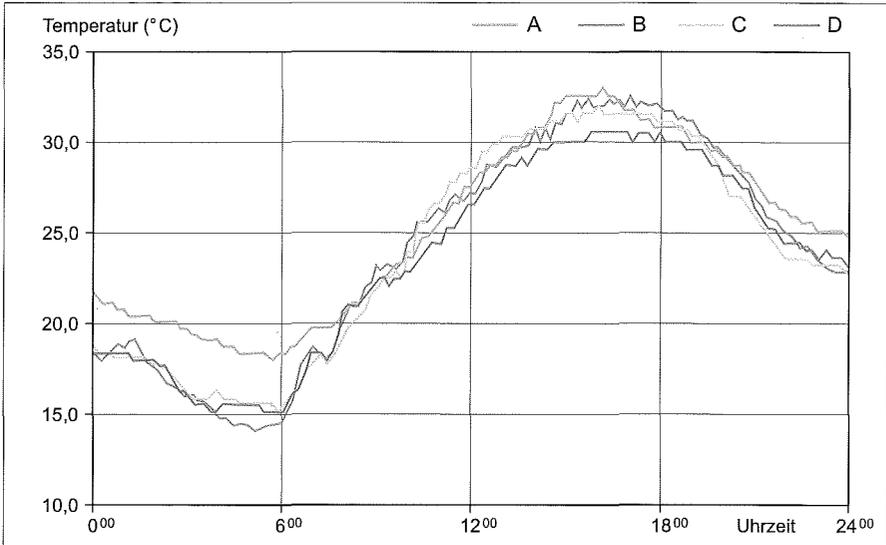


Abb. 4: Tagesgang der Temperatur an den Loggern

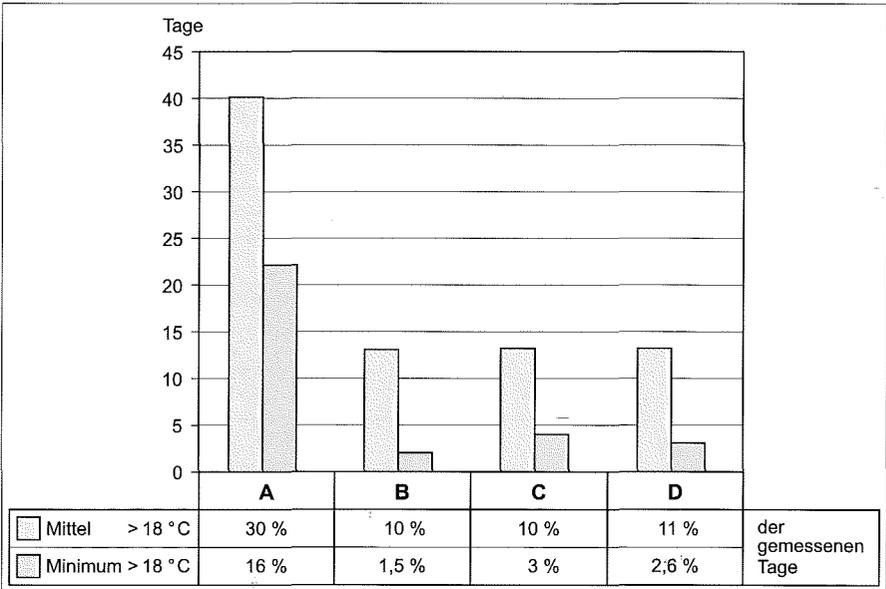


Abb. 5: Temperaturverhältnisse der Nacht an den Loggern

gegen Mittag voneinander ab; es bleibt, wie oben schon besprochen, die Temperatur am Logger B deutlich unter der von Logger C und D. Neben der starken Aufheizung am Tag ist aus bioklimatischer Sicht besonders auch die Abkühlung in der Nacht wichtig und dabei als Anhaltspunkt die Minimumtemperatur von 18 °C (s.

Kap. 1). Im Innenhof (Logger A) liegen 16 % der gemessenen Nächte mit ihrem Minimum über 18 °C, 30 % haben eine Mitteltemperatur der Nacht über 18 °C (Abb. 5). Damit ist in diesen Nächten ein erholsamer Schlaf nicht mehr gewährleistet. In den durchgrünten Stadtteilen ist die Zahl der sehr warmen Nächte deutlich geringer, sie sind also wesentlich weniger wärmebelastet.

Die drei großräumigen Messprofile (s. Abb. 1) stützen die aus den Thermalbildern und den Logger-Messungen abgeleiteten Aussagen. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Temperaturwerte sind Abweichungen bezogen auf den Logger B, da dieser die jeweils niedrigste Temperatur der vier Logger gemessen hat (s. oben).

Mit Abweichungen an einzelnen Messpunkten zeigen alle drei Profile die sich kumulierende Wärmespeicherung der Baukörper einer Stadt. Besonders in geschlossener, aber auch in offener Bebauung, ist nach drei Tagen Strahlungswetter (24.6.- 26.6.) die Nacht des 26.6. die wärmste (Abb. 6-8). Dies ist allerdings nur ein Trend, der statistisch nicht abgesichert ist. Die Abweichungen an einzelnen Messpunkten, wie z.B. an den Standorten 4, 5 und 14 des Profils 1 erklärt STROBEL (2002) mit Messfehlern.

Verfolgt man das Profil 1, ist gut zu erkennen, wie die Temperaturen ab dem Messpunkt 8 als „warmer Block“ deutlich ansteigen (Abb. 6). Punkt 8 ist der Übergang von der eher durch lockere Bebauung gekennzeichneten Vorstadt in die Kernstadt (Abb. 1). Die stärkste Überwärmung verzeichnen dabei geschlossene Bebauung und versiegelte Flächen, wie der Schlossplatz (Punkt 20), die von geschlossener Bebauung umgeben sind. Sie weichen deutlich über 1,5 K vom Logger B ab. Als kühlere Inseln eingelagert sind Standorte mit offener Bebauung und Park-

