

Stadtklimagutachten Regensburg

Auftraggeber:

Stadt Regensburg
- Umwelt- und Rechtsamt -
93019 Regensburg

Auftragnehmer:

Büro für Umweltmeteorologie
Ahdener Weg 10a
33100 Paderborn

Bearbeiter:

Dipl. Met. Helmut Bangert
Dipl. Ing. FH Maria Demir

Paderborn, Januar 2014

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Inhalte und Methoden der angewandten Stadtklimatologie	4
3. Auswertung der langjährigen Datenreihen	8
3.1 Ergebnisse der Amtlichen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes	8
3.2 Ergebnisse der Messstation des Bayer. Landesamtes für Umweltschutz	12
4. Auswertung der Datenreihen August und September 2012	17
4.1 Wetterdaten der Amtlichen Wetterstation des DWD	17
4.2 Temperaturmittel- und -extremwerte im Sondermessnetz	21
4.3 Wetterdaten am Standort Dachauplatz	29
4.4 Auswertung der Daten des Sondermessnetzes	31
5. Ausgewählte Tagesgänge der Lufttemperatur	39
5.1 Ergebnisse für den Zeitraum 18. bis 22. August 2012	39
5.2 Ergebnisse für den Zeitraum 07. bis 11. September 2012	47
6. Klimabestandskarte (Klimatope)	52
6.1 Stadtklimatope	53
6.2 Offenlandklimatope	57
6.3 Spezielle Klimafunktionen	62
7. Allgemeine Planungshinweise	65
8. Empfehlungen für die Stadtplanung	79
9. Konkrete Planungshinweise	90
9.1 Kaltlufteinzugsgebiete	90
9.2 Planungshinweiskarte	95
9.2.1 Ausgleichsräume	96
9.2.2 Lasträume	105
9.2.3 Flächen ohne konkrete Planungshinweise	114
10. Zusammenarbeitsstrukturen	117
11. Zusammenfassung	125
12. Literatur	133

1. Einleitung und Zielsetzung

Es ist davon auszugehen, dass alle raumbedeutsamen Planungen eine umweltmeteorologische Beratung benötigen. Bei einer klimagerechten Bauleitplanung gilt es, Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge in der Planungspraxis konsequent umzusetzen. Dies kann mit Beschränkung auf den jeweiligen örtlichen Geltungsbereich nur mit dem im Baugesetzbuch vorgesehenen Rechtsinstrumenten erfolgen, speziell mit den Darstellungen im Flächennutzungsplan, den rechtsverbindlichen Festsetzungen des Bebauungsplanes, im Vorhaben- und Erschließungsplan sowie durch Vereinbarungen in einem "Städtebaulichen Vertrag".

Konkret fordert das Baugesetzbuch in §1 Absatz 6, Satz 7a bei der Aufstellung von Bauleitplänen "die Belange des Umweltschutzes, einschließlich des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und die biologische Vielfalt" zu berücksichtigen. Im neu eingefügten §1a wurden ergänzende Vorschriften zum Umweltschutz in das Baugesetzbuch aufgenommen. Im Satz 5 heißt es dort "Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden. Der Grundsatz nach Satz 1 ist in der Abwägung nach §1 Absatz 7 zu berücksichtigen. Der Paragraph 1a fordert im Satz 2 des Weiteren "Mit Grund und Boden soll sparsam und schonend umgegangen werden; dabei sind zur Verringerung der zusätzlichen Inanspruchnahme von Flächen für bauliche Nutzungen die Möglichkeiten der Entwicklung der Gemeinde insbesondere durch Wiedernutzbarmachung von Flächen, Nachverdichtung und andere Maßnahmen zur Innenentwicklung zu nutzen sowie Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen". Gerade eine Nachverdichtung in Innenstädten und in bereits baulich verdichteten Bereichen ist aus human-biometeorologischer Sicht eher kritisch zu sehen.

Da es keine bestimmte Festsetzung gibt, die für sich alleine die Sicherung eines gesunden Stadtklimas bewirken könnte, kommt es darauf an, dass die Summe der Darstellungen und Festsetzungen im Gesamtergebnis den klimatischen Erfordernissen Rechnung trägt. Dabei ist jedoch der in § 9 (1) BauGB ausgesprochene Grundsatz zu beachten, dass alle Festsetzungen städtebaulich begründet sein müssen.

Mit Blick auf den planerischen Handlungsbedarf sollten folgende Ziele klimagerechter Planung verfolgt werden:

- Verbesserung der Aufenthaltsbedingungen bzgl. des Behaglichkeitsklimas
- Verbesserung der Siedlungsdurchlüftung
- Förderung der Frischluftzufuhr durch lokale Windsysteme

- Verminderung der Freisetzung von Luftschadstoffen und Treibhausgasen
- Ermittlung und sachgerechte Bewertung vorhandener oder zu erwartender Belastungen
- Sachgerechte Reaktion auf Belastungssituationen durch Anpassung von Nutzungskonzepten

Zur Verwirklichung der Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege dienen im Rahmen der Bauleitplanung Landschaftspläne und Grünordnungspläne. Sie umfassen eine Bestandsaufnahme der natürlichen Gegebenheiten sowie der Nutzungsansprüche an das betreffende Gebiet. Zu den zu untersuchenden Naturpotentialen zählen u.a. auch Klima und Lufthygiene mit einer ökologischen Bewertung der festgestellten Gegebenheiten und Nutzungskonflikte. Die im Landschaftsplan enthaltenen Elemente werden in den Flächennutzungsplan eingearbeitet. Darstellungen im Landschaftsplan oder im Grünordnungsplan werden, soweit erforderlich und geeignet, in die Bebauungspläne aufgenommen und durch entsprechende Festsetzungen rechtsverbindlich.

Dafür kommen die folgenden Festsetzungsmöglichkeiten nach § 9 (1) BauGB in Betracht:

- Nr. 10 die Flächen, die von Bebauung freizuhalten sind und ihre Nutzung,
- Nr. 15 die öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe,
- Nr. 18 (a) die Flächen für Landwirtschaft und (b) Wald,
- Nr. 20 die Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft,
- Nr. 25 (a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstige Bepflanzungen
- Nr. 25 (b) Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern.

Mit dem neuen § 9 (1 a) BauGB ergibt sich im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffs-/ Ausgleichsregelung die Festsetzungsmöglichkeit von Flächen oder Maßnahmen zum Ausgleich im Sinne des § 1 a (3) BauGB. Diese können auf den Grundstücken, auf denen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erwarten sind, oder an anderer Stelle sowohl im sonstigen Geltungsbereich des Bebauungsplanes als auch in einem anderen Bebauungsplan festgesetzt werden. Im Rahmen der Flächennutzungsplanung können gemäß dem neuen §5(2a) BauGB die Flächen zum Ausgleich im Sinne des §1a(3) BauGB im FNP den Flächen, auf denen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erwarten sind, ganz oder teilweise zugeordnet werden. Zum System der integrierten Landschaftsplanung gehört außer Landschaftsplan und Grünordnungsplan (auf der Ebene

der Bauleitplanung) auch der Landschaftsrahmenplan (auf der Ebene der Regionalplanung). Dieser auf die Raumplanung bezogenen Maßstäblichkeit entsprechen jeweils unterschiedliche Erscheinungsformen des Klimas. In jeder dieser Stufen können ineinandergreifend bis zur Umsetzung beim einzelnen Bebauungsplan die Weichen für eine auch lokalklimatisch sinnvolle Grünplanung gestellt werden.

Mit dem Gesetz über die Durchführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP-Gesetz) werden weitere Gesichtspunkte zur klimagerechten Planung und zur Luftreinhaltung genannt, aber ebenfalls nicht konkretisiert.

Da somit Details einer Berücksichtigung der Belange von Luft und Klima fehlen bzw. nicht eindeutig festgelegt sind, müssen umweltmeteorologische Gesichtspunkte in der Planung mit den genannten Instrumenten, den zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden sowie mittels anerkannter Arbeitshilfen angemessen und individuell berücksichtigt werden.

Die angewandte Stadtklimatologie mit in erster Linie lokalen Bezügen sowie die aktuellen Agenda-Prozesse mit vorwiegend globalen Interessen verfolgen gemeinsam das Ziel, Basisdaten für eine den Themen Klimaanpassung und Klimawandel angemessene Politik zu liefern. Maßnahmen zum technischen Klimaschutz sind dabei nicht Bestandteil der aktuellen Stadtklimatologie.

Der Leistungsumfang dieses Fachgutachten orientiert sich an den Anforderungen der modernen Stadtklimatologie, wie sie z. B. in der vom Land Baden-Württemberg herausgegebenen Städtebaulichen Klimafibel publiziert sind.

Auf der Grundlage einer Bestandsaufnahme sollen für das Stadtgebiet von Regensburg die lokalklimatischen Funktionen des Raumes ermittelt werden.

Neben den messtechnisch erfassten Klimaelementen wurden die planungsrelevanten Klimafaktoren des Raumes auf der Basis aktueller Kartengrundlagen ermittelt. Diese Informationen wurden mit Hilfe des Geographischen Informationssystems ArcView GIS erstellt. Neben der Präsentation und Erläuterung der Ergebnisse in Text und Graphik sind die thematischen Karten wesentliche Ergebnisse der Untersuchung. In ihnen sind die wichtigsten Aussagen zusammengefasst dargestellt. Sie können in das bereits für andere Themenbereiche vorhandene Informationssystem der Stadt integriert werden und stehen somit Fachbehörden, Politikern und den Bürgern als Informationsbasis zur Verfügung.

2. Inhalte und Methoden der angewandten Stadtklimatologie

Städte und Stadtregionen sind vom Klimawandel besonders berührt. Einerseits als wesentliche Verursacher des Klimawandels und andererseits auch als im Besonderen Betroffene. Vorausschauende Planung ist erforderlich, um nicht nur zum Klimaschutz beizutragen, sondern die unvermeidbaren Wirkfolgen des Klimawandels zu mindern oder abzuwehren. Während Klimaschutzkonzepte längst weit verbreitet und erprobt sind, ist die Anpassung ein neues Aufgabenfeld der Stadtentwicklung.

Die Stadtklimatologie ist seit Jahrzehnten ein etabliertes Forschungsfeld. Neben einer Reihe von Publikationen, die ausschließlich diesem Thema gewidmet sind, ist auch in den meisten aktuellen meteorologischen Standardwerken zum Klimawandel dem Thema ein eigenes Kapitel gewidmet. Das Stadtklima ist von der World Meteorological Organization (WMO) als gegenüber dem Umland verändertes Lokalklima definiert. Sehr dichte Bebauung und fehlende Vegetation, sowie die Emission von Luftschadstoffen und Abwärme können in Städten zu einer höheren Durchschnittstemperatur und Schadstoffkonzentration, sowie zu niedrigeren Luftfeuchtigkeiten und Windgeschwindigkeiten führen, als im ländlichen Umland vorherrschen. Stadtklima kann gesundheitliche Schäden (erhöhte Sterblichkeit und Krankheiten) und Veränderungen der Flora und Fauna verursachen oder verschlimmern. Hinsichtlich der Temperatur tragen Städte stets zu einer Erwärmung bei. Städte sind im Jahresmittel um 1 bis 2 Grad wärmer als die sie umgebende Landschaft. Besonders große Temperaturunterschiede treten jedoch in Strahlungsnächten bei den täglichen Temperaturminima auf.

Trotz des bestehenden hohen Wissensstandes hat der Klimawandel der Forschung neue Impulse gegeben. Dabei rücken neben den bisher prägenden Feldern der Human-Biometeorologie mit Schwerpunkt auf den thermisch-hygrischen und lufthygienischen Wirkungskomplexen nun auch technisch-meteorologische Aspekte in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Zwar gibt es seit jeher Bestrebungen die Ergebnisse von Klimanalysen in Hinweise für die Planung zu übertragen, diese fanden aber bis dato nur verhaltenen Widerhall in der Planungspraxis. Im Umgang mit dem Klimawandel dürfte in der Überbrückung der Lücke, von der deskriptiven Erfassung hin zu normativen Aussagen, eine der wichtigsten Aufgaben für die angewandte Forschung liegen.

Der urbane Raum ist durch die negativen Folgen des Klimawandels in besonderer Weise betroffen. Zum einen sind hier Vermögenswerte, Einrichtungen und empfindliche Personengruppen konzentriert, so dass klimatische Veränderungen ein erhebliches Schadenspotenzial entfalten können. Zum anderen werden die meisten klimatischen Veränderungen durch die besonderen Charakteristika des urbanen Raumes in ihrer Wirkung weiter verstärkt.

Die klimatischen Veränderungen, die sich auf den urbanen Raum auswirken, betreffen dabei wie bereits erwähnt sowohl die durchschnittlichen Bedingungen (z.B. die Jahresmitteltemperatur) als auch die Anzahl und die Stärke von Extremereignissen. Die Probleme, die dadurch ausgelöst werden sind von sehr unterschiedlicher Natur. So können häufigere und heftigere Extremereignisse (wie z.B. Flusshochwässer, Hitzewellen und Starkregenereignisse) zu Schäden an der Bausubstanz und zur Gefährdung der Bewohner führen, während die schleichenden Veränderungen (wie z.B. von Niederschlagsverhältnissen) veränderte Ansprüche an Bausubstanz und Infrastruktureinrichtungen (z.B. Kanalisation und Verkehrswege) auslösen). Sowohl Extremereignisse als auch schleichende Veränderungen haben direkte Auswirkungen (wie z.B. die Zunahme der Hitzebelastung), lösen aber auch indirekte Folgen aus (wie z.B. eine Veränderung des Energiebedarfes für die Kühlung). Insbesondere die indirekten Wirkungen sind dabei schwer abzuschätzen, da viele andere Faktoren und Entwicklungen auf sie einwirken. Bei der Betrachtung der Folgen des Klimawandels im urbanen Raum müssen demnach sowohl die schleichenden klimatischen Veränderungen als auch Veränderungen der Extremereignisse betrachtet werden.

Aus dem großen Spektrum der meteorologischen Parameter spielen innerhalb der Stadtplanung die Lufttemperatur und der Windvektor eine entscheidende Rolle. Einerseits sind sie die wichtigsten Kenngrößen in der Humanbiometeorologie, andererseits beeinflussen Flächennutzungsänderungen diese beiden Messgrößen besonders stark. Die Wärmeinsel ist ein typisches Merkmal des Stadtklimas und wird durch die Wechselwirkung mehrerer unterschiedlicher Effekte hervorgerufen, die physikalisch betrachtet ihre Ursache überwiegend im veränderten Strahlungs- und Wärmehaushalt haben.

Die Lufttemperatur in der bodennahen Luftschicht ist eine Folge der Energieumsätze am Erdboden. Dazu gehören kurz- und langwellige Strahlungsflüsse, fühlbare und latente Wärmeströme sowie der Wärmeleitungsstrom und die Wärmespeicherung.

Kurzwellige Strahlung wird ausschließlich von der Sonne emittiert. Sie erreicht die Erdoberfläche als Globalstrahlung (Summe von direkter und diffuser Strahlung) und wird hier in Abhängigkeit von der Albedo (Reflexionsverhalten) teilweise reflektiert. Die Differenz aus Globalstrahlung und Reflexstrahlung, die tagsüber stets positiv ist, wird als kurzwellige Strahlungsbilanz bezeichnet. Dieser Energieüberschuss führt u.a. zur Erwärmung des Erdbodens und zur Abgabe langwelliger Strahlung vom Erdboden aus in die Atmosphäre. Diese gibt selbst Energie ab, da die atmosphärischen Gase, Aerosole und Wolken entsprechend ihrer Temperatur langwellige Strahlung emittieren. Die langwellige Strahlungsbilanz errechnet sich aus der Differenz der Abstrahlung vom Erdboden und der Gegenstrahlung aus der Atmosphäre. Diese ist im Gegensatz zur kurzwelligen Strahlungsbilanz gantzätigig wirksam. In der Regel hat der Differenzbetrag ein

negatives Vorzeichen, das heißt die langwelligen Strahlungsflüsse haben für den Erdboden eine Abkühlung zur Folge.

Neben den Energietransporten durch Strahlung und molekulare Wärmeleitung im Boden wirken die mit dem turbulenten vertikalen Luftaustausch verbundenen fühlbaren und latenten Wärmeströme. Die Wärmestromdichte des fühlbaren Wärmestromes ist proportional zum vertikalen Temperaturgradienten und bewirkt allein die im Tagesgang feststellbaren Änderungen der Temperaturen innerhalb der bodennahen Luftschicht. Durch den latenten Wärmestrom wird das vertikale Profil der spezifischen Feuchte gesteuert. Die transportierte latente Energie ist dabei die Umwandlungswärme des Wassers beim Phasenübergang flüssig-gasförmig (Verdunstung) an der Erdoberfläche. Die Verdunstung setzt sich aus der Transpiration und der Evaporation zusammen. Zum latenten Wärmestrom gehören alle Phasenwechsel des Wassers, also auch Taubildung und das Schmelzen von Schnee.

Alle genannten Energieformen unterliegen im Stadtbereich einer anthropogenen Modifikation. Zusätzliche Aerosole (Stäube, Wasser) beeinflussen die Globalstrahlung, die Farbe der Oberfläche bestimmt die Größenordnung der Reflexstrahlung. Vom Menschen gestaltete Oberflächen wie Asphaltstraßen und Teerdächer haben Albedowerte zwischen 0,05 und 0,08, d.h. sie reflektieren nur 5% bis 8% der ankommenden Sonnenstrahlung. Für natürliche Oberflächen wie Wiesen, landwirtschaftliche Nutzflächen und Wälder hingegen liegen die Albedowerte zwischen 0,15 und 0,25. Somit wird in Städten mehr kurzweilige Strahlung absorbiert als im Freiland, d.h. es steht mehr Energie für die anderen Komponenten des Energiehaushaltes zur Verfügung als im Außenbereich.

Das vorhandene Oberflächenmaterial (Baumaterial) hat ebenfalls Auswirkungen auf die molekulare Wärmeleitung im Boden. Typische Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit in Städten liegen zwischen $1,7$ und $4,6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, während im Freiland nur Beträge zwischen $0,21$ und $2,1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ erreicht werden. Tagsüber werden in Städten somit durch Wärmeleitung große Energiemengen in das Baumaterial hinein transportiert.

In den Nachtstunden geben die Baumaterialien zusätzliche Energie an die Erdoberfläche ab. Hinzu kommt, dass dieser Wärmestrom nicht nur in der Fläche (also am Erdboden), sondern auch im Volumen (also an Gebäuden) wirksam ist.

Der geringe Grünflächenanteil führt in Stadtgebieten zu einer Reduzierung der Transpiration durch die Pflanzen. Die kanalisierte Wasserabfuhr von versiegelten Flächen sowie die wenigen offenen Wasserflächen tragen dazu bei, dass auch die Evaporation niedriger ist als im Freiland.

In der Summe haben die Veränderungen des Energiehaushaltes eine Steigerung des fühlbaren Wärmestromes zur Folge, was sich in erhöhten Lufttemperaturen äußert. Ein

bekanntes Phänomen ist daher die innerstädtische Wärmeinsel. Sie ist sogar bei der äußerst trägen Jahresmitteltemperatur messtechnisch nachzuweisen, wobei je nach Standort und Stadtgröße Beträge von 0,5 bis 2°C erreicht werden. Bei Episodenmessungen treten kurzfristige Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland von mehr als 10°C auf. Solche Größenordnungen haben für die humanbiometeorologische Bewertung eine erhebliche Bedeutung, insbesondere dann, wenn es sich um wärmebelastende sommerliche Hochdruckwetterlagen handelt.

Der Windvektor wird in Städten auf unterschiedliche Art und Weise beeinflusst. Ein Windvektor setzt sich grundsätzlich aus den Komponenten Richtung und Geschwindigkeit zusammen. Beide Größen sind abhängig von den jeweils herrschenden horizontalen Luftdruckunterschieden. Solche Druckunterschiede können makroskalige, mesoskalige und mikroskalige Ursachen haben.

Unsere hemisphärenweite allgemeine Zirkulation hat ihre Ursachen in den großräumigen Luftdruckunterschieden. Hoch- und Tiefdruckgebiete der gemäßigten Klimazone sind verantwortlich für die Windverhältnisse in Mitteleuropa. Die Lage der wetterbestimmenden Druckgebilde und ihre Intensität bestimmen in der Regel Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Großräumige Hoch- und Tiefdruckgebiete ändern ihre Lage und Intensität relativ langsam, so dass die daraus resultierenden Strömungsverhältnisse keinen Tagesgang aufweisen. Die tagsüber und nachts unterschiedlichen thermischen Schichtungen innerhalb der bodennahen Luftschicht erlauben lediglich eine Variation der Windgeschwindigkeit. Tagsüber kommt es bei guter Durchmischung zu höheren Windgeschwindigkeiten, nachts flaut der Wind insbesondere bei thermisch stabiler Schichtung ab.

Bei schwachen überregionalen Luftdruckgegensätzen besteht die Möglichkeit, dass sich regionale und/ oder sogar lokale Strömungssysteme entwickeln. Die bekanntesten Regionalwindssysteme sind die Land-See-Winde in den Küstenregionen sowie die Berg-Tal-Winde im Mittel- und Hochgebirge. In beiden Fällen trägt die unterschiedliche Erwärmung bzw. Abkühlung verschiedener Oberflächen dazu bei, dass sich Luftdichte- und somit auch Luftdruckanomalien ausbilden. Solche Windsysteme bilden sich auch zwischen Großstädten und ihrem Umland aus und werden hier Flurwindssysteme genannt. Mikroskalig bilden sich zwischen benachbarten Flächen Strömungen aus, die allein durch Temperaturunterschiede induziert werden. Solche Phänomene entwickeln sich allerdings nur, wenn durch Strahlungswetterlagen und schwachen Gradientwind die Rahmenbedingungen geschaffen werden.

3. Auswertung der langjährigen Datenreihen

Bei den Klimaelementen einer Wetterstation kommt der dort gemessenen Lufttemperatur ein besonders hoher Stellenwert zu. Denn zusammen mit dem Niederschlag stellen diese beiden Parameter die Basis für das Klima eines Ortes dar. Beide Messgrößen werden seit langen Zeiträumen weltweit gemessen und miteinander verglichen. Als statistische Kerngrößen sind für die Lufttemperatur die Jahresmitteltemperatur, für den Niederschlag die Jahressumme des Niederschlages von herausragender Bedeutung. Für jedes Jahr werden die beiden Kenngrößen summiert bzw. gemittelt.

3.1 Ergebnisse der Amtlichen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes

Für Regensburg stellt der Deutsche Wetterdienst im Internet die entsprechenden Informationen seit mehr als 50 Jahren zur Verfügung. Mit einer linearen Regression lässt sich die Temperaturentwicklung für die vergangenen fünf Jahrzehnte darstellen. Der Mittelwert der Lufttemperatur liegt für den Gesamtzeitraum bei $8,6^{\circ}\text{C}$. Abbildung 1a zeigt, dass dieser Wert während der ersten dreißig Jahre selten überschritten wurde und anschließend Jahresmittelwerte oberhalb des Gesamtmittels die Regel ist. Vor 1990 gab es keinen Jahresmittelwert oberhalb von 9°C , danach wurde der Wert in 12 Jahren überschritten. Allein diese wenigen Zahlwerte machen deutlich, dass die Jahresmitteltemperatur während der vorliegenden Messreihe deutlich angestiegen ist. Die Entwicklung lässt sich mit Hilfe der linearen Regression verdeutlichen. Zu Beginn der Geraden sind es $7,8^{\circ}\text{C}$, 61 Jahre später liegt der Wert bei $9,4^{\circ}\text{C}$. Die Regression zeigt somit eine Temperaturzunahme in $1,6^{\circ}\text{C}$ in 61 Jahren, was einer Erwärmung von $0,26^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt oder von $2,6^{\circ}\text{C}$ in 100 Jahren entspricht. Das Rekordjahr war 1994 mit einer Jahresmitteltemperatur von $10,2^{\circ}\text{C}$.

Bei den Jahressummen des Niederschlages ist hingegen kein eindeutiger Trend zu trockeneren oder feuchteren Jahren zu erkennen, die Ergebnisse sind in Abb. 1b dargestellt. Die berechnete lineare Regression über die verfügbare Zeitspanne zeigt einen nur unwesentlichen Anstieg der Jahreswerte. Das mit Abstand niederschlagsärmste Jahr war mit rund 450mm das Jahr 2003, das Vorjahr brachte mit 950mm mehr als das Doppelte.

Betrachtet man Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlag im Zusammenhang, zeigt die klimatische Wasserbilanz aufgrund der zunehmenden Verdunstung eine negative Entwicklung. Für die Klimafolgenabschätzung sollte diese Entwicklung intensiver beobachtet werden, für die Stadtklimatologie ist diese Fragestellung weniger bedeutsam, in der Folge steht diesbezüglich die thermische Komponente des Klimas im Vordergrund.

Während die Jahresmitteltemperatur sich aus den Messwerten des gesamten Jahres ableitet, gibt es weitere Kenngrößen, mit deren Hilfe jahreszeitenabhängige Besonderheiten der Lufttemperaturen aufgezeigt werden. Die Kälte der Wintermonate lässt sich anhand der ausgewerteten Frost- und Eistage ableiten. Für Frosttage gilt das Kriterium, dass die Lufttemperatur dafür im Laufe eines Tages unter den Gefrierpunkt absinkt. Dies ist im Regelfall während der Nachtstunden der Fall. Von Eistagen spricht man, wenn die Lufttemperatur ganztägig unter 0°C verharrt. Interpretiert man diese Kenngrößen richtig, so beinhaltet die Anzahl der Eistage auch die Frosttage, ihre Differenz bezeichnet man auch als Frostwechseltage.

Die Kälte der Winter in Mitteleuropa korreliert sehr stark mit der jeweils vorherrschenden Luftdruckverteilung. Resultieren daraus mehrheitlich östliche Luftströmungen, dann ist es insbesondere im Süden und Südosten Deutschlands relativ kalt. Dominieren hingegen kräftige Winde aus westlichen bis südwestlichen Richtungen, sind die Lufttemperaturen während solcher Wintermonate eher mild. Das Donautal kann sich dann unabhängig von den meisten Teilen Deutschlands auch bei solchen Konstellationen innerhalb von bodennaher Kaltluft befinden.

Die Frosttage (Abb. 1c) zeigen für die Wetterstation Regensburg während der vergangenen 60 Jahre eine leicht fallende Tendenz. Im Durchschnitt gibt es in Regensburg pro Jahr etwa 100 Tage mit Luftfrost. 1974 wurde mit nur 60 Frosttagen die geringste Anzahl von Frosttagen ermittelt, 1996 wurden mit 130 Frosttagen mehr als doppelt so viele Fälle registriert. Die lineare Regression zeigt einen Rückgang der Frosttage von 105 Tagen zu Beginn der Datenreihe und 92 Tagen am Ende. Auf 100 Jahre hochgerechnet bedeutet dies eine Reduzierung der Frosthäufigkeit um 21 Tage. Dennoch wurden in den Jahren 2010 und 2011 jeweils mehr als 100 Frosttage registriert.

Genauso wie für die Frosttage ist auch für die Eistage (Abb. 1d) der Schwellenwert der Gefrierpunkt des Wassers, Aussagen zur Stärke und zur Andauer von Frösten sind damit nicht möglich. Ähnlich wie die Frosttage zeigt die Häufigkeit der Eistage eine abnehmende Tendenz. Gedämpft wird diese Abnahme durch die außergewöhnlich kalten Wintermonate im Jahr 2010. Hier wurde mit 53 Eistagen der höchste Wert seit 1963 gemessen. Dies ist allerdings der Tatsache geschuldet, dass sowohl der Jahresauftakt als auch der Dezember 2010 sehr viele Eistage aufwiesen.

Eine entgegengesetzte Tendenz gibt es bei den Kennwerten für besonders warme Wetterlagen. Klassisch wird hier nach Sommertagen (Maximum über 25°C) und Heißen Tagen (Maximum über 30°C) klassifiziert. Die Steigerung bei den Sommertagen (Abb. 1e) ist besonders stark. Die lineare Regression beginnt 1961 bei 30 Tagen und endet 2011 bei mehr als 60 Tagen, d.h. die Anzahl der Tage mit mehr als 25°C hat sich im 60jährigen Untersuchungszeitraum mehr als verdoppelt. Bis 1990 gab es nur ein Jahr

(1983), in dem die Anzahl der Sommertage über 50 lag, seitdem gab es nur noch fünf Jahre, in denen dieser Schwellenwert nicht überschritten wurde. Das Jahr 2003 stellte mit 91 Sommertagen den bisherigen Allzeitrekord auf.

Ähnliches gilt für die Heißen Tage, die in Abbildung 1f dargestellt sind. Die Regressionskurve beginnt bei vier Tagen im Jahr 1961 und endet bei 15 Tagen im Jahr 2011. Die Grafik verdeutlicht, dass es während der ersten 30 Jahre nur Einzeljahre gab, in denen eine nennenswerte Zahl von Heißen Tagen zusammenkam. Lange Gültigkeit hat die Rekordzahl von Heißen Tagen aus dem Jahr 1971, als die Schwelle von 30°C 17 Mal überschritten wurde. 1994 schnellte dann der Wert auf 25 Heiße Tage und im Jahr 2003 wurden dann 42 Heiße Tage gemessen. Vermutlich wird diese Zahl noch viele Jahre den Maximalwert darstellen, da das Jahr 2003 in vieler Hinsicht bemerkenswert war. Auffällig ist aber die Tatsache, dass sich im neuen Jahrtausend die Anzahl der Heißen Tagen auf durchschnittlich mehr als 10 Tage eingependelt hat.

Als weiteres Maß hat sich insbesondere in der angewandten Stadtklimatologie die Anzahl der Biergartentage etabliert. Damit verbindet man eher die positiven Aspekte der Klimaerwärmung. Sie werden durch eine Lufttemperatur über 20°C zum Termin 21 Uhr definiert, was zum Aufenthalt im Freien animiert. Wie Abb. 1g zeigt, schnellte diese Kenngröße mit dem Jahrtausendwechsel nach oben. Ursache dafür ist eine Umstellung der Beobachtungstermine beim Deutschen Wetterdienst. Erfolgte die Ablesung bis zum Jahr 2000 um 21 Uhr mittlerer Ortszeit, was in etwa 21 Uhr Mitteleuropäischer Zeit bzw. 22 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit entsprach, wurde dies ab 2001 um eine Stunde vorverlegt. Diese Verschiebung um 60 Minuten nach vorn hat wegen der in den Abendstunden rasch fortschreitenden Abkühlung erhebliche Auswirkungen auf die seit 1961 bestehende Datenreihe.

Seitdem sind es an der DWD Station Regensburg in der Regel mehr als 60 Biergartentage im Jahr, vor dem Jahrtausendwechsel lag die Zahl bei durchschnittlich 20 Tagen. Herausragend ist das Jahr 2003, wo im damaligen Rekordsommer fast 100 Biergartentage registriert wurden.

Trotz der warmen Abende ist Regensburg bisher von sogenannten Tropennächten weitgehend verschont geblieben, in solchen Fällen müsste das Temperaturminimum oberhalb von 20°C liegen. Um aber die Auswirkungen der zunehmenden abendlichen Überwärmung beurteilen zu können, wurden die Nächte klassifiziert, in denen das Minimum nicht unter 15°C gesunken ist, diese Klasse bekommt in der Auswertung die Bezeichnung "Milde Nächte". Die Ergebnisse sind in Abb. 1h dargestellt. Der Mittelwert des Gesamtzeitraumes liegt hierfür bei 18 Nächten. Deutliche Ausreißer nach oben sind die Jahre 1994, 2003 und 2006, Werte oberhalb der Regressionsgerade gibt es auch in den Jahren 2002, 2005, 2008 und 2009. Eine Häufung während der letzten Jahre ist

somit unübersehbar, ohne dass dadurch zwingend thermisch belastende Wetterlagen verbunden sind. Mit der Zunahme der "Milden Nächte" ist ein Rückgang der ebenfalls ausgewerteten "Kühlen Nächte" verbunden (Abb. 1i). Für dieses Kriterium muss die Temperatur während der Nachtstunden unter 10°C sinken. Im Jahresmittel des Gesamtzeitraumes liegt der Wert bei 270 Tagen, dabei zeigt die Regressionsgerade eine leicht fallende Tendenz. Besondere Einzeljahre fallen bei dieser Statistik nicht auf, dennoch wird der Trend zu etwas milderer Nächten deutlich.

Die Auswertungen für "Heitere Tage" (Abb. 1j) und "Trübe Tage" (Abb. 1k) nutzen den Bedeckungsgrad des Himmels aus. Ausreißer in der Datenreihe ist das Jahr 2003, auch anhand dieser Kenngröße wird die Ausnahmestellung des Rekordsommers deutlich, der nicht nur extreme Hitze, sondern auch viele sonnenscheinreiche und somit heitere Tage mit sich brachte. Die zugehörige Regressionsgerade verläuft fast waagrecht, was einer weitgehend homogenen Entwicklung entspricht. Im neuen Jahrtausend halten sich die Jahre mit über- und unterdurchschnittlichen Beträgen in etwa die Waage. Die zu beobachtende Erwärmung resultiert also nicht aus einer Zunahme der sonnigen Tage. Eine leicht rückläufige Tendenz zeigen hingegen die "trüben Tage", sie treten im Mittel an 154 Tagen pro Jahr auf, der Himmel ist dann definitionsgemäß stark bewölkt bis bedeckt. Mit Abstand die geringste Häufigkeit gab es erwartungsgemäß im Jahr 2003, im Jahr 2010 war ihr Wert überdurchschnittlich hoch.