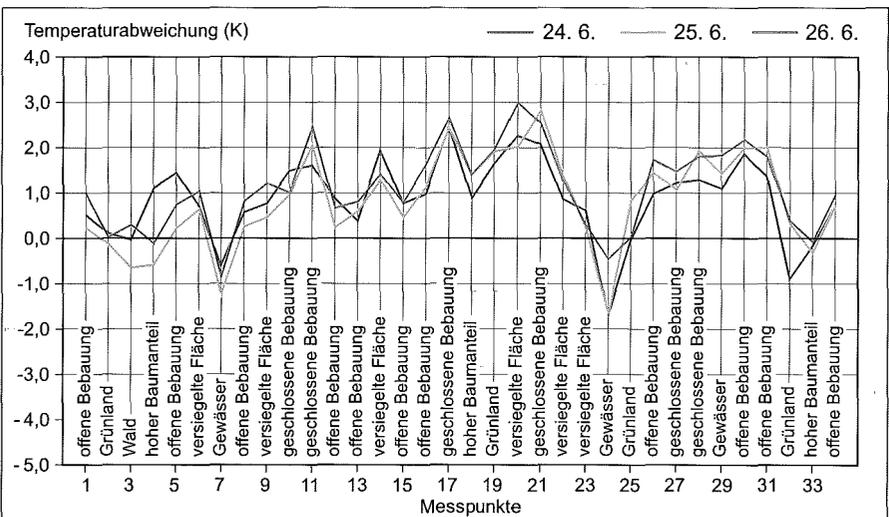


Abb. 6: Nächtliche Temperaturabweichungen vom Logger B entlang des Profils 1

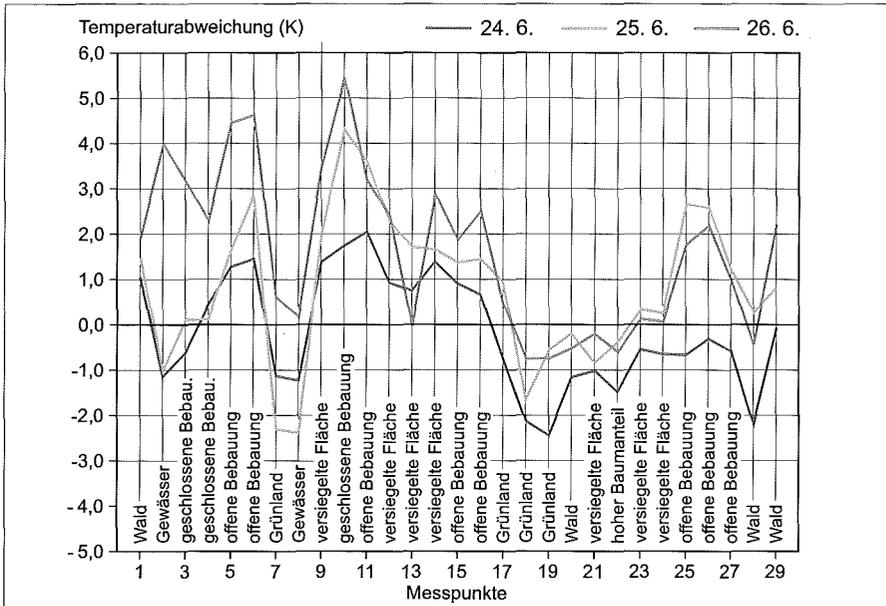


Abb. 7: Nächtlliche Temperaturabweichungen vom Logger B entlang des Profils 2

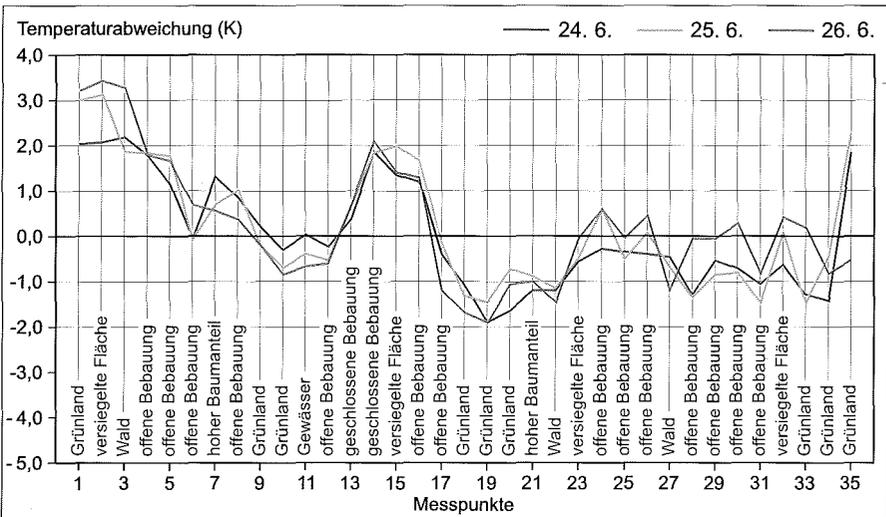


Abb. 8: Nächtlliche Temperaturabweichungen vom Logger B entlang des Profils 3

anlagen, wie der Schlossgarten. Nach der sehr kühlen Regnitztaue schließen sich westlich die ebenfalls leicht überwärmten Stadtteile Alterlangen und Büchenbach an. Hier erreicht die Überwärmung im Gegensatz zur Alt- und Markgrafentadt aber nur bis zu 2 K.

Das Profil 2 ist laut STROBEL (2002) besonders stark durch Ausreißer gekennzeichnet (Abb. 1, 7). Dennoch lassen sich auch hier unterschiedliche stadtklimatische Bereiche festlegen. Frauenaaurach, einzelne Standorte in Bruck und das östlich von Erlangen gelegene Buckenhof sind überwärmt. Innerhalb der Stadt sind die Sebaldussiedlung (Profil 3: Punkte 23, 24, 25) und der Röthelheimpark kühlere Regionen. Die Überwärmung von Buckenhof erklärt STROBEL (2002) mit der Abschirmung der Siedlung von Kaltluft produzierenden Flächen. Eine Rolle spielen sicher auch der relativ dichte Baumbestand in der Siedlung und die Nähe zum Wald. Dass Wald im Vergleich zu Freiflächen überwärmt ist, wurde bereits oben diskutiert und zeigt sich am Loggerstandort C. Entlang des Profils 3 wird die Überwärmung von Wald am Messpunkt 3 ebenfalls sichtbar (Abb. 8). Er ist deutlich wärmer als die südlich anschließende offene Bebauung am Burgberg. Nach der niedrigen Temperatur in der Schwabachau steigt die Temperatur dann sehr schnell an, was wiederum die innerstädtische Erwärmung kennzeichnet. Südlich davon liegt die Temperatur in der offenen Bebauung und, im Gegensatz zum vorher erläuterten, auch im Wald konstant niedrig. Der Anstieg am 24.6. und 25.6. am Messpunkt 34 ist sicher auf Messfehler zurückzuführen (STROBEL 2002).