Signifikanter erscheint die Entwicklung bei den Nebeltagen (Abb. 1l), als Kriterium dient hierfür eine horizontale Sichtweite an einem Beobachtungstermin von weniger als 1.000 Metern. Als Mittelwert für den Gesamtzeitraum wurden 64 Nebeltage ermittelt. Beträge von mehr als 80 Nebeltagen wurden vor allem vor 1990 beobachtet, 2011 verfügte ebenfalls über 80 Nebeltage. Die zu erkennende leichte Abnahme der Nebeltage ist durchaus als positiv zu bewerten, gehört doch Nebel in der Donauniederung eher zu den belastenden Klimaelementen.

Obwohl es bundesweit eine Zunahme von schweren Unwettern gibt, zeigt der Trend für Tage mit Gewittern (Abb. 1m) in Regensburg leicht nach unten. Über dem Durchschnitt von 26 Tagen lagen während der letzten 10 Jahre nur 2006 und 2008. Da die Statistik der Gewittertage allein auf Beobachtungen beruht, ist diese Zahl inhaltlich etwas weniger belastbar als die Ergebnisse, die auf tatsächlichen Messwerten beruhen. Dazu gehört die Anzahl der Schneetage, die über eine geschlossene Schneedecke zum morgendlichen Beobachtungstermin definiert sind (Abb. 1n). Die errechnete Regressionskurve zeigt eine deutliche abnehmende Entwicklung, der Mittelwert von 31 Tagen wurde während der vergangenen 30 Jahre nur noch selten überschritten. Die Summe von 42 Schneetagen im Jahr 2010 erscheint im Umfeld der letzten 30 Jahre als rekordverdächtig. Ein Blick auf die Jahre 1961 bis 1976 verdeutlicht, dass ein solcher Wert in dieser Periode als unterdurchschnittlich bewertet worden wäre. Der rapide Rückgang der

Schneetage ist neben der zunehmenden Hitze während der Sommermonate ein sehr wichtiges Indiz für die existierende Temperaturzunahme.

Fazit:

Die langjährigen Daten der Amtlichen Wetterstation bestätigen eindeutig den Trend zu steigenden Lufttemperaturen. Die Jahresmitteltemperatur ist innerhalb von 50 Jahren um ca. 1,5°C angestiegen, Extremwerte wie die Sommertage haben sich innerhalb dieses Zeitraumes von durchschnittlich 30 Tagen im Jahr auf 60 Tage verdoppelt. Da ähnliche Entwicklungen auch an anderen deutschen Orten registriert werden, spiegelt sich anhand der Regensburger Wetterdaten die globale Erwärmung wieder. Hingegen hat sich die Niederschlagssumme kaum verändert, sie liegt im Jahresmittel weiterhin bei ca. 650mm. Bei der Betrachtung der Zahlenwerte muss erwähnt werden, dass sich die Wetterstation abseits der Kernstadt von Regensburg befindet. Somit wird hiermit nicht das Klima der Innenstadt abgebildet, sondern die mittleren Bedingungen im Randbereich der Stadt.

3.2 Ergebnisse der Messstation des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz

Eine wesentlich kürzere Datenreihe steht aus der Innenstadt von Regensburg zur Verfügung. Am Dachauplatz befindet sich eine lufthygienische Messstelle des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz. Hier werden auch meteorologische Größen (Lufttemperatur, Windvektor) gemessen, ohne jedoch den Anspruch an die Standortanforderungen für Amtliche Wetterstationen zu erfüllen; darauf weist der Betreiber ausdrücklich hin. Das Temperaturmessgerät befindet sich auf einem Flachdach; diese Tatsache ist bei der Auswertung und Interpretation dieser Wetterdaten unbedingt zu berücksichtigen.

Bei der Temperatúrauswertung ergeben sich deutlich wärmere Bedingungen als an der Wetterdienststation. Dafür sind in erster Linie drei Dinge verantwortlich. Zum einen umfasst die Datenreihe den Zeitraum 1990 bis 2011 und damit die mit Abstand wärmste Periode des langen Zeitraumes von 1961 bis 2011 am Standort Deutscher Wetterdienst. Zum anderen befindet sich der Dachauplatz in der dicht versiegelten Innenstadt von Regensburg, wodurch das Temperaturniveau um einige Grad Celsius angehoben wird. Ferner wirkt sich das Mikroklima des Dachstandortes temperaturerhöhend aus. Die Daten können aber durchaus als repräsentativ für die dichtversiegelten Bereiche der Altstadt von Regensburg angesehen werden.

Die Sommertage (Temperaturmaxima über 25°C) verdeutlichen die beschriebenen Phänomene; sie sind in Abb. 2a grafisch dargestellt. Ergänzend wurde wie am Standort des Deutschen Wetterdienstes die errechnete Regressionsgerade eingetragen. Im Mittel der Jahre 1990 bis 2011 wurde am Standort Dachauplatz 96 Sommertage pro Jahr

registriert, während es an der Station des Deutschen Wetterdienstes im Regental nur 47 Sommertage gab. Trotz des schon sehr hohen Niveaus steigt die Kurve mit den Jahren noch weiter an. 2003 wurden am Dachauplatz 127 Sommertage registriert, 2010 hingegen nur 81. Die Ergebnisse zeigen somit, dass der allmähliche Temperaturanstieg nicht kontinuierlich verläuft, sondern auch kühlere Sommer eingestreut sein können. Ähnliches gilt für die Heißen Tage (Abb.2b), an denen es wärmer als 30°C wird. Solche Situationen sind häufig mit thermischen Belastungen für die Bevölkerung verbunden, vor allem, wenn sich die Heißen Tage in Form von Hitzeperioden aneinander reihen. Hier tritt der Unterschied zur Wetterdienststation noch deutlicher hervor. Im Gegensatz zu 9 Heißen Tagen dort steigt die Temperatur am Standort Dachauplatz im Durchschnitt jährlich an 45 Tagen über die 30°C-Marke. Im Jahr 2003 wurde der Rekordwert von 88 Heißen Tagen erreicht, die übrigen Jahre liefen gemäßiger ab. 2011 liegt mit 55 Heißen Tagen exakt auf der Regressionsgeraden, aus der immerhin eine Zunahme der Heißen Tage um 17 Fälle in den vergangenen 20 Jahren abzulesen ist.

Während die Temperaturmaxima gegebenenfalls standortbedingt durch besonders hohe Strahlungsbilanzen beeinflusst sind, gilt dies nicht für Messergebnisse während der Abend- und Nachtstunden. Bei den Biergartentagen (Abb. 2c) übertrifft der Standort Dachauplatz die Werte der Wetterdienststation um 35 Tage. 64 Biergartentage in der Innenstadt stehen nur 29 Fälle im Außenbereich gegenüber. Im Gegensatz zu den übrigen sommerlichen Temperaturkenngrößen weisen die Biergartentage in der 20jährigen Statistik aber eine leicht fallende Tendenz auf, insbesondere die Jahre 2009 bis 2011 fallen durch etwas niedrigere Werte auf. Ähnliches gilt auch für die absoluten Häufigkeiten der Milden Nächte (Abb. 2d), bei denen die Minima über 15°C betrachtet werden. Die Ergebnisse für 2009 bis 2011 liegen deutlich unter der Regressionsgeraden, während die übrigen Jahre des aktuellen Jahrtausends mehrheitlich überdurchschnittlich hohe Werte aufweisen, allein 6 Jahre verfügen hier über mehr als 60 Milde Nächte. Dabei spielt sich dieses Szenario am Dachauplatz (Mittelwert 54 Milde Nächte) im Vergleich zur Wetterdienststation (Mittelwert 18 Milde Nächte) insgesamt auf sehr hohem Niveau ab.

Auch in der kalten Jahreszeit gibt es einen deutlichen Wärmeüberschuss in der Regensburger Innenstadt. Die Kühlen Nächte (225 Fälle im Vergleich zu 270 an der Wetterdienststation) sind in der Innenstadt leicht rückläufig (Abb. 2e). Nahezu waagrecht verläuft die Regressionsgerade bei den Frosttagen (Temperaturminima unter dem Gefrierpunkt), wobei die Einzeljahre eine relativ hohe Schwankungsbreite aufweisen (Abb. 2f). Der niedrigste Betrag wurde mit 31 Frosttagen im Jahr 2007 gemessen, 2010 war es mit 91 Fällen fast dreimal soviel. Je kleiner die Datenkollektive werden, umso mehr fallen die jährlichen Schwankungsbreiten ins Auge. Dies gilt auch für die Tage mit Dauerfrost (Eistage), die in Regensburg relativ selten sind. Für den Standort Dachau-

platz wurden im 20jährigen Mittel 16 Eistage ermittelt (Abb. 2g), im Außenbereich sind es mit 31 Eistagen (Mittel 1961 bis 2011) fast doppelt so viele. Das Rekordjahr 2010 ergab für die Wetterdienststation 52 Eistage, für den Standort Dachauplatz immerhin 40 Eistage. 2008 gab es hier im kompletten Jahr nur einen einzigen Tag mit Dauerfrost. Die Regressionsgerade zeigt zwar eine leicht fallende Tendenz für diese Kenngröße, statistisch ist dies aber wegen der großen Schwankungsbreite jedoch wenig aussagekräftig.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Trend zu wärmeren Jahren sowohl bei den Überwärmungsraten im Sommer als auch bei den Kälteanzeigern an beiden Standorten gut erkennbar ist. Die Entwicklung spielt sich allerdings in der Innenstadt auf deutlich höherem Niveau ab.

Neben der thermischen Komponente des Stadtklimas ist der Windvektor ein weiterer wesentlicher Klimafaktor, denn er bestimmt die Be- und Entlüftung von Stadtgebieten. Aus Regensburg liegen lediglich Datenreihen vom Standort Dachauplatz vor. Nach Angaben des Betreibers ist der Windgeber trotz der Innenstadtlage frei anströmbar. Die Daten für die 20jährige Messreihe wurden in Form von Windrosen aufbereitet, wobei nach Tages- und Jahreszeiten unterschieden wurde (Abb. 2h-k). Durch die Differenzierung nach Jahreszeiten ist insbesondere der Einfluss der Strahlungsverhältnisse ablesbar. Die tageszeitenabhängige Auswertung ermöglicht Aussagen zu thermisch induzierten und somit regionaltypischen Strömungsverhältnissen. Da Wind in der Regel durch großräumige Luftdruckunterschiede bestimmt wird, sind Luftbewegungen grundsätzlich unabhängig von der Tageszeit. Insbesondere bei geringen überregionalen Luftdruckunterschieden können auch regionale und lokale Parameter das Windfeld eines Ortes beeinflussen. Solche Phänomene sind aus dem Flachland als Flurwinde bekannt, im Bergland treten hingegen Berg- und Talwinde auf, die ihrerseits durch Hangauf- und Hangabwinde initiiert werden. Ursache für solche Erscheinungen sind Unterschiede in der Lufttemperatur, die wiederum durch den örtlichen Wärmehaushalt der bodennahen Luftschicht beeinflusst sind. Solche Strömungen sind in der Regel nur innerhalb der unteren Atmosphäre anzutreffen. Sie wurden bereits im Zusammenhang mit zahlreichen Stadtklimauntersuchungen nachgewiesen. Um ihre Häufigkeit und ihre Reichweite nachweisen zu können, bedarf es einem dichten Netz von Messstellen, was für Regensburg nicht zur Verfügung steht. Als wichtiges Indiz für das Vorhandensein örtlicher Strömungsbesonderheit dienen die nach Tageszeiten differenzierten Windrosen, in denen nach 12 Windrichtungen unterschieden wird. In den jeweiligen Windrosen nicht enthalten sind Situationen mit umlaufenden Winden und Windstillen. Die Werte für Frühjahr, Sommer und Herbst zeigen sehr ähnliche Ergebnisse. Die Häufigkeit nächtlicher Windstillen liegt jeweils zwischen 16% und 17%, was einer ungewöhnlich hohen Anzahl von Flauten entspricht. Tagsüber sind Windstillen selten, sie liegen in diesen

drei Jahreszeiten bei maximal 3%. Die Maxima der Windrichtung entsprechen tagsüber und nachts nicht einer durch das Donautal vorgegebenen Strömungsachse. Diese verläuft fast genau in West-Ost-Richtung mit einer leichten Tendenz zu WNW-OSO. Hauptwindrichtung tagsüber ist jedoch von Frühjahr bis Herbst der Sektor SSO. Zusammen mit dem Nachbarsektor OSO sind es im Frühjahr knapp 28%, im Sommer 24% und im Herbst sogar knapp 33%. Für die Sektoren West plus WNW ergeben sich für diese Zeiträume lediglich Häufigkeiten zwischen 15% und 17%. Als Gründe für diese ungewöhnliche Richtungsverteilung kommen u.a. Luftleitbahnen in Frage, insbesondere breitere Straßenzüge in Verbindung mit zeilenförmiger Randbebauung.

Nachts ändern sich die Strömungsbedingungen signifikant, was als sicheres Indiz für örtliche Windsysteme zu interpretieren ist, zumal sich diese Anomalie im 20jährigen Mittel durchsetzt. Der Anteil der tagsüber dominanten Anströmungen aus SSO und OSO geht während der Nachtstunden um bis zu 17% zurück. Dafür steigen nachts die relativen Häufigkeiten für die Sektoren Nord und NNW um mehr als 10% an, wobei zu berücksichtigen ist, dass gleichzeitig die Flautenhäufigkeit signifikant zunimmt. Eine weitere Häufigkeitszunahme von bis zum 3,5% (Sommer) im Vergleich zu tagsüber gibt es zudem im Sektor West. Die deutliche Zunahme im Nordsektor wird auf Bergwinde aus dem Regental zurückgeführt, die Zunahme im Sektor West entspricht einer talabwärtsgerichteten Strömung entlang der Donau.

Wenn auch die Messergebnisse einer Wetterstation kein Gesamtbild über die Strömungsverhältnisse in Regensburg zulässt, ist das Phänomen nächtlicher Bergwinde aus dem Regental in Richtung Innenstadt durch die vorhandenen Daten als gesichert anzusehen. Es liegt nahe, die tagsüber vorhandene entgegengesetzte Strömung als Entlüftung aus der überwärmten Innenstadt zu interpretieren, die gemessenen Temperaturgegensätze zwischen Innenstadt und Außenbereiche unterstützen diese Annahme.

Fazit:

Das zwanzig Jahre umfassende Datenkollektiv der Station Dachauplatz liefert einen Einblick in die kleinklimatischen Bedingungen der Regensburger Altstadt, die sich signifikant für denen am Standort der Amtlichen Wetterstation unterscheiden. Durchschnittlich 47 Sommertagen an der Wetterdienststation stehen 96 Tage mit Maxima über 25°C gegenüber, bei den heißen Tagen (Maxima >30°C) ist das Verhältnis Amtlicher Wetterstation und Dachauplatz sogar 9 Tage zu 45 Tage. Negative Temperaturen sind am Dachauplatz ebenfalls deutlich seltener, hier werden durchschnittlich 67 Tage mit Werten unter dem Gefrierpunkt gemessen, an der Wetterdienststation sind es im Mittel immerhin 99 Frosttage. Die Wetterstation Dachauplatz liefert auch Informationen zum Windvektor, von dem die stadtklimatisch interessante Komponente der Windrichtung

ausgewertet wurde. Die Windrosen zeigen zu allen Jahreszeiten in der Tag-Nacht-Statistik deutliche Unterschiede, was für die Existenz für örtlich beeinflussten Windsystemen spricht. Die Windrose zeigt vor allem von Frühjahr bis Herbst nachts vermehrt Anströmungen aus nördlichen Richtungen, was als thermisch induzierte Bergwinde aus dem Regental interpretiert wird. Ob auch das Richtungsmaximum tagsüber im Sektor Südost lokale Ursachen hat, bleibt zumindest fraglich, da die dann aufgrund der Thermik stärkere vertikale Durchmischung für andere Phänomene sorgen kann.