Wie bei den Nachtmessungen spiegelt sich die Überwärmung der geschlossenen Bebauung in den Temperaturprofilen am Tag wider (Abb. 9-11). Die Innenstadtbereiche, Industrie und Gewerbeflächen sowie die alten Dorfkerne sind am Tag signifikant wärmer als die anderen Stadtbereiche. Betrachtet man die Minimum- und den Maximumtemperaturen, so fallen die Unterschiede zwischen der täglichen Einstrahlung und der nächtlichen Ausstrahlung auf. Die Tagesschwan-

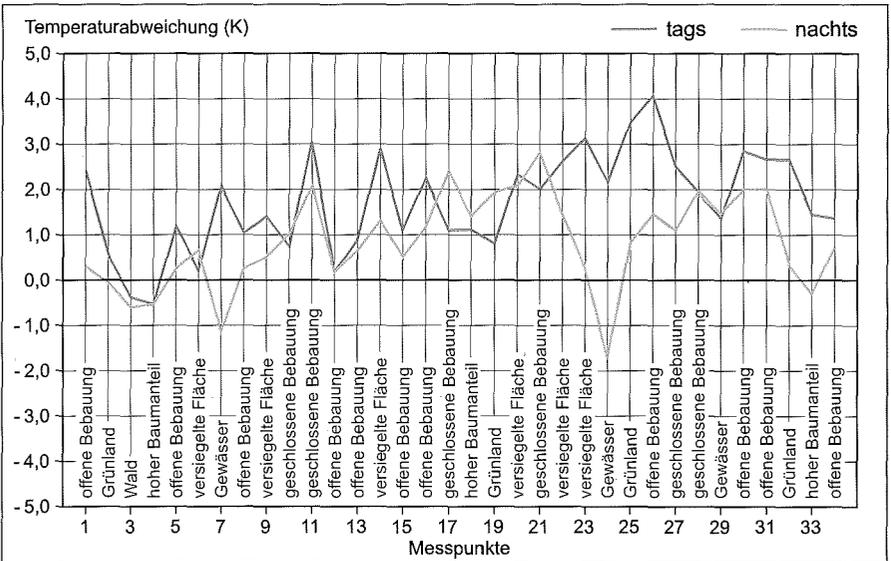


Abb. 9: Tägliche und nächtliche Temperaturabweichungen vom Logger B entlang des Profils 1 am 25.6.01

Das Stadtklima von Erlangen

kungen verschiedener Oberflächen zeigen allerdings nur Trends, die Mittelwerte unterscheiden sich statistisch nicht signifikant. Geringe Temperaturunterschiede

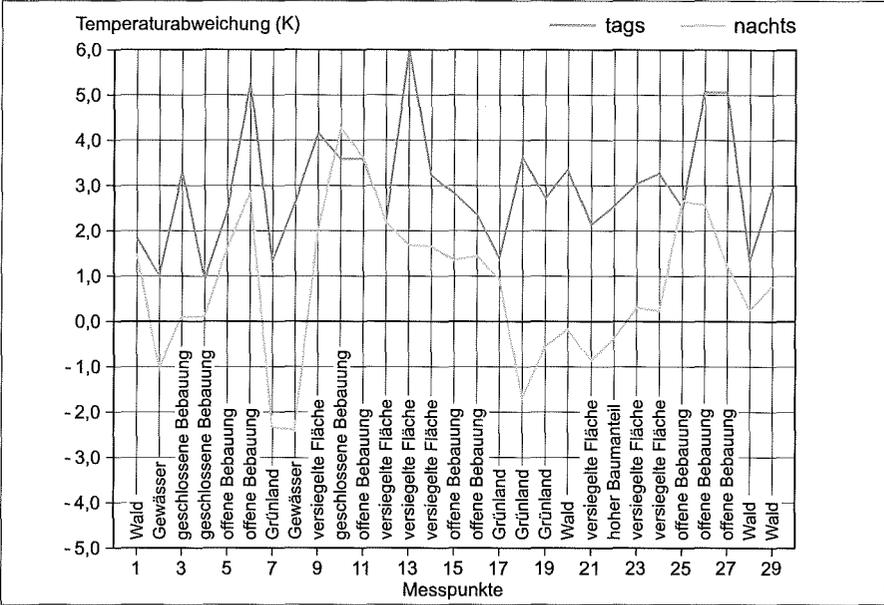


Abb. 10: Tägliche und nächtliche Temperaturabweichungen vom Logger B entlang des Profils 2 am 25.6.01

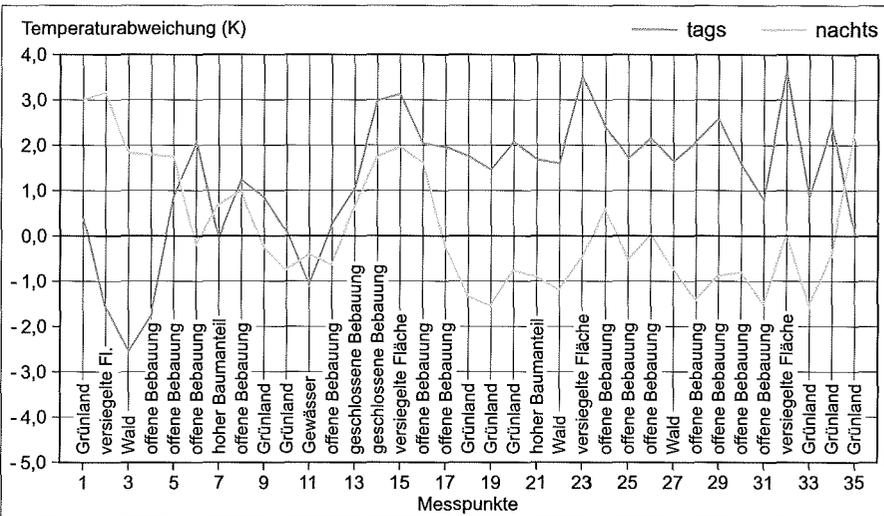


Abb. 11: Tägliche und nächtliche Temperaturabweichungen vom Logger B entlang des Profils 3 am 25.6.01



Abb. 12: Thermalbild des Innenstadtbereichs vom 9.7.1982 mittags



Abb. 13: Thermalbild des Innenstadtbereichs vom 10.7.1982 morgens



Abb. 14: Thermalbild des Innenstadtbereichs vom 1.2.1982 mittags



< -12,5 °C

> -1,5 °C

2. 2. 1982
morgens

0 100 m

Abb. 15: Thermalbild des Innenstadtbereichs vom 2.2.1982 morgens

zwischen Tag und Nacht weisen die Innenstadtbereiche auf, in denen in der Nacht Rückstrahlereffekte der Gebäude wirken, aber auch Wald bzw. Flächen mit hohem Baumanteil. Große Tagesschwankungen haben hingegen Freiflächen, besonders Wiesen der Flussauen (Profil 1: 7, 24; Profil 2: 7, 8) und Grünanlagen. Daneben weisen versiegelte Flächen, wie Parkplätze, die nicht überschirmt sind, ebenfalls große Tagesamplituden auf.