4. Auswertung der Datenreihen August und September 2012

Im folgenden wird der Witterungsverlauf im August und September 2012 näher untersucht, da in diesem Zeitraum Temperaturmessungen im Regensburger Stadtgebiet stattgefunden haben. Dazu stehen die Daten verschiedener Klimaelemente von der Amtlichen Wetterstation Regensburg zur Verfügung, und zwar in Form von täglichen Werten.

4.1 Wetterdaten der Amtlichen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes

Im Vordergrund der Auswertung stehen die Messergebnisse der Lufttemperatur. Zunächst werden die Mittel- und Extremwerte der Lufttemperatur vorgestellt, um den zeitlichen Gang der thermischen Rahmenbedingungen zu beschreiben. Die langjährige Monatsmitteltemperatur (Basis 1961-1990) beträgt im August 17,2°C, im September 14,3°C. Aktuell wurden für den August 2012 19,4°C errechnet, womit der Monat um 2,2°C zu warm gewesen ist. Im September 2012 entsprach der aktuelle Mittelwert von 14,2°C fast exakt dem langjährigen Monatsmittelwert von 14,3°C. Die mittleren Temperaturmaxima lagen bei 26,5°C, für die Minima wurde ein Mittelwert von 12,9°C errechnet, woraus eine mittlere Temperaturamplitude von 13,6°C resultiert. Abb. 3a verdeutlicht, dass der August 2012 für Regensburg ein warmer Hochsommermonat war, ohne dass sich eine mehrtägige Hitzeperiode entwickelte. Nur vom 19. bis 22. August stieg die Lufttemperatur täglich über die 30°C Marke. Die Nächte blieben relativ kühl, so dass die tagsüber vorhandene Wärmebelastung sich in der Regel bis in die frühen Morgenstunden entschärfte. Nur die Minima am 21. und 22. lagen mit 18°C relativ hoch. Die ebenfalls eingetragenen Tagesmitteltemperaturen lagen zwischen dem 18. und 25. August durchgehend über 20°C. Die fast den kompletten Monat großen Temperaturamplituden deuten auf überwiegend antizyklonales Wetter hin.

Im September verringert sich die Wahrscheinlichkeit von hochsommerlichen Bedingungen erheblich. Die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer sinkt ab dem 21.09. unter 12 Stunden und auch die Mittagshöhe der Sonne geht deutlich zurück. Dadurch steht weniger Sonnenenergie zur Verfügung als während der klassischen Hochsommermonate Juni bis August. Wie Abb. 3b zeigt, gab es vom 7. bis 11. September dennoch fünf Sommertage am Stück, das war aber das Ende des Sommers 2012. Die mittleren Maxima erreichten im Monatsmittel 20,2°C, die mittleren Minima 8,1°C. Der September 2012 blieb allerdings noch ohne Frühfröste.

Da die nächtliche Abkühlung der Luft maßgeblich von der Temperatur in Bodennähe geprägt wird, wird an Amtlichen Wetterstationen das tägliche Minimum der Lufttemperatur neben der Standardhöhe 2 Meter auch in 5 Zentimeter über dem Erdboden gemessen. Die Daten in den Einzeltagen sind in den Abb. 4a und 4b dargestellt. Die

errechneten Mittelwerte für den Monat August lagen in zwei Meter Höhe bei $12,9^{\circ}\text{C}$, in fünf Zentimeter über dem Erdboden bei $11,7^{\circ}\text{C}$, als Differenz ergibt sich somit $1,2^{\circ}\text{C}$. Ähnliche Verhältnisse gab es auch im September 2012, in zwei Metern wurden $8,1^{\circ}\text{C}$ gemessen, in fünf Zentimetern $6,7^{\circ}\text{C}$. Diese Ergebnisse weisen auf überwiegend stabile Schichtungsbedingungen innerhalb der bodennahen Luftschicht hin, d. h. die kühleren Temperaturen werden in Bodennähe gemessen. Bei austauscharmen Wetterlagen können die Unterschiede wesentlich größer werden. Die in Abb. 5a und 5b dargestellten Ergebnisse für die einzelnen Tage im August und September zeigen jedoch, dass die aufgetretenen Wetterlagen nicht zu besonders stabilen Luftschichten in Bodennähe neigten. Differenzen von mehr als 2°C gab es im August nur in zwei Nächten, im September waren es dann insgesamt vier Nächte, wobei die Nacht zum 25. September mit einer Differenz von 3°C herausragt.

Zumindest mitverantwortlich für diese vergleichsweise geringeren Temperaturunterschiede sind die hohen Werte der relativen Feuchte in beiden Monaten, deren Tagesmittelwerte in den Abb. 6a und 6b eingetragen sind. Die relative Feuchte gibt an, zu wie viel Prozent die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Da das Vermögen der Luft, Wasserdampf zu beinhalten stark temperaturabhängig ist, sind die Daten ohne Temperaturzuordnung nur schwer interpretierbar. 100% relative Luftfeuchte bedeuten, dass die Luft dann mit Wasserdampf gesättigt ist. Eine weitere Wasserdampfung führt dann zur Kondensation des Wasserdampfes, Tauabsatz und Nebelbildung sind die unmittelbaren Folgen.

Die Monatsmittel lagen im August 2012 bei 71,1%, im September 2012 bei 79,6%. Nur an wenigen Tagen im August sank das Tagesmittel der relativen Feuchte unter 60%, so zum Beispiel vom 11. bis 13.08.2012. Im September lagen die Tagesmittelwerte komplett über 70%, an mehr als 10 Tagen sogar über 80%. Damit waren die Voraussetzungen für stadtklimatische Besonderheiten nicht besonders günstig.

Neben der relativen Feuchte ist der Dampfdruck ein wichtiger Parameter für die tatsächliche Luftfeuchtigkeit. Im Gegensatz zur relativen Luftfeuchtigkeit ist der Dampfdruck ein absolutes Feuchtemaß. Der Dampfdruck beschreibt den Partialdruck des Wasserdampfes am Gesamtluftdruck, der sich in erster Linie aus Stickstoff und Sauerstoff zusammensetzt; seine Maßeinheit ist somit Hektopascal (hPa). Grenzwert für den jeweiligen tatsächlichen Dampfdruck ist der temperaturabhängige Sättigungsdampfdruck. Rechnerisch ergibt sich die relative Feuchte aus dem Quotienten von tatsächlichem Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck, multipliziert mit 100%. Das mittlere Tagesmittel des Dampfdruckes betrug an der Wetterstation Regensburg im August 2012 $15,4\text{ hPa}$, im September $12,7\text{ hPa}$. Abbildung 7a zeigt den Tagesmittelwert des aktuellen Dampfdruckes für den Monat August 2012. Eine Periode mit trockeneren Luftmassen gab es vom 11. bis 15. August; Tagesmittelwerte von mehr als 15 hPa deuten

in Verbindung mit hohen Lufttemperaturen auf eine bioklimatisch belastende Wetter-situation hin. Im September (Abb. 7b) führten die niedrigeren Temperaturen auch zu geringeren Werten des aktuellen Dampfdruckes, am 21. und 22.09. lag der Dampfdruck jeweils unter 10 hPa.

Interessanter für die Ausprägung stadtklimatischer Besonderheiten ist die Sonnenscheindauer, denn je mehr solare Strahlung am Wärmehaushalt der bodennahen Luftschicht beteiligt ist, um so unterschiedlicher kann sich das lokale Kleinklima entwickeln. Für den August 2012 wurde eine Sonnenscheindauer von 237 Stunden registriert, während es im langjährigen Durchschnitt (1961-1990) nur 216 Stunden sind. Für September sind es langjährig 165 Stunden, 2012 wurden 170 Stunden gemessen. Heitere oder sogar wolkenlose Tage gab es in beiden Monaten dennoch kaum. Die Tagessummen der Sonnenscheindauer sind für den August in Abb. 8a, für September in Abb. 8b eingetragen. Der 1. August war mit fast 14 Stunden der Tag mit der längsten Sonnenscheindauer, Blöcke mit jeweils mehr als 10 Stunden Sonne gab es dann noch vom 12.8. bis zum 15.8. und vom 18.8. bis zum 23.8.2012. Im September zeigte sich die Sonne nur zwischen dem 7. und 11. länger als 10 Stunden. Insgesamt waren die Bedingungen für die Ausbildung stadtklimatischer Besonderheiten unter Berücksichtigung der Besonnungsverhältnisse eher mäßig.

Diese Aussage wird durch die Auswertung der mittleren Bewölkungsverhältnisse bestätigt (Abb. 9a, 9b). Heiter oder sogar wolkenlos war es im August 2012 nur am 18. und 19.. Nimmt man die Tage mit weniger als 3 Achteln Bedeckungsgrad dazu, steigt die Anzahl auf 7 Tage an. Die Zahlen verdeutlichen, dass Sonne und Bewölkung nicht primär für das zeitweise hohe Temperaturniveau verantwortlich waren, sondern in erster Linie die Zufuhr subtropischer Luftmassen. Ähnliches gilt für den September 2012, dort gab es nur vom 7. bis 9. eine kurze wolkenarme Periode. Weniger als 3 Achtel Bewölkung wurden in diesem Monat an insgesamt 10 Tagen beobachtet, womit die Verhältnisse günstiger waren als im August.

Ein weiteres wesentliches Klimaelement ist der Niederschlag. Im langjährigen Durchschnitt fallen in Regensburg pro Jahr 642mm Niederschlag, im August sind es 72mm, im September 51mm. Im Jahr 2012 lagen die Monatssummen im August bei 76mm, im September bei 35mm. Somit ist das Niederschlagsangebot im August 2012 als normal, im September 2012 hingegen als unterdurchschnittlich zu bezeichnen. Wie Abb. 10a zeigt, fielen im August an zwei Tagen mehr als 10mm Regen, an 16 Tagen war es niederschlagsfrei. Die längste trockene Periode erstreckte sich vom 7. bis 15. August. Im September (Abb. 10b) war es an 19 Tagen niederschlagsfrei, an drei Tagen fielen mehr als 5mm Niederschlag, am meisten mit 7,1mm am 29.09.

Trotz der geschützten Lage im Regental waren die gemessenen Windgeschwindigkeiten relativ hoch. Das Monatsmittel für August 2012 lag bei 2,2m/s, für September 2012 wurde 2,0m/s registriert. Die Tagesmittel der Windgeschwindigkeit sind in Abb. 11a (August 2012) und 11b (September 2012) eingetragen. Windschwache Zeiträume, in denen das Tagesmittel unter 1,5m/s lag, traten in beiden Monaten nicht auf. Der 17.08. war der windärmste Tag im August, an dem das Tagesmittel bei 1,2m/s lag. Das höchste Tagesmittel mit 4,8m/s wurde für den 26. August errechnet. Im September gab es nur geringe Schwankungen bei den Tagesmitteln der Windgeschwindigkeit. Der niedrigste Wert lag am 8.9. bei 1,3m/s, der höchste mit 3,2m/s am 27.9.

Als Extremwertbetrachtung ist die Auswertung der täglichen Windspitzen zu verstehen, die in Abbildung 12a und 12b dargestellt sind. An 10 Tagen im August lag diese Messgröße oberhalb von 10m/s, hingegen gab es nur einen Tag, und zwar den 17.08. mit einer Windspitze von weniger als 5m/s. Im September war es etwas weniger turbulent, an drei Tagen wurde der Schwellenwert von 10m/s überschritten, an drei Tagen lagen die Windspitzen unterhalb von 5m/s.

Die Auswertungen des Windvektors zeigen, dass die beiden Monate selten Flauten aufwiesen. Der normale Tagesgang der Windgeschwindigkeit weist aufgrund der erhöhten Turbulenzen tagsüber die höheren Werte auf, nachts kann es hingegen insbesondere bei austauschwarmen Wetterlagen windschwach werden.

Fazit:

Nachdem im Kapitel 3 die langjährigen Datenreihen im Vordergrund standen, geht es hier um den flächenhaften Vergleich der Messwerte während der Monate August und September 2012, in denen im Regensburger Stadtgebiet Sondermessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte stattfanden. Basis für diese Auswertungen sind die Messergebnisse der Amtlichen Wetterstation, mit denen auch eine Anbindung an die langjährigen Daten möglich ist. Der Vergleich ergab, dass der August 2012 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt um 2,2°C zu warm war, der September fiel hingegen durchschnittlich aus. Somit stellt das Datenkollektiv aus dem August 2012 durchaus eine Situation dar, wie sie in den Folgejahren aufgrund der weiteren globalen Erwärmung zum "Normalfall" hinsichtlich der thermischen Belastung werden kann.

4.2 Temperaturverhältnisse im stadtmeteorologischen Sondermessnetz

Im August und September 2012 wurden im Stadtgebiet von Regensburg umfangreiche Temperaturmessungen durchgeführt. An insgesamt 12 Standorten wurden kontinuierlich Lufttemperatur und Luftfeuchte gemessen. Die Messungen fanden strahlungsgeschützt statt und entsprechen somit den gültigen Normen. Als Messhöhe wurde 2 Meter festgelegt, die Standorte wurden nach stadtklimatischen Kriterien ausgewählt. Die Standorte sind im Fototeil des Anhanges zum Klimagutachten dargestellt. Im folgenden wird zunächst die Lage der Station im Gelände beschrieben.

Der Standort Keilberg repräsentiert die höchsten bebauten Lagen im Regensburger Stadtgebiet. Zum einen sorgt aufgrund der adiabatischen Abkühlung mit der Höhe die topografische Lage für etwas erniedrigte Temperaturverhältnisse, zum anderen liegt der Standort in sommerlichen Strahlungsnächten sehr häufig oberhalb der sich dann ausbildenden Talinversionen. Die Umgebung lässt sich als locker bebaut beschreiben, der Standort selbst befand sich am südlichen Rande des Pfarrgartens in einem Staudenbeet.

Ebenfalls oberhalb der Niederungsbereiche wurde an der Berliner Straße im Stadtteil Wutzlhofen (Standort Wutzlhofen) gemessen. Die Umgebung ist als dicht bebaut zu bezeichnen, dabei überwiegt der Geschosswohnungsbau. Der Standort selbst befand auf dem Gartengrundstück des evangelischen Kindergartens innerhalb einer schmalen Gehölzreihe.

Das Messgerät im Regental wurde im Hausgarten des Grundstücks Sattelbogener Straße 1a installiert, an das sich unmittelbar südlich einige Sportplätze anschließen. Der Standort Regental befindet sich am Siedlungsrand, so dass sich hier das Offenland prägend auf das Kleinklima auswirkt.

Zwei weitere Standorte wurden unmittelbar im Donautal betrieben. Eine Messstation befand sich oberhalb des Stadtgebietes im Stadtteil Oberer Wöhrd an der Staustufe auf dem Rasengelände des dortigen Wasserkraftwerkes (Standort Oberer Wöhrd). Hier dominiert das Freilandklima. Ebenfalls in unmittelbarer Ufernähe wurden die Klimaelemente Temperatur und Luftfeuchte im Bereich Unterer Wöhrd gemessen. Als Standort diente ein mit großen Bäumen bestandener Hausgarten östlich der Nibelungenbrücke.

Um das typische Kleinklima innerhalb eines großen Gewerbegebietes im Donautal zu erfassen, wurde eine Wetterstation auf dem Gelände der Handwerkskammer an der Ditthornstraße betrieben. Der Standort Ditthornstraße befand sich am südlichen Rand einer kleinen Grünfläche, die mit wenigen niedrigen Gehölzen bestanden war. Insgesamt ist der Versiegelungsgrad im direkten Umfeld als hoch zu bezeichnen.

Um die kleinklimatischen Verhältnisse im Hangbereich am Südrand der Stadt zu erfassen, wurde eine Messstation an der Hadamarstraße im Stadtteil Ziegetsdorf installiert, und zwar auf der Grünfläche des dortigen Kindergartens. Der Standort Ziegetsdorf repräsentiert die vorwiegend aufgelockerten Bauungsstrukturen in diesem Stadtteil.

Zwischen der Bahnstrecke Nürnberg-Regensburg und der Donau wurde an der Puricellistraße auf dem Gelände des Pater-Rupert-Mayer-Zentrums eine weitere Messstation eingerichtet. Der Standort Westenviertel ist als repräsentativ für die bebauten Bereiche im Regensburger Westen zu bezeichnen. Das Umfeld ist teilweise gewerblich genutzt, andererseits dient es dem Wohnen in Baublöcken und Reihenhäusern, wobei der Grünflächenanteil auf dem Gelände selbst, aber auch im Umfeld relativ hoch ist.

Weiterer Untersuchungsschwerpunkt für die stadtmeteorologischen Untersuchungen war die Innenstadt von Regensburg. Hier wurden im Stadtpark sowie am Haidplatz jeweils eine Messstation installiert. Im Stadtpark wurde die Grünanlage am Figurentheater ausgewählt, und zwar der Staudengarten nördlich des kleinen Gebäudekomplexes. Der Standort Stadtpark gibt das Kleinklima dieser großen Grünanlage wieder, die teilweise über offene Wiesen verfügt, teilweise aber auch mit großkronigen und somit schattenspendenden Bäumen bestanden ist. Die Ergebnisse sind für die großen innerstädtischen Grünflächen, also auch für den Dörnbergpark repräsentativ. Für den Standort Haidplatz wurde der Innenhof der Volkshochschule ausgewählt. Hier stand das Messgerät in der zweiten Etage auf dem nach Süden exponierten Balkonbereich.

Ein weiterer Standort im dicht bebauten Donautal wurde im Städtischen Kindergarten Lechstraße aufgebaut. Am Standort Konradsiedlung stand das Messgerät im gut durchgrüntem Außenbereich auf der Westseite des Gebäudes in einem Staudenbeet.

Der südlichste Standort befand sich im dörflich geprägten Stadtteil Oberisling; erträgt stadtteilbezogen die Bezeichnung Standort Oberisling. Hier wurde das Messgerät am südlichen Rand der Außenanlagen des dortigen Kindergartens und somit im direkten Übergang zur freien Landschaft installiert.

Für einige meteorologische Parameter standen zusätzlich die Daten der Amtlichen Wetterstation Regensburg und von der Station des Landesamtes für Umwelt zur Verfügung.

Als Basiswert dienen in den meisten meteorologischen Statistiken die Mittelwerte von Messwerten. Die durchschnittliche Monatsmitteltemperatur für den Zeitraum 1961-1990 liegt an der Wetterstation Regensburg für August bei 17,2°C, für September bei 13,7°C. Betrachtet man neuere Zeitreihen, so zeigt sich für den Monat August ein deutlicher Temperaturanstieg, für September hingegen stagniert die Monatsmitteltemperatur. Aus dem Zeitraum 1971-2000 wurden für den August 17,9°C (plus 0,7°C) ermittelt, aus der Periode 1981-2010 18,3°C (plus 1,1°C). Für den August 2012 wurden 19,4°C gemes-

sen; somit trägt dieser Monat in der Klimastatistik das Prädikat "zu warm". Im Vergleich zur amtlichen Messreihe 1961-1990 beträgt der Überschuss $2,2^{\circ}\text{C}$, im Vergleich zur neuesten Messreihe 1981-2010 $1,1^{\circ}\text{C}$.

Mit dem für den August 2012 gemessenen Temperaturmittel von $19,4^{\circ}\text{C}$ rangiert die Wetterdienststation (Standort DWD) auf Platz 10 der insgesamt 14 zur Auswertung zur Verfügung stehenden Standorte, die in Abbildung 13a dargestellt sind. Mit Abstand am wärmsten waren die Innenstadtstandorte am Haidplatz und am Dachauplatz. Für den Standort Haidplatz wurde eine Monatsmitteltemperatur von $22,1^{\circ}\text{C}$, für den Dachauplatz von $21,8^{\circ}\text{C}$ ermittelt. Damit wurden hier höhere Temperaturen als am bundesweit wärmsten Wetterdienststandort Mannheim gemessen, wo die Monatsmitteltemperatur im August 2012 bei $21,2^{\circ}\text{C}$ lag. Hier stieg die Temperatur im August 2012 maximal bis auf $37,5^{\circ}\text{C}$ an. An den meisten übrigen Standorten im Regensburger Stadtgebiet wurden Monatsmittelwerte um 20°C errechnet. Spitzenreiter dieser Standorte ist die Station im Gewerbegebiet Ditthornstraße mit $20,4^{\circ}\text{C}$, es folgen mit jeweils $20,2^{\circ}\text{C}$ die Standorte Wutzlhofen, Oberer Wöhrd und Westenviertel. Gleichauf mit der Wetterdienststation lagen die Standorte Regental und Unterer Wöhrd. Monatsmitteltemperaturen unterhalb der Werte der Wetterdienststation gab es nur an den Standorten Stadtpark und Oberisling.

Bestätigt werden die Ergebnisse aus dem Hochsommermonat August durch die Messwerte aus dem September 2012 (Abb. 13b). Mit $14,2^{\circ}\text{C}$ lag der Wert an der Wetterdienststation leicht über dem langjährigen Durchschnitt, der für den Zeitraum 1961-1990 mit $13,7^{\circ}\text{C}$, für 1981 bis 2010 mit $13,8^{\circ}\text{C}$ errechnet wurde. Mit diesem Wert liegt der Standort auf Rang 11 des Regensburger Messnetzes. Die Überwärmung der Innenstadt fällt im Herbstmonat September etwas schwächer aus als im August, mit $16,6^{\circ}\text{C}$ ist es am Haidplatz $2,4^{\circ}\text{C}$ als an der Amtlichen Wetterstation. An der Rangfolge der übrigen Stationen ändert sich im September 2012 wenig. Mit jeweils $13,8^{\circ}\text{C}$ sind die beiden Offenlandstandorte im Stadtpark und in Oberisling am kühlfsten.

Die beiden nächsten Auswertungen beziehen sich auf die Temperaturmaxima während der warmen Jahreszeit. Um das Prädikat Sommertag zu erhalten, muss die Temperatur auf 25°C und mehr ansteigen. An heißen Tagen müssen Temperaturwerte von 30°C und mehr gemessen werden. Der langjährige Durchschnitt von Sommertagen liegt im August an der Wetterdienststation Regensburg im Zeitraum 1961 bis 1990 bei 11,4 Tagen, im Zeitraum 1991 bis 2010 bei 15,4 Tagen; es sind also vier weitere Tage mit Temperaturen über 25°C hinzugekommen.

Im August 2012 wurden dann an der Wetterdienststation 21 Sommertage registriert, die Messergebnisse für das gesamte Stationsnetz sind in Abb. 14a dargestellt. 21 Sommertage im August 2012 ist nahezu eine Verdopplung im Vergleich zu 30jährigen Mittel

der Jahre 1961 bis 1990. Am Haidplatz wurde an 28 von 31 Tagen die 25°C-Marke erreicht oder überschritten. Nur einen Tag weniger war es am Standort Dachauplatz. Diese Werte unterstreichen die Tatsache, dass die Regensburger Innenstadt im Vergleich zum übrigen Stadtgebiet die meisten sommerlichen Temperaturwerte aufweist. Es folgen die innerhalb stärker verdichteter Gebiete gelegenen Standorte Wutzlhofen und Westenviertel mit jeweils 24 Sommertagen. Jeweils 12 Sommertage gab es im August 2012 an den Standorten Untere Wöhrd, wo sich die schattige Lage und die unmittelbare Nähe zur Donau dämpfend auf die Maxima auswirken, und Ziegetsdorf, wo die Besonnung durch das angrenzende Kindergartengebäude eingeschränkt ist. Im September 2012 (Abb. 14b) ist die regionale Verteilung im Regensburger Stadtgebiet ganz ähnlich, der Jahreszeit entsprechend sind Sommertage aber generell weniger häufig.

Noch stärker als bei den Sommertagen zeigt sich der zu warme Charakter des August 2012 an der Anzahl der Heißen Tage. Der Deutsche Wetterdienst hat für seine Messstation für den Zeitraum 1961 bis 1990 eine mittlere Häufigkeit von nur 2,2 Heißen Tagen ermittelt. Die Auswertung des Zeitraumes 1981 bis 2010 ergab dann bereits durchschnittlich 3,8 Tage. Im August 2012 (Abb. 15a) registrierte die Amtliche Wetterstation fünf Heiße Tage, womit sie den neunten Rang der insgesamt 14 Messstationen belegt. 17 Mal und somit an mehr als jedem zweiten Augusttag wurde der Schwellenwert für Heiße Tage am Standort Haidplatz erreicht bzw. überschritten. Diese hohe Anzahl von Heißen Tagen in der Regensburger Innenstadt wird durch das Ergebnis am Dachauplatz bestätigt. Hier waren es im August 2012 immerhin 15 Heiße Tage. Den Werten der Innenstadt recht nahe kommt der Standort am Pater-Rupert-Mayer-Zentrum im Westen der Stadt mit 13 Heißen Tagen. Alle anderen Standorte weisen weniger als 10 Heiße Tage auf. So wie an der Wetterdienststation liegt die Summe der Heißen Tage an fünf weiteren Stationen im Stadtgebiet bei, die im Detail der Abb. 15a zu entnehmen sind, vier bzw. bei fünf Tagen.

Heiße Tage im Herbstmonat September stellen in Deutschland die Ausnahme dar, die langjährigen Werte für beide Bezugszeiträume liegen bei 0,1 Heißen Tag, demnach wäre etwa alle 10 Jahre mit einem solchen Ereignis zu rechnen. Die Wetterdienststation Regensburg meldete auch für den September 2012 (Abb. 15b) keinen Heißen Tag, das gleiche gilt für acht weitere Standorte im Regensburger Stadtgebiet. Ausnahme ist die Innenstadt, die Standorte Haidplatz und Dachauplatz meldeten jeweils vier Heiße Tage, der Standort im Stadtteil Westenviertel drei Tage mit Maxima über 30°C. Jeweils einmal stieg die Temperatur auch an den Standorten Wutzlhofen und Konradsiedlung über 30°C an. Die exakten Termine sowie die Andauer der Sommertage und der Heißen Tagen erfolgt im Rahmen der Auswertung der Tagesauswertung.

Ein weiterer interessanter Aspekt der regionalen Überwärmung ist die Anzahl der sogenannten Biergartenabende. Sie sind über die zum Termin 21 Uhr MESZ gemessene Lufttemperatur definiert. Liegt sie zu dieser Uhrzeit noch bei oder über 20°C, ist das Kriterium für einen "Biergartentag" erfüllt; die Ergebnisse sind für den August 2012 in Abb. 16a dargestellt. Diese Kenngröße ist für die Wetterdienststation allerdings nicht verfügbar. Vergleichbare Werte dazu sind am Standort Regental zu erwarten. Hier wurden im August 2012 12 warme Abende registriert. Dieselbe Anzahl wurde auch für den Standort Stadtpark ermittelt. Weniger Biergartenabende gab es im Regensburger Stadtgebiet nur noch am Standort Oberisling, hier wurde der Schwellenwert von 20°C nur an sieben Abenden überschritten, was auf eine überdurchschnittlich gute abendliche Abkühlung hinweist. Im Innenhof am Haidplatz lag hingegen die Lufttemperatur an 24 Abenden noch bei oder über 20°C. Dies weist auf eine sehr schlechte Abkühlung in der Innenstadt hin. Die Stationen Dachauplatz und Ditthornstraße meldeten im August 2012 jeweils 20 Biergartentage. Die anderen in bebauten Gebieten gelegenen Standorte kamen auf 15 bis 16 Biergartentage, was auf eine zwar deutlich bessere, aber nicht optimale Abkühlung hinweist. Weniger als 15 Biergartentage gab es neben dem Standort Regental auch in Keilberg, am Standort Untere Wöhrd sowie im Stadtpark. Eine ganz ähnliche räumliche Verteilung weisen die Ergebnisse für September 2012 auf, sie sind in Abb. 16b eingezeichnet. Die bei dieser Kenngröße als Referenzstation dienende Station Regental wies zusammen mit drei weiteren Standorten keine Biergartentage mehr auf. Der Haidplatz mit fünf Ereignissen sowie die Stationen Dachauplatz und Ditthornstraße mit jeweils drei Biergartenabende verdeutlichen die Bereiche mit der größten abendlichen Überwärmung.

Während die Biergartentage die thermischen Verhältnisse während der ersten Nachthälfte beschreiben, tritt das nächtliche Temperaturminimum in der Regel erst kurz vor Sonnenaufgang auf, es charakterisiert das Ende der nächtlichen Abkühlungsphase. Nächte mit Minima oberhalb der 20°C-Marke, die in der angewandten Meteorologie als tropische Nächte bezeichnet werden, waren während des Untersuchungszeitraumes die absolute Ausnahme, sie wurden nur in der Regensburger Innenstadt beobachtet. Als Kriterium für eine schlechte nächtliche Abkühlung wurde stattdessen der Schwellenwert von 15°C verwendet. Lag das Temperaturminimum darüber, wurde die Bezeichnung "milde Nacht" vergeben, die Ergebnisse für den Monat August 2012 verdeutlicht Abb. 17a. Sowohl am Dachauplatz als auch am Haidplatz werden sehr hohe Werte für dieses Kriterium erreicht. Hier sind es 21 bzw. 22 milde Nächte, am Ende der Stationsliste liegen die Standorte Deutscher Wetterdienst und Stadtpark mit jeweils nur neun milden Nächten sowie der Standort Oberisling mit nur fünf Nächten mit Minima über 15°C. Diese für das Bioklima wichtige Kenngröße zeigt im August 2012 große Unterschiede

im Regensburger Stadtgebiet, im Monat September 2012 sind milde Nächte allerdings kein Thema mehr, wie Abbildung 17b zeigt.

Für den Sommer eher untypisch sind nächtliche Minima unterhalb von 10°C , sie werden in der Auswertung als "kühle Nächte" bezeichnet und sind für den August in Abb. 18a eingetragen. So kühl wurde es im Regensburger Stadtgebiet an sechs der 14 Standorte entweder gar nicht oder nur in einer Nacht. Immerhin acht Kühle Nächte wurden für den Standort Oberisling ermittelt, sechs Mal sank die Temperatur an der Wetterdienststation und an der benachbarten Station Regental unter 10°C ab. Im September (Abb. 18b) bieten die längeren Nächte ein erhöhtes Abkühlungspotenzial, wodurch sich im Stadtgebiet eine noch bessere Differenzierung als im August ergibt. Mit Abstand die geringste Anzahl von kühlen Nächten, nämlich nur acht Mal, wurde am Haidplatz registriert. Gemeinsam mit jeweils 12 Fällen rangieren die Standorte Dachauplatz und Ditthornstraße auf dem zweiten Platz, hier sank die Temperatur in 12 Nächten unter 10°C . 20 Kühle Nächte und mehr gab es hingegen an den Standorten Regental, Westenviertel, Stadtpark, Oberisling und Deutscher Wetterdienst, wobei Oberisling mit 24 der 30 Nächte die Rangliste der kühlen Nächte anführt.

Während bisher nur Kennwerte der Lufttemperatur verglichen wurden, stellt die Schwüle eine Kombination von Lufttemperatur und Luftfeuchte dar. Diese wird in der Meteorologie als Äquivalenttemperatur bezeichnet. Da sich der Wärmegehalt der Luft aus fühlbarer Wärme (Lufttemperatur) und latenter Wärme (Luftfeuchte) zusammensetzt, sind die lokalen Unterschiede bei dieser Kenngröße eher gering. Beide werden durch die Sonnenstrahlung initiiert. An Standorten mit geringer Verdunstungsmöglichkeit, d.h. in der Regel höherer Versiegelung stammt die Gesamtenergie in größerem Umfang aus der fühlbaren Energie, Freilandstandorte dämpfen hingegen die Lufttemperatur durch eine höhere Verdunstung. Als Schwellenwert für ein ausgeprägtes Schwüleempfinden wurden 49°C festgelegt. Dieses Kriterium wurde im August 2012 an mindestens 19 und höchstens 24 Tagen überschritten, somit ist die Spannweite erwartungsgemäß relativ klein, wie Abbildung 19a zeigt. Der Freilandstandort Oberisling nimmt Rang 1 ein, dies deutet auf eine hohe Verdunstungsleistung hin. Im September 2012 (Abb. 19b) liegen die Absolutwerte zwischen 7 und 10 Schwületagen, eine regionale Differenzierung erübrigt sich somit.

Eine Verschärfung des Kriteriums auf 55°C (gefühlte sehr schwül) führt im August zu einer etwas größeren Spannweite der Ergebnisse (Abb. 20a). Am Standort Oberisling überschreiten 17 Tage diesen Schwellenwert, am Haidplatz sind es 16 Tage. Die jeweils hohen Werte haben unterschiedliche Ursachen, in der Innenstadt sind primär die hohen Temperaturen dafür verantwortlich, im Außenbereich in erster Linie die hohe Verdunstung. Am Standort Keilberg liegt der Wert nur bei acht Tagen, vermutlich trägt die aufgrund der windoffenen Höhenlage bessere Durchmischung der Luft dazu bei.

Eine Interpretation der Werte für September (Abb. 20b) erübrigt sich wegen des kleinen Datenkollektivs.