2.2 Kleinräumiges Temperaturmosaik

Die Untersuchung des kleinräumigen Temperaturmosaiks soll klären, inwieweit städtisches Grün das Temperaturfeld beeinflusst. Insbesondere geht es um die Frage, ob von Grünflächen eine kühlende Wirkung auf benachbarte versiegelte und überschirmte Flächen ausgeht (s. Kap. 1.2.4).

Im Thermalbild der Innenstadt vom 9.7.1982 mittags fallen sofort die „hotspots“ auf (Abb. 12). Es sind Gebäude – und da vor allem südexponierte, die der mittäglichen Strahlung direkt ausgesetzt sind – und versiegelte, nicht beschattete Flächen. Den Gegenpol bilden Grünflächen in der Stadt, hier besonders die Schwabachau und der Schlossgarten, untergeordnet auch kleinere Parks wie der Bohlenplatz. Am kältesten sind allerdings Gebäudedächer, die stark reflektieren. Gut ist z.B. das lang gestreckte Philosophische Seminargebäude in der Kochstraße zu sehen. Der Einfluss der Beschattung und der Ausrichtung von Gebäudefronten auf die kleinräumigen städtischen Temperaturfelder lässt sich gut am Lorlebergplatz demonstrieren. Die den Platz umschließende südexponierte Häuserfront ist deutlich wärmer als die nordexponierte Seite. Die begrünte Mitte des Platzes ist im Thermalbild kalt abgebildet. In der folgenden Nacht (Thermalbild vom 10.7.1982 morgens) kehren sich die Temperaturverhältnisse teilweise um (Abb. 13). Viele Dächer der Gebäude strahlen nachts stark aus. Gut ist das an den Universitätsgebäuden nördlich der Universitätsstraße zu sehen. Demgegenüber sind einige Plätze, wie z.B. der Schlossplatz, der tagsüber verhältnismäßig kühl war, jetzt deutlich überwärmt. Hier wirkt sich die nächtliche Abstrahlung von den Gebäudewänden aus. Der Schlossplatz grenzt dabei scharf an den kühlen Schlossgarten, der offensichtlich keinen nennenswerten Abkühlereffekt auf benachbarte Flächen hat. Der Abstrahlungseffekt ist auch in engen Straßen und am Lorlebergplatz zu beobachten. Hier ist jetzt die nach Westen ausgerichtete Häuserfront am wärmsten. Sie ist ab den Mittagsstunden bis zum Abend, – die Sonne kann ungehindert durch die Universitätstraße einstrahlen – strahlungsexponiert. Großflächig kühlt die Schwabachau sehr stark ab, wobei deutlich wird, dass der Abkühlereffekt kaum auf benachbarte Räume wirkt. So ist z.B. die Ebrardstraße als überwärmtes Band unmittelbar nördlich der Aue zu sehen.

Das Temperaturmosaik im Winter ist weniger differenziert als im Sommer (Abb. 14, 15). Wärmer sind tagsüber einige sonnenexponierte Gebäude; wieder kann der Lorlebergplatz als Demonstrationsobjekt dienen. Am Morgen sind baumbestandene Parks wärmer als stark abstrahlende versiegelte Flächen und Gebäude. Als warmes Band fließt die Schwabach durch die stark ausgekühlte Aue.

Aus den Thermalbildern für die Sommersituation ist abzulesen, dass innerstädtische Grünflächen kaum auf benachbarte Flächen wirken. Um den Sachverhalt zu klären, hat STROBEL (2002) drei detaillierte Messprofile in der Innenstadt Erlangens angelegt, von denen hier zwei dargestellt werden. Ein Profil beginnt am Altstädter Kirchenplatz und führt über den Theaterplatz (Abb. 16). Das zweite Profil klärt die Situation des Schlossgartens (Abb. 18). Es besteht aus vier Teilprofilen. Die Profile decken so ein kleinräumiges Muster städtischer Bau- und Grünstrukturen zu unterschiedlichen Tageszeiten ab und erfassen damit die thermischen Wechselwirkungen in einer großmaßstäbigen Betrachtung. Die in den Profilen dargestellten Temperaturverteilungen sind auf den Logger A bezogen, da dieser repräsentativ für die Überwärmung der geschlossenen Innenstadtbebauung steht.

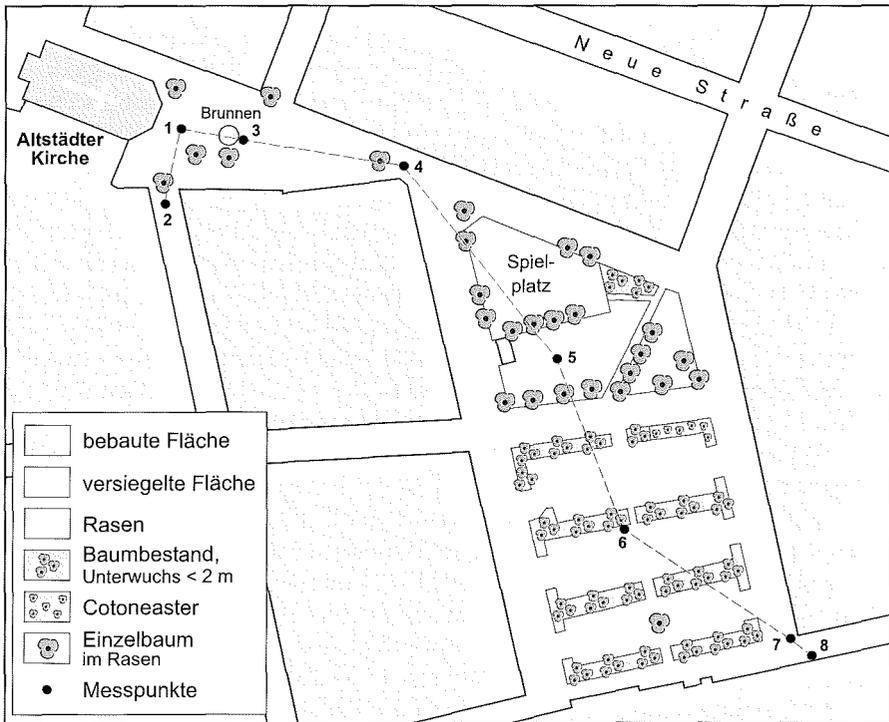


Abb. 16: Schematische Übersicht der Nutzung auf dem Altstädter Kirchenplatz und dem Theaterplatz