Abschließend erfolgt innerhalb der monatsbezogenen Auswertung der Lufttemperatur eine Betrachtung der Andauer von Schwellenwerten. Zur Beurteilung der Wärme- bzw. Hitzebelastung dienen dafür die Überschreitung der 25°C- und der 30°C-Marke, zur Wirksamkeit der nächtlichen Abkühlung wird die Unterschreitung von 10°C genutzt. Die errechneten Häufigkeiten liegen dabei in der Regel unter der Anzahl der Sommer- und Heißen Tage bzw. der Kühlen Nächte, da hierfür ein Momentanwert aus den Datenkollektiven ausreicht.

Für die Grenzwertüberschreitung von 30°C im August 2012 wurde nach Andauerwerten zwischen einer und sechs Stunden sowie mehr als sechs Stunden unterschieden (Abb. 21a). An den Stationen Keilberg, Unterer Wöhrd und Stadtpark gab es im August 2012 jeweils keinen Tag, an dem länger als 6 Stunden die 30°C überschritten wurde, gleichzeitig wurde das Kriterium "ein bis sechs Stunden" nur an drei Tagen erfüllt. Somit ist die zu erwartende Hitzebelastung an diesen Standorten als gering zu bewerten. Ähnlich günstig ist das Ergebnis für den Standort Oberisling, an dem es auch nur drei Tage eine Grenzwertüberschreitung gab, allerdings dauerte die Überschreitung an einem Tag länger als sechs Stunden. Etwas mehr Hitzestress gab es am Standort Wutzlhofen, an sechs Tagen im August wurden hier bis zu sechs Stunden am Stück mehr als 30°C beobachtet, an zwei Tagen dauert der Hitzestress länger als sechs Stunden. Deutlich übertroffen werden diese Werte an den Stationen Westenviertel und Haidplatz. Nachdem der Standort Haidplatz schon bei den Heißen Tagen mit 17 Überschreitungen der 30°C-Marke den Spitzenplatz einnahm, gibt es bei den Andauerwerten ebenfalls die größten Häufigkeiten. An neun Tagen dauerte die Hitze über 30°C, hier ein bis sechs Stunden, an fünf weiteren Tagen wurde der Schwellenwert für mehr als sechs Stunden überschritten.

Die Ergebnisse deuten auf die massive Überwärmung der Regensburger Innenstadt hin, die zentrumsnahen Grünanlagen bieten jedoch erheblich günstigere thermische Bedingungen. Das wird auch durch die Auswertung der Andauerstatistik für Sommertage im August 2012 deutlich, die in Abb. 22a dargestellt ist. Für den Haidplatz wurden 28 Sommertage registriert, das heißt es gab im August 2012 nur drei Tage mit Maxima unter 25°C. An sechs Tagen lag die Dauer von Temperaturen über 25°C bei mehr als 12 Stunden. An elf weiteren Tagen lag die Zeitspanne für die Schwellenwertüberschreitung bei sechs bis zwölf Stunden; sieben Mal beschränkte sich die warme Phase auf weniger als 6 Stunden. Für die übrigen elf Stationen sind die Ergebnisse recht einheitlich. Die jeweils geringsten Beträge in allen drei Andauerklassen wurden an den Standorten Keilberg, Unterer Wöhrd und Stadtpark beobachtet. Im September 2012 (Abb. 22b) waren die Unterschiede für diese Kenngröße im Stadtgebiet gering.

Neben der Überwärmung tagsüber ist die nächtliche Abkühlungsleistung ein weiteres Kriterium für die thermische Situation in Stadtgebieten. Im Hochsommer ist eine nächtliche Abkühlung unter 10°C eher selten. Auch hier ist die Andauer kühler Stunden interessanter als das alleinige Unterschreiten dieses Schwellenwertes, was zum Prädikat einer kühlen Nacht führt. Für den August 2012 (Abb. 23a) ergaben sich bei insgesamt kleinen Datenkollektiven die besten Ergebnisse für die Standorte Regental, Stadtpark und Oberisling. Dort erfüllten jeweils fünf Nächte die erforderlichen Kriterien, wobei am Standort Oberisling in allen Nächten die Kategorie "mehr als vier Stunden" erreicht wurde. Als einziger Standort erfüllte die Station Haidplatz in keiner Augustnacht das Kriterium von mindestens einer Stunde unter 10°C. Der September 2012 (Abb. 23b) lieferte entsprechend der fortgeschrittenen Jahreszeit größere Häufigkeiten. Mit nur fünf Nächten liegt der Standort Haidplatz mit Abstand auf dem letzten Platz. Für alle anderen Stationen bietet die Klasse "mehr als vier Stunden" die größte Häufigkeit. Besonders gute Abkühlungsleistungen können den Standorten Regental, Westenviertel, Stadtpark und Oberisling testiert werden.

Fazit:

Die Auswertung der auf 10-Minuten-Werten basierenden Monatswerte zeigt eine deutliche Überwärmung der Innenstadt. Auch wenn es sich bei den Stationen Haidplatz und Dachauplatz hinsichtlich der Standortfaktoren für die Temperaturmessungen um Extremstandorte handelt, sind deren Ergebnisse für die intensiv besonnten Bereiche der Altstadt als repräsentativ anzusehen. In engeren Straßenschluchten werden die Temperaturmaxima etwas gedämpfter sein, dafür aber bei der nächtlichen Abkühlung noch größere Defizite hinzunehmen sein. Der Stadtpark erweist sich aufgrund seiner Größe und Struktur im Hochsommer als bioklimatischer Gunstraum. Die Gebiete außerhalb der bebauten Bereiche stellen wertvolle Kaltluftentstehungsbereiche dar. Wesentlich dabei ist, diese kühle Luft über geeignete Ventilationsbahnen in Richtung der Wohnbereiche zu transportieren. Die Daten aus den unterschiedlichen Stadtteilen weisen hinsichtlich der sommerlichen Temperaturverhältnisse sehr ähnliche Strukturen auf. Nur im Detail werden größere Unterschiede deutlich. Eine Tendenz zu höheren Temperaturen besteht im Bereich großflächiger Gewerbegebiete, ablesbar an den Daten der Station Ditthornstraße. Die Luftleitbahn des Donautales fungiert nur in eingeschränkter Form als Kaltlufttransportweg. Am Standort Oberer Wöhrd liegen die abendlichen und nächtlichen Temperaturen auf einem relativ hohen Niveau, was unterstützt wird durch die windoffene Lage und das im Spätsommer relativ warme Wasser der Donau. Niedrige Temperaturen werden hingegen am windgeschützten Standort Unterer Wöhrd gemessen, an dem sich die stark durchgrünte Umgebung positiv auf den gemäßigten Tagesgang der Lufttemperatur auswirkt. Das Regental ist hingegen als wichtige Kaltluftleit-

bahn zu erkennen. Am Standort unmittelbar im Talbereich als auch am Standort des Deutschen Wetterdienstes ist eine gute nächtliche Abkühlung zu erkennen.

4.3 Auswertung der meteorologischen Daten am Standort Dachauplatz

Für die beiden Untersuchungsmonate August und September 2012 wurden die vom Standort Dachauplatz zur Verfügung stehenden Temperatur- und Windrichtungsdaten einer Detailauswertung unterzogen. Für die Lufttemperatur wurde aus den Einzelwerten das Tagesmittel sowie die Minima und Maxima errechnet. Die Spannweite zwischen den täglichen Extremwerten gibt zugleich die tägliche Temperaturamplitude wieder. Den Diagrammen kann man darüber hinaus den Witterungsverlauf während der beiden Untersuchungsmonate entnehmen. Der August 2012 (Abb. 24a) war insgesamt durch hochsommerliche Bedingungen geprägt, ohne dass sich eine mehrtägige beständige Hochdruckwetterlage einstellen konnte. Ein wesentliches Indiz dafür ist das "Auf und Ab" der Tagesmitteltemperaturen. Der Höhepunkt des Hochsommers wurde am 20. August erreicht, innerhalb von fünf Tagen stieg die Tagesmitteltemperatur von knapp 20°C auf 28°C an. Das Temperaturmaximum lag am 20. August bei knapp 40°C. Es gab ab dem 17. August sieben heiße Tage am Stück, die Nächte waren insbesondere ab dem 20. August sehr mild. Eine durchgreifende Entspannung der Hitzeperiode gab es erst zum Monatswechsel. Im September (Abb. 24.b) entwickelte sich allerdings schnell eine erneute Hitzeperiode. Am 3. September begann eine neuntägige Periode mit sommerlichen Temperaturen über 25°C, ab dem 8. September stieg die Temperatur vier Tage am Stück über 30°C. Aufgrund der relativ trockenen Luftmasse und der zunehmenden Nachtlänge waren die Nächte ziemlich kühl, so dass sich der Hitzestress in Grenzen hielt. Anschließend stellte sich eine wechselhafte Witterungsperiode mit für die Jahreszeit typischen Lufttemperaturen ein.

Nach den Ergebnissen für die thermische Komponente des Stadtklimas werden nun die Ergebnisse der tageszeitabhängigen Windrichtungsverteilung für die beiden Monate vorgestellt. Die Darstellung erfolgt wie bei der Langzeitauswertung in Form von Windrosen, wobei die Daten nach tagsüber und nachts differenziert werden. Wie schon die Auswertungen der langen Messreihen gezeigt haben, werden die Strömungsverhältnisse an diesem Standort in nennenswertem Umfang durch lokale Besonderheiten geprägt, deren Ursachen bereits diskutiert wurden. Die im Zusammenhang mit der Auswertung der beiden Einzelmonate festgestellten Phänomene ähneln den Ergebnissen der langen Zeitreihen.

Im August 2012 (Abb. 24c) gibt es tagsüber bei einer geringen Anzahl von Windstillen (1,3%) eine breite Verteilung innerhalb der 12teiligen Windrichtungsskala. Die Hauptwindrichtung liegt mit 16,1% im Sektor SSO, der Nachbarsektor Süd ist mit 13,4% an

der Windstatistik beteiligt, so dass der Wind tagsüber in rund 30% der Fälle aus diesen Richtungen weht. Sekundäre Maxima gibt es in den Sektoren Ost (10,5%) und West (9,9%). Besonders selten kommt der Wind aus den Richtungen Nord (3,2%) und NNO (3,0). Vergleicht man dieses Richtungsmuster mit den Ergebnissen für die Nachtstunden, gibt es deutliche Veränderungen. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass vom Betreiber die Häufigkeit der Windstillen mit 33,1% angegeben wird, d.h. in einem Drittel aller Fälle herrscht demnach nachts Flaute. Konsequenterweise resultieren daraus für die meisten Richtungssektoren niedrigere Werte der relativen Häufigkeiten. Es gibt aber auch zwei Sektoren, deren Bedeutung unter diesen Voraussetzungen erheblich zunehmen. Dies passiert an den tagsüber kaum vorhandenen Sektoren Nord und NNO, die nachts gemeinsam auf einen Anteil von 19% an der Windstatistik kommen. Demgegenüber gehen die Werte für die tagsüber mit zusammen 17,5% vertretenen Sektoren Ost und OSO nachts auf 0,8% zurück. Behaupten kann sich trotz der hohen Zahl von Windstillen der Sektor West, der seinen Anteil im Vergleich zu tagsüber um 0,8% steigern kann und nun auf 7,8% kommt. Da die Windrichtung in bezug auf die Tageszeit bekanntlich eine grundsätzlich konservative Messgröße ist, sind hier, wie bereits im Rahmen der Auswertung der langen Zeitreihen beschrieben, lokale Strömungsphänomene an der Windrichtungsstatistik beteiligt. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen: Nachts setzt sich in signifikantem Umfang das Bergwindssystem aus dem Regental über die Donau hinweg durch und ist zumindest im Dachniveau gut nachweisbar. Wie weit das Windsystem fächerartig nach Osten und Westen ausgreift, lässt sich anhand der einen zur Verfügung stehenden Messstation nicht klären. Auch das Donautal ist als Luftleitbahn in ausgeprägter Form erkennbar. Tagsüber stehen die Ostwinde für talaufwärts gerichtete Winde (=Talwinde), nachts sind es in etwa gleicher Häufigkeit talabwärts fließende Luftmassen (=Bergwinde). Bei der Bewertung dieser Phänomene ist stets die Tatsache zu berücksichtigen, dass der Flauteanteil von 33,1% die Nachtstatistik stark beeinflusst.

Ganz ähnlich ist die Windrose im September 2012 (Abb. 24d) strukturiert. Hier liegt der Anteil von Flaute in der Nachtstatistik sogar bei 35,8%. Tagsüber ist erneut der Sektor SSO Hauptwindrichtung, in diesem Monat sogar mit 23,3%. Das sekundäre Häufigkeitsmaximum befindet sich mit 11,4% im Sektor NNO. Nachts werden die benachbarten Sektoren Nord und NNO mit zusammen 25,2% zur dominanten Anströmrichtung. Schlechter ausgeprägt ist die Leitbahn entlang der Donau. Möglicherweise müssen für dieses Phänomen hochsommerliche Temperaturen vorhanden sein. Als Fazit lässt sich festhalten, dass, wie schon in den Windrosen aus dem Gesamtzeitraum erkennbar ist, die nächtliche Zuströmung aus dem Regental das für das Lokalklima der Regensburger Altstadt wichtiges Phänomen ist.

Fazit:

Die Auswertungen der Station Dachauplatz für die beiden Monate der Sonderuntersuchungen bestätigen die Tatsache, dass die Temperaturergebnisse dieser Wetterstation als repräsentativ für die Regensburger Altstadt zu bezeichnen sind, so dass auch zukünftig im Vergleich Amtliche Wetterstation zur Station Dachauplatz die Überwärmung der Regensburger Altstadt dokumentiert wird. Abschließend werden die Windrosen für die beiden Untersuchungsmonate vorgestellt. Sie bestätigen die Aussagen aus den langen Datenreihen, wobei die häufigen Hochdruckwetterlagen während der Nachtstunden zu einem vermehrten Auftreten von Windstillen führten. Der zwischen Tag und Nacht stattfindende Richtungswechsel ist aber trotzdem gut erkennbar, nachts nimmt demnach der Anteil der Luftzufuhr aus nördlichen Richtungen deutlich zu. Eine schlüssige Erklärung für dieses Phänomen sind die sich über die Donau nach Süden durchsetzenden Bergwinde aus dem Regental.

4.4. Auswertung der Daten des Sondermessnetzes

Im folgenden wird der Verlauf der Mittel- und Extremwerte der Lufttemperatur während der Monate August und September für die einzelnen Standorte anhand der Verlaufsdigramme erläutert, dabei steht der Vergleich unter den Stationen im Vordergrund. Die Spannweiten stellen die aus den Momentanmessungen ermittelten Temperaturminima und -maxima dar, die durchgezogene Linie enthält die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur. für das stadtmeteorologische Sondermessnetz basieren die Ergebnisse auf 10-Minuten-Mittelwerten. Für den Standort Dachauplatz, dessen Messergebnisse bereits im Kap. 4.2 vorgestellt wurden, wurde für den August 2012 ein mittleres Temperaturmaximum von 29,7°C (DWD 26,5°C) und ein mittleres Temperaturminimum von 15,5°C (DWD 12,9°C) errechnet, daraus ergibt sich eine Spannweite von 14,2°C (DWD 13,6°C). Die Monatsmitteltemperatur lag bei 21,8°C (DWD 12,9°C).

Für den Standort Keilberg ergaben sich im Vergleich zur Innenstadt für den August 2012 wesentlich moderatere Temperaturwerte (Abb. 25a) . Das mittlere Temperaturmaximum lag hier mit 26,0°C um 3,7°C niedriger. Für das mittlere Minimum von 14,1°C war der Unterschied mit 1,4°C erheblich geringer. Beim Monatsmittel der Lufttemperatur, das am Standort Keilberg zu 19,7°C errechnet wurde, betrug die Differenz zur Station am Dachauplatz 2,1°C. Die relativ milden Nächte am Standort Keilberg sind mit seiner Kuppenlage zu erklären. Die sich während der sommerlichen Strahlungsnächte in den Niederungen ausbildende Temperaturinversion erreicht aufgrund der kurzen Sommernächte in der Regel nicht die Randhöhen. Im Gegensatz zur Innenstadt steigen die Temperaturen aber nicht über 35°C an, am 20. August wird dieser Schwellenwert jedoch nur knapp verfehlt. In den Nächten sanken die Temperaturen hier auch während

der Hitzeperioden unter 20°C ab, erfrischende Temperaturen unter 10°C gab es jedoch nur am Morgen des 12. August.

Trotz der abnehmenden Strahlungsintensität im September blieb im Vergleich der Station Keilberg mit der Station am Dachauplatz die Differenz bei den mittleren Maxima hoch (Abb. 25b). Mit 20,1°C lag dieser Wert um 3,4°C unter dem Wert in der Innenstadt. Heiße Tage wurden am Standort Keilberg im September nicht mehr beobachtet, der wärmste Tag war hier der 11. September mit 28°C. Die nächtliche Abkühlung war in diesem Monat kein Problem, alle Nächte waren kälter als 15°C.