Der Altstädter Kirchenplatz ist am frühen Morgen im Vergleich zum Theaterplatz deutlich wärmer, aber verglichen mit dem Loggerstandort A kühler (Abb. 17). Der Logger stand in einem kleinen Innenhof, in dem die Abstrahlung der Gebäude voll wirksam und ein horizontaler Luftaustausch vollständig verhindert ist. Am Altstädter Kirchenplatz wirkt die Abstrahlung der Gebäude im Gegensatz zum

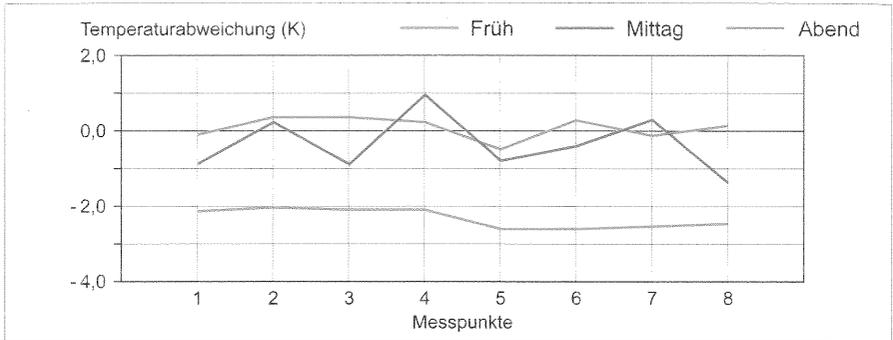


Abb. 17: Temperaturprofil für den Altstädter Kirchenplatz und den Theaterplatz

Theaterplatz aber noch. Die niedrigere Temperatur des Theaterplatzes im Vergleich zur Umgebung beschreibt auch ROGOSCH (1981). Der sehr leichte Temperaturanstieg vom nördlichen Teil des Theaterplatzes (Punkt 5), der dichter mit Vegetation bestanden ist, zu den Parkplätzen im südlichen Teil, wird im Thermalbild vom 10.7.1982 deutlicher (Abb. 13). Im Mittagsprofil ist der kleinräumige Effekt sehr viel ausgeprägter. Punkt 3 und 5 liegen auf gleichem Niveau, Punkt 8 noch deutlich darunter. Bei Punkt 8 kommt die Schatteneinwirkung der südlich von ihm stehenden Gebäude voll zum Tragen. Punkt 5 ist von Bäumen beschattet und wird von der Wiese kühlend beeinflusst. Am Punkt 3 spielen auch beschattende Gebäude und Bäume, eventuell auch der Brunnen, eine Rolle. Das kleinräumige Muster ist auch im Thermalbild vom 9.7.1982 abgebildet (Abb. 12). Am Abend gleichen sich die Temperaturen an den Messpunkten langsam an. Die Sonne konnte die Punkte 3 und 8 am Nachmittag bestrahlen, nur bei Punkt 5 bleibt die beschattende und kühlende Wirkung der Vegetation bestehen.

Einige Messpunkte der „Schlossgarten-Profile“ liegen auf versiegelten und umbauten Flächen, wie dem Schlossplatz, der Universitätsstraße, Krankenhausstraße und Wasserturmstraße (Abb. 18). Als Kontrast sind Messpunkte an Standorten im Schlossgarten lokalisiert, die die unterschiedliche Struktur des Parks repräsentieren. Diese unterschiedlichen ABSP-Klassen spiegeln sich in den Profilen wider, wobei die Morgensituation noch relativ ausgeglichen ist (Abb. 19). Dennoch sind die Temperaturen im Park signifikant niedriger als außerhalb der Parkanlage. Sie kühlen also in Bezug zum Logger A stärker ab, wobei die Punkte 4 (Wiese ohne Bäume) und 5 (Blumenbeete vor dem Denkmal, keine Bäume) am stärksten ausstrahlen. Die höhere Temperatur betrifft auch Punkte, die unmittelbar außerhalb des Parks liegen, also Punkt 2 der Profile a, b und c. Das komplett im Park gelegene Profil b stellt allerdings mit einer vergleichsweise schwachen Abkühlung eine Besonderheit dar. Es wird noch stark von der Abstrahlung von den Gebäuden geprägt, was auch die deutliche Zunahme der Temperatur von Punkt 5 und 6 zeigen. Für die versiegelten Flächen im Vergleich zu Logger A gelten die für das „Theater-