Für den Monatsmittelwert (14,5°C) und das mittlere Temperaturminimum (9,5°C) blieben die Differenzen unverändert.

Der Standort Wutzlhofen im dichtbebauten Umfeld des gleichnamigen Stadtteiles liefert im Vergleich zur Innenstadt deutlich niedrigere Temperaturwerte, diese sind einerseits durch die höhere Lage, andererseits durch die noch vorhandenen Grünanteile zu erklären. Jedoch ist es hier messbar wärmer als am nur 1,5 Kilometer entfernt liegenden Standort des Deutschen Wetterdienstes. Für das Monatsmittel und die mittleren Minima im August 2012 (Abb. 26a) liegen die Temperaturunterschiede bei jeweils 0,8°C, für die mittlere Maxima ist die Differenz mit 1,1°C etwas größer. Am 20. August stieg die Temperatur am Ende der Hitzeperiode auf über 35°C an, insgesamt gab es zu diesem Zeitpunkt fünf Tage am Stück mit Temperaturen jeweils über 30°C. Im September 2012 (Abb. 26b) waren die Temperaturunterschiede zur Innenstadt geringer, lagen aber für die drei Kenngrößen immer noch bei durchschnittlich 1,5°C. Im Vergleich zur Wetterdienststation war es erneut milder, die Monatsmitteltemperatur lag in Wutzlhofen beispielsweise um 0,7°C höher. Nachts sank die Temperatur hier mehrfach unter 5°C, so dass sich das im Vergleich zur Wetterdienststation erhöhte Temperaturniveau nicht ungünstig auf die bioklimatische Situation auswirkte.

Sowohl die Station Regental als auch die Wetterdienststation befinden sich im Stadtteil Sallern und liegen nur wenige 100 Meter voneinander entfernt. Damit befand sich die Stadtklimastation in unmittelbarer Flussnähe, während sich der Wetterdienststandort, östlich der Amberger Straße gelegen, schon leicht erhöht in jedoch stark durchgrünter Umgebung befindet. Die Unterschiede im Temperaturverhalten sind entsprechend gering. Die Monatsmitteltemperatur im August 2012 lag an beiden Standorten bei 19,4°C, im September bei 14,2°C. Die Spannweite der Extremwerte ist im Regental geringfügig kleiner als am DWD-Standort, der Unterschied beträgt im August 2012 0,3°C (Abb. 27a), im September 2012 0,1°C (Abb. 27b). Die nächtliche Abkühlung ist insbesondere während der heißen Tage wesentlich besser als in der Innenstadt, so dass das Regental vermutlich bis zu seiner Mündung in die Donau als Kaltluftleitbahn bezeichnet werden kann. Die Betrachtung der Windrichtungsverhältnisse am Dachau-

platz wird noch darauf hinweisen, dass die Strömung zumindest zeitweilig auch nach Süden über die Donau hinweg nachweisbar ist.

Unerwartet hohe Lufttemperaturen wurden am Standort Oberer Wöhrd gemessen. Hier lagen die für die Monate gemittelten Kenngrößen über den Messergebnissen der DWD-Station. Für den August 2012 (Abb. 28a) wurde eine Monatsmitteltemperatur von 20,2°C gemessen, d.h. der Wert liegt um 0,8°C über der DWD-Station bzw. der Station im Regental. Noch deutlicher ist der Unterschied bei den nächtlichen Minima, für die am Standort Oberer Wöhrd 14,5°C und am DWD-Standort 12,9°C errechnet wurde. Dadurch verringert sich auch die Spannweite zwischen Maximum und Minimum, sie beträgt am DWD-Standort 13,6°C, am Standort Oberer Wöhrd nur 12,5°C.

Als Hauptgrund für die Überwärmung eines typischen Freilandstandortes sind die hohen Wassertemperaturen der Donau zu nennen. Am Pegel Schwabelweis wurden im August 2012 Wassertemperaturen um die 25°C gemessen, wobei ein Tagesgang von bis zu 2°C erkennbar ist. Erst zum Monatsende sanken die Wassertemperaturen auf Werte um 20°C.

Im September 2012 (Abb. 28b) nahm die Überwärmung etwas ab, die mittleren Maxima lagen an beiden Standorten bei 20,8°. Beim Monatsmittel gab es noch Unterschiede von 0,6°C und beim mittleren Minimum von 1,5°C. An diesen Daten wird deutlich, dass das relativ warme Wasser, in der ersten Monatshälfte noch 17° bis 20°C, zum Monatsende allmählich auf unter 15°C sinkend, insbesondere die nächtliche Abkühlung behindert. Somit ist sicher, dass die Luftleitbahn über die Wasserfläche der Donau zumindest im Hochsommer und Herbst keine senkende Wirkung auf die Lufttemperatur in der Innenstadt ausübt.

Weniger stark beeinflusst durch das warme Wasser der Donau zeigt sich der Standort Unterer Wöhrd, der sich östlich der Nibelungenbrücke und südlich der Wöhrdstraße in einem mit alten Bäumen bestandenen Hausgarten befand. Die mittlere Maximumtemperatur für den August 2012 (Abb. 29a) lag bei 26,0°C, d.h. 0,5°C unter dem Wert der DWD-Station. Mit 19,4°C ist die Mitteltemperatur identisch mit dem Ergebnis der DWD-Station, das mittlere Minimum liegt allerdings um 1,2°C über den entsprechenden Daten des Deutschen Wetterdienstes. Der dichte Baumbestand mit der daraus resultierenden hohen Verdunstung dämpft die Maxima, verhindert aber gleichzeitig auch eine stärkere Ausstrahlung während der Abend- und Nachtstunden. Die Hitzeperiode um den 20. August ist im Vergleich zur Innenstadt und auch zur Oberen Wöhrd bei den Maxima um mehr als 2°C abgeschwächt. Die Messergebnisse sind somit typisch für eine parkartige Struktur, wobei die nächtliche Abkühlung wahrscheinlich zusätzlich durch die relativ hohen Temperaturen über dem warmen Donauwasser gestört wird. Für den September 2012 ergibt sich in leicht abgeschwächter Form ein ganz ähnliches Bild (Abb. 29b). Ins-

besondere die positiven Abweichungen bei der mittleren Minimumtemperatur (DWD: 8,1°C; Unterer Wöhrd 9,2°C) bleiben größenordnungsmäßig so markant wie im Vormonat.

Der Standort Ditthornstraße befindet sich innerhalb der industriell oder gewerblichen genutzten Flächen zwischen Donau und Straubinger Straße in der Donauniederung. Die Monatsmitteltemperatur erreicht hier im August 2012 20,4°C (Abb. 30a), womit es hier exakt 1°C wärmer ist als am DWD-Standort. Diese Überwärmung ist in erster Linie das Resultat einer schlechten Abkühlung, wie der Vergleich der Ergebnisse für die mittleren Temperaturminima zeigt. Mit 14,7°C liegen diese um 1,8°C höher als am DWD-Standort. Für die Temperaturmaxima wurden für den Standort Ditthornstraße 26,3°C errechnet, das sind 0,2°C weniger als an der DWD-Station. Verantwortlich für die damit geringere Spannweite von 11,7°C am Standort Ditthornstraße ist die massive dreidimensionale Versiegelung, wobei die Energie tagsüber in den Gebäudekomplexen gespeichert wird und nachts wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Demzufolge gab es im August 2012 nur drei Heiße Tage, aber relativ hohe Minima, so zwei Nächte während der Hitzeperiode von kaum unter 20°C. Ganz ähnlich war das Temperaturverhalten im September 2012 (Abb. 30b). Trotz der jahreszeitbedingten nachlassenden Sonnenenergie lag die Mitteltemperatur wie im Vormonat um 1°C über dem Ergebnis der DWD-Station, die Maxima waren gedämpft und die Minima erhöht. Während der Hitzeperiode im September wurden die 30°C nicht mehr überschritten, die Abkühlung während der Nächte war ausreichend, die 5°C-Marke wurde allerdings nur in zwei Nächten unterschritten.

Die Station Ziegetsdorf befand sich im Südwesten des Regensburger Stadtgebietes, die unmittelbare Umgebung des Kindergartens ist vorwiegend mit gut eingegrüntem Einzelhäusern bebaut, südlich der Ziegetsdorfer Straße dominiert der Geschosswohnungsbau, wobei aufgrund des Alters der Siedlung auch hier ein relativ hoher Durchgrünungsgrad vorhanden ist. Der Vergleich mit der Station des Deutschen Wetterdienstes ergibt im August 2012 (Abb. 31a) einen leicht erhöhten Wert für die Monatsmitteltemperatur (plus 0,4°C). Dabei liegt der Grund für die leichte Überwärmung auch hier bei der im Vergleich zur DWD-Station reduzierten Abkühlung. Mit 14,4°C liegt der Betrag für das mittlere Temperaturminimum im August bei 14,4°C und somit um 1,5°C über dem Wert der DWD-Station. Hingegen sind die mittleren Temperaturmaxima identisch. Dadurch ist auch die Spannweite zwischen den Extremwerten eingeschränkt, und zwar auf 12,1°C (DWD 13,6°C). Die leichte Hanglage trägt zur reduzierten nächtlichen Abkühlung bei, da sie im Sommer selten innerhalb der Talinversion liegt. Eine externe Kaltluftzufuhr zu diesem Standort hin ist ebenfalls nicht zu erwarten. Während der Hitzeperiode Mitte August 2012 wurde auch hier einmal die 35°C Marke überschritten, die nächtliche Abkühlung ist für diesen Zeitraum als noch ausreichend zu bezeichnen. Die thermische

Situation im September 2012 (Abb. 31b) im Vergleich zur DWD-Station entsprach dem Vormonat, das heißt identische Werte für das mittlere Maximum, geringfügig erhöhte Beträge bei der Monatsmitteltemperatur und deutlich positive Abweichungen beim mittleren Temperaturminimum. Somit wurde auch hier die 30°C-Schwelle im September nicht mehr überschritten, an den meisten Tagen lag das Temperaturminimum aber noch oberhalb von 5°C.

Der Standort Westenviertel befand sich südlich der Puricellistraße wenige Höhenmeter oberhalb der Donauniederung. Die Umgebung ist sehr unterschiedlich genutzt, teilweise findet man gewerblich genutzte Grundstücke, teilweise Wohnbebauung vorwiegend in Blockform. Nach Westen schließt sich ein Sportplatz an, unmittelbar südlich der Donau befinden sich mit dem Donaupark und mehreren Sportstätten weitgehend unversiegelte Flächen zur Naherholung. Die Außenanlagen des Pater Rupert Mayer Zentrums sind teilweise durchgrünt, an den Standort selbst schließt sich eine größere versiegelte Parkplatzfläche an. Dies führt zu relativ hohen Temperaturmaxima, die im August 2012 (Abb. 32a) im Vergleich zu den anderen Standorten außerhalb der Kernstadt überdurchschnittlich häufig über der 30°C-Marke lagen. Die mittleren Temperaturmaxima lagen mit 28,1°C um 1,6°C über den Messergebnissen am DWD-Standort und außerdem höher als bei den übrigen Standorten außerhalb der Altstadt. Bei den Temperaturminima war der Temperaturüberschuss zur DWD Stationen mit plus 1,1°C etwas geringer, auch im Vergleich mit den anderen Stadtteil-Stationen ist der Wert von 14,0°C bioklimatisch positiv zu bewerten. Während der Hitzeperiode Mitte August sanken die Temperaturwerte in zwei Nächten nur wenig unter die 20°C-Marke, was bedeutet, dass es bei mehrtägigen Wärmeperioden allmählich zu einer Aufheizung kommt. Die Tendenz zu hohen Temperaturmaxima setzte sich auch im September 2012 (Abb. 32b) fort, die Temperaturen stiegen noch zweimal über 30°C, an zwei weiteren Tagen lagen sie knapp darunter. Mit 22,2°C lag die mittlere Maximumtemperatur wie im August vergleichsweise hoch, die Minima mit 9,0°C vergleichsweise niedrig. Die daraus resultierende große Amplitude zwischen Tag und Nacht macht deutlich, dass Wärmespeicherung in Gebäudemassen hier eine untergeordnete Rolle spielt.

Eine Sonderstellung nimmt der Standort Stadtpark ein, hiermit wird untersucht, in welchem Umfang die innenstadtnahen Grünflächen über eine bioklimatische Ausgleichsfunktion verfügen. Diese Frage kann für die Flächen des innerstädtischen Grüngürtels eindeutig mit einem "JA" beantwortet werden, die häufig dichte Randbebauung lässt allerdings kaum eine Fernwirkung in die angrenzenden Altstadtbereiche erwarten. Mit einer Monatsmitteltemperatur für August 2012 (Abb. 33a) von 19,1°C wurde ein sehr niedriger Wert im stadtklimatologischen Sondermessnetz ermittelt, der nur von der Station Oberisling geringfügig unterboten wurde. Für das mittlere Temperaturmaximum wurde jedoch der mit Abstand niedrigste Wert im Regensburger Stadtgebiet gemessen.

Das unterstreicht die thermische Ausgleichsleistung der Stadtparkanlagen während der heißen Stunden des Tages. Die Mischung aus großkronigen und somit schattenspendenden Bäumen und offenen Wiesen- und Staudenflächen, die, falls notwendig, auch künstlich bewässert werden, sorgt für eine hohe Verdunstung und somit zur Reduzierung der fühlbaren Wärme in der Luft. Die tagsüber mit latenter Wärme angereicherte Luft sorgt nachts für einen leicht gedämpften Rückgang der Temperaturen, gegebenenfalls verbunden mit einer leicht verstärkten Taubildung. Trotzdem sind die im August 2012 für das mittlere Minimum gemessenen $13,5^{\circ}\text{C}$ im gesamten Stationsnetz ein sehr guter Wert, der nur von den Stationen Regental und DWD unterboten wird. Auch am 20. August, dem heißesten Tag des Jahres 2012, blieb die Lufttemperatur unter 35°C . Auch das Datenkollektiv aus dem Folgemonat September 2012 (Abb. 33b) bestätigt die für den August gemachten Aussagen in jeder Hinsicht. Die Maxima blieben im Gegensatz zu den meisten anderen Stationen deutlich unter 30°C , bei den Minima blieb der Trend zu leicht erhöhten Werten erhalten.

Über einen thermisch völlig anderen Charakter verfügt der fußläufig kaum zehn Minuten entfernte Standort Haidplatz. Die Innenhofsituation und der Standort im südexponierten zweiten Obergeschoss unterstützten im August 2012 (Abb. 34a) extrem hohe Lufttemperaturen, wobei die eingesetzte Messtechnik einen Strahlungsfehler weitestgehend ausschließt, was auch durch die nachts ebenfalls sehr hohen Temperaturen bestätigt wird. Beim mittleren Maximum im August wurde der Wert der DWD-Station um $3,6^{\circ}\text{C}$ übertroffen, die Differenz zur benachbarten Station Stadtpark betrug für diese Kenngröße sogar $4,1^{\circ}\text{C}$. Ein solcher Unterschied wird ansonsten bundesweit nur im Vergleich Flachlandstation-Bergstation erreicht, so z. B. in Nordrhein-Westfalen zwischen der 160m hoch gelegenen Station Bad Lippspringe und der auf 840m gelegenen Bergstation Kahler Asten im Sauerland. Die Differenz zum Standort DWD beim mittleren Temperaturminimum ist mit $3,4^{\circ}\text{C}$ auch gewaltig. Allein am Haidplatz gab es zwei der im Jahr 2012 selten beobachteten Tropennächte, was bedeutet, dass die Temperatur nicht unter 20°C fällt. Vom 20. August bis zum 24. August sank die Temperatur an diesem Standort nicht unter 19°C . Ähnliche Werte dürften in weiten Teilen der Regensburger Altstadt aufgetreten sein, in mancher Häuserschlucht war es vermutlich noch wärmer. Solch hohe Überwärmungen beschränken sich auf die heißesten Tage im Jahr. Im September 2012 (Abb. 34b) wurden am Haidplatz zwar weiterhin große Temperaturüberschüsse im Vergleich zu den anderen im Regensburger Stadtgebiet installierten Wetterstationen gemessen, aber nicht ganz in der Dimension des Vormonats.