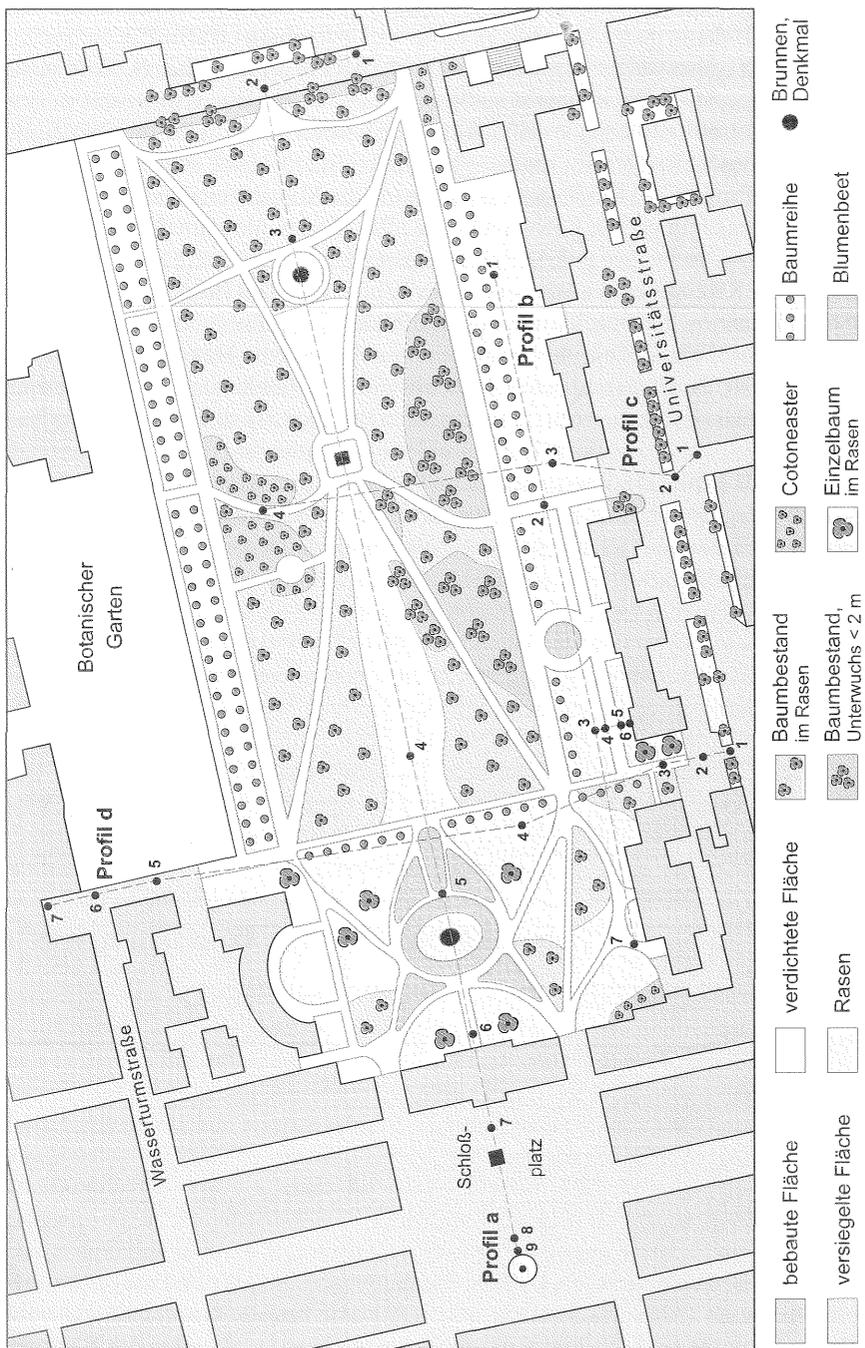


Abb. 18: Schematische Übersicht der Nutzung im Bereich des Schlossgartens

platz-Profil“ gemachten Aussagen. Die Temperaturmessungen sind im Thermalbild des 10.7.82 durchaus in der gleichen Heterogenität abgebildet (Abb. 13).

Bei den Tagmessungen ergibt sich ein heterogenes Bild (Abb. 19). Sehr stark sind die Temperaturschwankungen entlang des Profils a. Die Temperatur in der Krankenhausstraße ist bezogen auf den Logger A noch relativ niedrig, sinkt dann unter den Bäumen deutlich ab, um zum besonnten Standort vor dem Schloss stark anzusteigen. Punkt 6 des Profils a ist teilweise um die Mittagszeit wieder beschattet und damit etwas kühler. Die höchsten Werte aller Messpunkte um den Schlossgarten haben dann die Punkte auf dem Schlossplatz, wobei unmittelbar am Brunnen (Punkt 9) der Kühleffekt des Wassers zu beobachten ist. Das Profil b stellt wieder die Sondersituation der Beschattung dar und bleibt insgesamt relativ kühl, mit der niedrigsten Temperatur unmittelbar an der nordexponierten Hauswand des Kollegienhauses. Die Profile c und d reagieren auf die Oberflächenbeschaffenheit und den Bewuchs idealtypisch, wobei jeweils an den Punkten 2 – sie liegen unmittelbar außerhalb des Parks - ein schwacher Abkühleffekt sichtbar ist. Aber auch während der Mittagszeit liegen die Temperaturen im Park statistisch signifikant unter denen außerhalb gelegener Punkte. Die Grenze zwischen kühlen, begrünten Flächen und versiegelten Flächen ist scharf, was auch im Thermalbild vom 9.7.1982 zum Ausdruck kommt (Abb. 12).

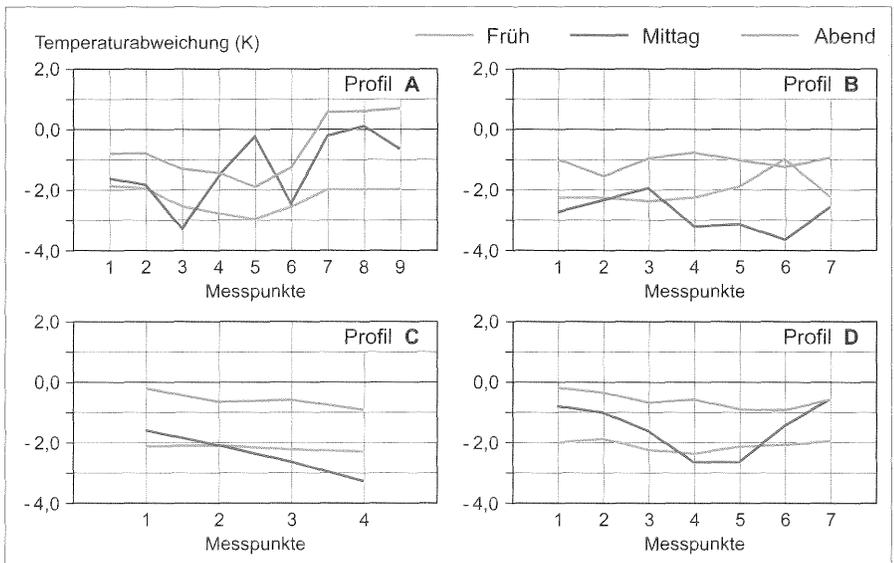


Abb. 19: Temperaturprofile für den Bereich des Schlossplatzes

In den Abendstunden gleichen sich die Temperaturen langsam auf insgesamt höherem Niveau an (Abb. 19). Entlang des Profils a, von der Krankenhausstraße bis vor das Schloss sind die Temperaturen in etwa gleich, auch unter den Bäumen.

Der Schlossplatz ist jetzt wärmer als der Standort des Bezugsloggers. Die Punkte entlang des Profils b haben sich jetzt auch erwärmt, da hier in den Nachmittagsstunden der Beschattungseffekt entfällt. Entlang der Profile c und d sind die Temperaturen ausgeglichener mit etwas niedrigeren Werten im Park. Insgesamt sind die Temperaturen außerhalb des Park signifikant höher als innerhalb des Parks, wobei allerdings die drei Standorte auf dem Schlossplatz stark bestimmend sind. Ohne diese Punkte sind die Werte zwar immer noch etwas höher, die Signifikanz nimmt aber deutlich ab.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass begrünte, aber auch nicht begrünte, beschattete Flächen deutlich kühler sind als versiegelte und vor allem auch umbaute Standorte. Der Abkühleffekt von städtischem Grün wird auch bei kleiner Flächengröße wirksam, reicht aber nicht in umliegende Bereiche hinein, wie auch im Klimagutachten der Stadt Erlangen festgestellt wird (*Deutscher Wetterdienst* 1989). Selbst der große Schlossgarten hat nur einen sehr gering nach außen wirkenden Einfluss, insbesondere dort wo der Park durch Gebäude abgeschirmt ist. Dennoch sind Grünanlagen als kühle Oasen innerhalb überwärmter Stadtbereiche wichtige Erholungsplätze für die Stadtbevölkerung (s. Kap. 1.2.4).

Aus planerischer Sicht sind neben der Anlage größerer Grünflächen allerdings unmittelbar an Gebäuden stattfindende Maßnahmen wirkungsvoller. Vor allem Wand- und Dachbegrünungen wirken deutlich Temperatur dämpfend. Auch eine Auflockerung versiegelter Flächen durch Schatten spendende Bäume trägt wesentlich zu einer Reduktion der Temperatur bei. Kleine Rasenflächen und Ziergebüsche spielen stadtklimatisch nur eine untergeordnete Rolle für in ihrer Nachbarschaft gelegene versiegelte Flächen. KRATZSCHNER (1986) betont, dass gerade deshalb eine kleinräumige Variation zwischen begrünten und versiegelten Flächen im Stadtgebiet notwendig ist. In der Gesamtsumme aller Grünflächen im Verhältnis zu bebauten und versiegelten Flächen steuern sie außerdem das Gesamtklima einer Stadt und haben auch einen ästhetischen Wert.

3 Klimafunktionskarte der Stadt Erlangen

Ausgehend von den Ergebnissen der Thermalbefliegung und den Temperaturmessungen konnte das Stadtgebiet von Erlangen klimafunktional gegliedert werden (Beilage 1). Neben den Messungen bildet das ABSP der Stadt Erlangen die Grundlage. Das digital vorliegende ABSP (HAID 2001) bietet die Möglichkeit in einem GIS den unterschiedlichen Nutzungstypen klimarelevante Klassen zuzuordnen (Tab. 3). Abweichend von CARL (1994) und NAGL (1997) hat sich aus den Messungen und den Thermalbildern ergeben, dass die ABSP-Klassen Mehrfamilienhäuser (intensiv, extensiv) nicht als geschlossene Bebauung, sondern als offene Bebauung einzustufen sind (siehe auch Beitrag HAID/TRETER in diesem Band). Die Baustruktur dieser Klassen ist in Erlangen durch einen relativ großen Abstand der Häuser und dazwischen liegende Grünflächen charakterisiert. Beispielfhaft sei die Siedlung zwischen Stintzing- und Paul-Gossen-Straße aufgeführt, die im Bild vom 9.7. kühl

(Abb. 2) abgebildet ist und auch in Profil 2 (Punkt 15, 16) deutlich kühler als geschlossene Bebauung ist. Im nächsten Schritt werden die klimarelevanten Flächen in Klimafunktionen überführt (Tab. 4, Kap. 1). Bei dieser Zuordnung wird noch nicht unterschieden, ob die Kalt- und Frischluft produzierenden Flächen nur lokal wirksam sind (s. Kap. 1.2.4).

Tabelle 3: Zuordnung der ABSP-Klassen in klimarelevante Klassen (verändert nach CARL 1994 und NAGL 1997)

ABSP Klassen	Klimarelevante Klassen
Deponie	Verdichteter Boden
Sand- und Kiesgruben	Verdichteter Boden
Altstadtkern	Geschlossene Bebauung
Blockbebauung (Innenstadt)	Geschlossene Bebauung
Dorfkern, landwirtschaftliche Gebäude	Geschlossene Bebauung
Einzel-, Reihen-, Doppelhäuser, intensiv	Offene Bebauung
Einzel-, Reihen-, Doppelhäuser, extensiv	Offene Bebauung
Gemeinbedarf, stark versiegelt	Versiegelter Boden
Gemeinbedarf, gering versiegelt	Verdichteter Boden
Mehrfamilienhäuser, intensiv	Offene Bebauung
Mehrfamilienhäuser, extensiv	Offene Bebauung
Friedhöfe, intensiv	Freiflächen mit geringem Baumanteil
Friedhöfe, extensiv	Flächen mit hohem Baumanteil
Grünanlagen, intensiv (wenige Gehölze)	Freiflächen mit geringem Baumanteil
Grünanlagen, extensiv (viele einheimische Gehölze)	Flächen mit hohem Baumanteil
Kleingärten, intensiv	Freiflächen mit geringem Baumanteil
Kleingärten, extensiv	Flächen mit hohem Baumanteil
Sport- und Spielplätze, intensiv	Freiflächen mit geringem Baumanteil
Sport- und Spielplätze, extensiv	Flächen mit hohem Baumanteil
Bäche und Gräben, strukturarm	Gewässer
Bäche und Gräben mit Gehölz- oder Ufersaum (Breite >5m)	Lineare Hecken, Gebüsche, Baumreihen
Fließe	Gewässer
Hafen	Gewässer
Stillgewässer, strukturarm	Gewässer
Stillgewässer, strukturreich	Gewässer
Industrie, Gewerbe, intensiv	Industrie; Gewerbe
Industrie, Gewerbe, extensiv	Industrie; Gewerbe
Kaserne	Offene Bebauung
Standortübungsplatz	Flächen mit hohem Baumanteil
Ruderal- und Brachflächen	Brachfläche
Kleingewässer, Nasswiesen, Hochstaudenfluren, Röhrichte, Großseggenbestände	Grünland
Gebüsche, Hecken, Baumgruppen und Feldgehölze von 100m ² -1ha	Jünger Wald, Schonung, Gehölze
Magerrasen	Grünland
Acker und Wechselgrünland	Acker
Grünland, intensiv	Grünland
Grünland, extensiv	Grünland
Streuobst, intensiv	Flächen mit hohem Baumanteil
Streuobst, extensiv	Flächen mit hohem Baumanteil
Gärtnerreien, Baumschulen	Freiflächen mit geringem Baumanteil
Bahnanlagen, strukturarm	Verdichteter Boden
Bahnanlagen, strukturreich	Lineare Hecken, Gebüsche, Baumreihen
Parkplätze	Versiegelter Boden
Straßen und Plätze	Versiegelter Boden
Wald	geschlossener Hochwald

Tabelle 4: Klimafunktion der klimarelevanten Klassen

Klimafunktion	Klimarelevante Klassen
Kaltluft stark	Acker, Brache, Grünland
Kaltluft schwach	Freiflächen mit geringem Baumanteil, Gewässer, verdichteter Boden
Frischluf	Wald, Flächen mit hohem Baumanteil, Hecken, junger Wald
neutral	Offene Bebauung
Heiß tagsüber, kühl nachts	Versiegelte Flächen

Für die Klimafunktionskarte sind zuerst die klimatisch belasteten Gebiete bedeutsam. Wie gezeigt wurde, spielen in ihnen kleine Grünflächen kaum eine klimatisch wirksame Rolle. Ebenso sind hier verlaufende Straßenzüge, besonders wenn sie eng und kaum mit Bäumen begrünt sind, als klimatisch belastete Gebiete zu klassifizieren. SCHNEIDER (1995, S. 83) spricht vom „Canyoneffekt“. Um zu einem zusammenhängenden Bild der Belastungsgebiete zu kommen, wurde daher um die Einzelflächen ein Puffer von 10 m gelegt (BURROUGH & MCDONNEL 2000). Danach muss ein nach innen gerichteter Puffer gleicher Größe berechnet werden, damit die ursprüngliche Ausdehnung des Belastungsgebietes wieder hergestellt wird. Flächen, die nach der Pufferung kleiner als 10 000 m² waren, wurden herausgefiltert. Die Maßnahme scheint gerechtfertigt, da auch diese kleinen, aus dem ABSP stammenden Flächen klimatisch kaum wirksam sind bzw. von den sie umgebenden Flächen dominiert werden.

In weiteren Schritten wurden die anderen klimafunktionalen Flächen ebenfalls über Puffer zusammengefasst. Die Puffergröße wurde aber deutlich reduziert, um versiegelte Flächen, wie Straßen, darzustellen. Sie wirken hier klimatisch eigenständig als tagsüber überhitzte Bereiche, die nachts relativ stark abkühlen. Bei den Frisch- und Kaltluftproduzenten ist die Wirksamkeit durch eine Abfrage der Flächengröße mit dem Schwellenwert von 50 ha differenziert dargestellt (s. Kap. 1.2.4).

Erlangen ist durch mehrere klimatisch belastete Gebiete gekennzeichnet, wobei die Alt- und Markgrafenstadt sowie in südlicher Fortsetzung die Baukörper zwischen der Bahnlinie und der Karl-Zucker-Straße sowie die Gewerbeflächen südlich der Paul-Gossen-Straße den größten Bereich ausmachen. Diese Flächen und die anderen kleineren Gebiete decken sich gut mit den im Thermalbild vom 9.7.1982 überhitzten Stadtbereichen (Abb. 2). Im Zentrum liegt als lokaler Kalt- und Frischluftproduzent der Schlossgarten. Die anderen bebauten Stadtteile sind stadtklimatisch neutral einzustufen. Sie sind nicht oder wenig überwärmt. Auffällig ist, dass die Regnitzaue und das westlich von ihr liegende Grün- und Ackerland große Kaltluftproduzenten sind. Bei Schwachwindsituation kann von hier allerdings kaum Luft in die überhitzte Innenstadt fließen, da die Hauptwindrichtung während dieser Wetterlagen ohnehin in östlicher und südöstlicher Richtung bzw. entlang des

Regnitztales liegt (s. Kap. 3.3). Frischluft kann aus diesen Richtungen nur in die überhitzten Flächen des Siemens Forschungszentrums aus dem Wald der Brucker Lache gelangen. Die Alt- und Markgrafenstadt selbst ist durch vorgelagerte Bebauung abgeschirmt.

Insgesamt ist die Situation für einen großräumigen Luftmassenaustausch bei Schwachwindwetterlagen in Erlangen durch das flache Relief und die Baustruktur ungünstig, auch wenn im Klimagutachten der Stadt Erlangen festgestellt wird, dass Erlangen insgesamt innerhalb eines Kaltluftsammegebietes liegt (*Deutscher Wetterdienst* 1989, S. 59). Hier wird aber auch festgestellt, dass kräftige Kaltluftabflüsse nur vom Rathsberg kommen können und viele Stadtteile abgeschirmt sind. Verwiesen sei nochmals auf den Damm der Bahnlinie bzw. der A73. Weiter fehlen breite, ins Stadtzentrum gerichtete Luftleitbahnen mit den in Kapitel 1.2.5 geforderten Eigenschaften, so dass auch bei schwachen Winden die Luftzufuhr gehemmt ist.

Literatur

ABSP 1992: s. Bayerisches Staatsministerium ...

BAUMGARTNER, A.; MAYER, H.; NOAK, E.-M. 1985: Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten. München.

Bayerischer Klimaforschungsverbund (Hg.) 1996: Klimaatlas von Bayern. München.

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hg.)(1992): Arten- und Biotopschutzprogramm Bayern, Stadt Erlangen. München.

BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R.A. 2000: Principles of Geographical Information Systems. Oxford.

BRÜNDEL, W.; MAYER, H.; BAUMGARTNER, A. 1986: Stadtklima Bayern – Abschlußbericht. München.

CARL, T. 1994: BLUEFLOW - ein empirisches Modell zur Simulation der Minimumtemperaturen in Strahlungsnächten. - Erlanger Geographische Arbeiten, Heft 54; Erlangen.

Deutscher Wetterdienst 1989: Klimagutachten zur Entwicklungs- und Flächennutzungsplanung der Stadt Erlangen. Nürnberg.

ERIKSEN, W. 1976: Die städtische Wärmeinsel. In: Geographische Rundschau 28 (9), S. 368-373.

FEZER, F. 1995: Das Klima der Städte. Gotha.

FISEL, U. u.a. 1994: Anleitung zur Erstellung eines Arten- und Biotopschutzprogrammes für Städte. ABSP am Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. München.

Haid, N. 2001: Versiegelungsgrad und Versiegelungsart in Erlangen. Diplomarbeit am Institut für Geographie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. (unveröffentlicht).

KIESE, O. 1988: Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. - In: Landschaft + Stadt, 20, S. 67-71.

KRATZSCHNER, L. 1986: Stadtstruktur und Stadtklima. In: Freiburger Geographische Hefte, Band 16, S. 42-56.

NAGL, A. 1997: Stadtklimatische Untersuchungen in Schwabach - Geländemessungen und Computermodellierung hinsichtlich klimaökologischer Ausgleichsflächen. Diplomarbeit am Institut für Geographie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. (unveröffentlicht).

- ROGOSCH, W. 1981: Temperaturmeßfahrten durch das Erlanger Stadtgebiet. Zulassungsarbeit am Institut für Geographie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. (unveröffentlicht).
- SCHNEIDER, H. 1995: Die Freiraumfunktion Klimaschutz – Ein Beitrag der Regionalplanung zur Sicherung und Verbesserung des Siedlungsklimas. Werkstattbericht 27, Studiengang Raum- und Umweltplanung, Lehr- und Forschungsgebiet Regional- und Landesplanung, Universität Kaiserslautern.
- SCHMALZ, J. 1984: Das Stadtklima. Ein Faktor der Bauwerks- und Städteplanung. Karlsruhe.
- STROBEL, B.E. 2002: Klima-Mosaik der Stadt Erlangen. Diplomarbeit am Institut für Geographie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. (unveröffentlicht).
- VDI-Kommission Reinhaltung der Luft* (Hg.) 1988: Stadtklima und Luftreinhaltung. Berlin u.a.