Deutlich gemäßigter waren die thermischen Verhältnisse am Standort Konradsiedlung an der Lechstraße. Nach Westen schließt sich der Hans-Hermann-Park an, ansonsten ist das Umfeld durch Wohnbebauung, vorzugsweise in mehrgeschossiger Blockform sowie Schulen und gewerbliche Nutzungen relativ dicht versiegelt. Die erzielten Mess-

werte ähneln sehr den Ergebnissen der Stationen Wutzlhofen und Ziegetsdorf; sie liegen somit über den Werten der DWD Station. Für die Monatsmitteltemperatur im August 2012 (Abb. 35a) wurden $20,0^{\circ}\text{C}$ errechnet, für das mittlere Maximum ergaben sich $27,4^{\circ}\text{C}$, für das mittlere Minimum $14,2^{\circ}\text{C}$; daraus errechnet sich eine Spannweite von $13,2^{\circ}\text{C}$. Dies deutet auf insgesamt sehr ähnliche Temperaturverhältnisse in den bebauten Außenbezirken von Regensburg hin. Die 35°C -Marke wurde nur am 20. August überschritten, auch die Abkühlungsleistung während der Hitzeperiode ist als zufriedenstellend zu bezeichnen. Im September 2012 (Abb. 35b) änderte sich im Vergleich zu den im August beschriebenen thermischen Bedingungen wenig. Die Monatsmitteltemperatur lag bei $14,8^{\circ}\text{C}$ und somit um $0,6^{\circ}\text{C}$ über der Wetterdienststation. Die aufgrund der benachbarten Bebauungsstruktur schlechtere Abkühlungsleistung äußert sich in einer Abweichung von $1,3^{\circ}\text{C}$ zur DWD Station. Minima unter 5°C waren aus diesen Gründen selten, eine milde Nacht wurde im September am Morgen des 3. verzeichnet. Am 11. September stieg die Temperatur einmalig in diesem Monat über 30°C .

Der Standort Oberisling befand sich ganz im Süden des Stadtgebietes im Außenbereich des Städtischen Kindergartens an der Rauberstraße. Das Messgerät war am südlichen Rand des Geländes installiert, also mit unmittelbarem Kontakt zum Talraum des Islinger Mühlbaches. Die Geländesituation lässt vermuten, dass dieser Standort vorwiegend Offenlandcharakter hat. Somit sind große Tagesgänge der Lufttemperatur wahrscheinlich und die Minima sollten relativ niedrig liegen. In der Tat wurden für diesen Standort die niedrigsten mittleren Minima im Regensburger Messnetz gemessen, mit $12,0^{\circ}\text{C}$ war das mittlere Minimum hier im August 2012 (Abb. 36a) fast 1°C niedriger als an der Wetterdienststation. Für die Monatsmitteltemperatur wurde ebenfalls der niedrigste Wert bestimmt, dieser lag mit $19,0^{\circ}\text{C}$ um $0,4^{\circ}\text{C}$ unter dem DWD-Wert. Nur beim mittleren Maximum belegte die Station Oberisling mit $26,8^{\circ}\text{C}$ nicht Platz 1. Niedrigere Werte wurden im Stadtpark ($26,0^{\circ}\text{C}$) und an der Wetterdienststation mit $26,5^{\circ}\text{C}$ gemessen. In sonnigen Offenlandlagen werden häufig höhere Maximumtemperaturen gemessen als in schattigen Parkanlagen oder in Siedlungsrandbereichen. Die Komponente der Wärmespeicherung im Wärmehaushalt der bodennahen Luftschicht ist im Offenland gar nicht oder nur in sehr geringem Umfang vorhanden. Dadurch stehen für den Abtransport der Strahlungsenergie überwiegend nur die Ströme fühlbarer und latenter Wärme zur Verfügung, in abgeschwächter Form auch die Wärmeleitung in den Boden. Die fühlbare Wärme erwärmt die Luft dadurch schnell und nachhaltig. Andererseits kühlt die Luft bei negativer Strahlungsbilanz rasch ab, woraus sich einer hoher Tagesgang der Lufttemperatur ableiten lässt. Die gemessene mittlere Spannweite zwischen Maximum und Minimum ist mit $14,8^{\circ}\text{C}$ am Standort Oberisling die mit Abstand höchste im Regensburger Stadtgebiet. Daher liegt das Maximum am 20. August auch über 35°C und die 30°C wird mehrfach überschritten, Überwärmungen während der Nachtstunden

sind hier dagegen weitgehend unbekannt. Als gutes Beispiel dafür dient der 12. August. An diesem Morgen kühlte es sich am Standort Oberisling unter 5°C ab, gleichzeitig verharnte das Minimum in der Innenstadt bei mehr als 11°C . Im September 2012 (Abb. 36b) waren die Unterschiede zu den Messwerten der anderen Regensburger Standorte etwas geringer. Für das mittlere Minimum wurde mit $7,4^{\circ}\text{C}$ aber wie im Vormonat der niedrigste Wert des gesamten Messnetzes errechnet.

5. Ausgewählte Tagesgänge der Temperatur im Regensburger Stadtgebiet

Anhand der stationsbezogenen Temperatúrauswertungen wird die thermische Struktur im Regensburger Stadtgebiet für sommerliche und frühherbstliche Wettersituationen verdeutlicht. Der Gesamtwärmegehalt der Luft lässt sich anhand der Äquivalenttemperatur beurteilen; hier wird neben der Lufttemperatur zusätzlich der Feuchtegehalt mitberücksichtigt. Bei warmem Wetter ist die Schwülegrenze und probates Mittel, die bioklimatische Situation zu beurteilen.

Die Auswertung ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass sich während des Untersuchungszeitraumes keine markanten und vor allem keine mehrtägige Hitzeperioden entwickelten, wie sie in einigen Sommern der letzten Jahre typisch waren, zu nennen ist in diesem Zusammenhang das Rekordjahr 2003.

5.1. Ergebnisse für den Zeitraum 18. bis 22. August 2012

Für den August 2012 wurde mit der fünftägigen Periode vom 18. bis zum 22.08. der einzige Mehrtageszeitraum ausgewählt, während der sich in Regensburg hochsommerliche Bedingungen ausbildeten. In den Verlaufsdiagrammen werden jeweils die Ergebnisse von vier der insgesamt zwölf Messstationen miteinander verglichen. Dabei wird die Station Regental als Referenzstation genutzt, da ihre Temperaturdaten weitgehend mit der nahegelegenen Wetterdienststation identisch sind.

Zunächst werden die Ergebnisse der Standorte Keilberg, Haidplatz und Oberisling mit der Referenzstation Regental verglichen, um die maximalen Unterschiede im Stadtgebiet zu verdeutlichen (Abb. 37a). Um einen quantifizierbaren Eindruck der thermischen Unterschiede zu bekommen, wurden jeweils zusätzlich zum Kurvenverlauf die Mittelwerte für den fünftägigen Zeitraum errechnet, für die Station Regental liegt dieser Betrag bei 23,0°C. Um 0,6°C kühler war es am dem Offenlandklima zugeordneten Standort Oberisling. Der Kuppenstandort Keilberg war mit 24,2°C um 1,2°C wärmer als die Referenzstation, mit 26,2°C lag die Temperatur am Haidplatz um 3,2°C über dem Ergebnis aus dem Regental. Die drei Tage mit den besten Rahmenbedingungen für große lokale thermische Unterschiede waren der 18. bis 20. August.

Kurz nach 6 Uhr MESZ (alle Zeiten in Mitteleuropäischer Sommerzeit) wurde in der Regel an allen Standorten das morgendliche Temperaturminimum gemessen. Am Morgen des 18. August sinkt die Temperatur am Standort Keilberg zwischen Mitternacht und 6 Uhr im Vergleich zu den anderen drei Standorten am stärksten ab. In dieser Phase wird die Kurve vom Haidplatz "überholt", so dass es an diesem Morgen in der Kuppenlage kühler war als in der Innenstadt. Der langsame Temperaturrückgang am Haidplatz hat seinen Hauptgrund in der Wärmeabgabe der Fassadenkörper, die einerseits in Form

von langweiliger Wärmeabgabe und in geringerem Umfang durch Wärmeleitung stattfindet.

Am Standort Regental ist es um Mitternacht etwa 5°C kälter als an den beiden bereits genannten Standorten, für Oberisling wurden noch 2°C weniger gemessen. Der während der zweiten Nachthälfte relativ flache Kurvenverlauf an diesen beiden Standorten ist sehr typisch für Freilandstationen, da hier zu dieser Zeit in der Regel bereits Taubildung eingesetzt hat, wodurch die weitere Abkühlung durch die Freisetzung von Kondensationswärme gedämpft wird. Die Erwärmungsphase setzt abrupt etwa zwei Stunden nach Sonnenaufgang ein. Für einen kurzen Zeitraum erreichen die Temperaturen der Freilandstationen das Niveau vom Haidplatz, aber noch am Vormittag steigen die Temperaturen schnell über die Werte der anderen Stationen an. Das Maximum liegt bei ca. 34°C. Die Höchsttemperaturen der übrigen drei Stationen liegen unter 30°C, das kleinste Maximum wird am Standort Keilberg erreicht. Trotz intensiver Besonnung macht sich hier die Höhenlage bemerkbar, dies sind insbesondere die luftdruckbedingte Abkühlung von etwa 1°C pro 100 Meter Höhenzunahme, vermutlich zusätzlich auch die bessere Durchmischung der Atmosphäre in der windoffenen Kuppenlage.

Kurz nach 18 Uhr wird am Standort Haidplatz die 30°C-Marke unterschritten, gegen 22 Uhr liegt die Temperatur hier noch bei 25°C, gegen 1 Uhr bei 20°C. Ab 20 Uhr geht die Abkühlungsleistung am Standort Keilberg deutlich zurück, gegen Mitternacht ist es hier wärmer als in der Regensburger Innenstadt. Dann verstärkt sich der Temperaturabfall für ca. eine Stunde, vermutlich herrscht während dieser Periode Windstille. In der nächsten Stunde steigt die Temperatur vorübergehend leicht an, vermutlich aufgrund der Durchmischung mit Luft aus größeren Höhen, danach sinkt die Temperatur relativ ungestört ab und erreicht gegen 6 Uhr etwa das Niveau der Station am Haidplatz. Wesentlich intensiver verlief der Abkühlungsprozess an den Standorten Oberisling und Regental. Im Regental dauert die ungestörte Abkühlung bis gegen 7 Uhr an, dann wird mit 13°C das Minimum erreicht. Noch steiler verlief der Abkühlungsprozess in Oberisling, bereits gegen 20 Uhr wurden 20°C unterschritten, kurz vor Mitternacht dann 15°C. Danach wird die Kurve flacher, vermutlich hat Taubildung eingesetzt. Die Gründe für die kurze Störung im Abkühlungsprozess kurz vor 6 Uhr lassen sich nicht sicher klären. Entweder hat leicht auflebender Wind (möglicherweise ein lokaler Bergwind im Islinger Mühlbachtal) oder einsetzende Bodennebelbildung die vorübergehende leichte Erwärmung ausgelöst, die in dieser Form im Regental nicht beobachtet wurde.

Am 19. August entsprechen die Temperaturtagesgänge weitgehend dem Vortag, wobei sich alles auf etwas höherem Niveau abspielte. Das Temperaturmaximum am Standort Haidplatz überschreitet an diesem Tag die 35°C-Marke, an den anderen drei Standorten liegen die Temperaturmaxima knapp über 30°C. Auch am 20. August ändert sich zunächst wenig, die Werte der Temperaturmaxima steigen weiter an. Am Haidplatz sind

es fast 40°C, nur am Standort Keilberg bleibt das Maximum knapp unter 35°C. Das Abkühlungsverhalten ist gestört, es gibt nicht wie in den Vornächten die charakteristischen Merkmale einer Strahlungswetterlage, vielmehr gibt es Wolken, Niederschlag und auffrischenden Wind. Die Temperaturen lagen um Mitternacht noch überall über 25°C, die Indizien lassen eine tropische Nacht mit Minima oberhalb von 20°C erwarten. Doch gegen 2 Uhr geht die Temperatur schlagartig um 5 bis 7°C zurück und sinkt mit Ausnahme des Standortes Haidplatz doch noch unter 20°C ab. Vermutlich wurde dieses Ereignis durch einen Regenschauer ausgelöst, die Niederschlagsdaten legen die Vermutung nahe. Zwischen 3 Uhr und 7 Uhr bleiben die Temperaturen fast konstant, was für einen bedeckten Himmel spricht, der Überwärmung der Innenstadt von etwa 4°C blieb erhalten, mit ganz leichtem Vorsprung wurde in dieser Nacht am Standort Keilberg die niedrigste Temperatur gemessen. Während der letzten beiden Tage des Auswahlzeitraumes blieb es heiß und schwül. Am relativ besten war die nächtliche Abkühlung am Standort Oberisling ausgeprägt, im Regental wurde es in der Nacht nicht viel kühler als an den Standorten Keilberg und Haidplatz, erst gegen Sonnenaufgang sank dann die Temperatur hier doch noch unter 20°C, am Haidplatz wurde die zweite tropische Nacht in Folge registriert.

Ergänzend wird neben der Lufttemperatur auch die Äquivalenttemperatur (Abb. 37b) ausgewertet, die den Gesamtwärmegehalt der Luft, das heißt fühlbare und latente Wärme, enthält. Während der ersten drei Nächte ist auch bei dieser Kenngröße das von der Temperatur bekannte Verteilungsmuster gegeben, die niedrigsten Werte in Oberisling gefolgt vom Standort Regental, deutlich höhere Werte an den Standorten Keilberg und Haidplatz. Bei den Maxima fällt auf, dass der Standort Haidplatz keine besonders hohen Werte aufweist. Hier steht der Standort Oberisling auf Platz eins und der Grund dafür ist die latente Wärme, die durch die Pflanzenverdunstung zustande kommt. Nachts erreichen die beiden Freilandstandorte die mit Abstand bioklimatisch günstigsten Werte. Während der ersten drei Nächte wird von allen Standorten die Schwülegrenze deutlich unterschritten, wobei es deutliche Unterschiede im Niveau der Unterschreitung gibt. Die Niederschläge in der Nacht vom 20. zum 21. August erhöhen den Feuchtegehalt der Luft beträchtlich, der hohe Bedeckungsgrad verhindert eine stärkere Ausstrahlung, so dass es über das Stadtgebiet von Regensburg hinausgehend flächendeckend bioklimatisch ungünstige Bedingungen gibt, die sich in einem Überschreiten der Schwülegrenze bis weit nach Mitternacht äußern. An diesen Ergebnissen wird deutlich, dass kleinklimatische Gunsträume bei großräumig vorhandener bioklimatischer Belastung nur sehr begrenzt in der Lage sind, solche Überwärmungen auszugleichen.

In der folgenden Abbildung (Abb. 37c) werden die Ergebnisse für den Offenlandstandort Regental mit drei Siedlungsräumen im Regensburger Stadtgebiet verglichen. Die Mittel der Lufttemperatur variieren an diesen drei Standorten nur zwischen 23,8°C (Ziegets-

dorf) und 24,2°C (Westenviertel), am Standort Regental wurden bekanntlich 23,0°C gemessen. An den klassischen Strahlungstagen zwischen dem 18. und 20.08. traten dennoch im Tagesgang der Lufttemperatur messbare Unterschiede auf. Die Abkühlung am Morgen des 18. August verlief an allen Stationen ungestört, was auch für die Erwärmung während der Vormittagsstunden gilt. Erst zum Nachmittag entwickelt sich die Station Westenviertel zum wärmsten Standort, die angrenzende Parkplatzfläche gibt zusätzliche Wärme an die Luft ab. Am Standort Ziegetsdorf setzt dann die Abkühlung am frühesten ein. An den beiden nächsten Morgen gerät die Abkühlung am Standort Ziegetsdorf aus dem Takt, am 19. August gibt es einen Warmlufteinschub, am 20. August zwei. In ähnlicher, aber etwas abgeschwächter Form ist dieses Phänomen in diesen Nächten auch am Kuppenstandort Keilberg erkennbar, in der Nacht zum 20.08 andeutungsweise auch am Standort Wutzlhofen. Ursache für diese Phänomene dürfte auflebender Wind aus der Oberströmung sein, gegebenenfalls an der Obergrenze der nächtlichen Inversion. In den Tallagen, unabhängig ob Außenbereich (Regental), innerstädtische Grünfläche (Stadtpark), Vorortbebauung (Westenviertel) oder Innenstadt (Haidplatz) sind diese Anomalien nicht zu sehen. Unerwartet gute Abkühlungsleistungen und daraus resultierend niedrige Minima werden am Standort Wutzlhofen gemessen. Hier wirken sich mit hoher Wahrscheinlichkeit abendliche Hangabwinde und nächtliche Bergwinde von den sich nach Norden anschließenden Offenlandbereichen positiv aus. Auch im Westenviertel kühlt es sich während der Strahlungsnächte relativ gut ab, dieses Stadtquartier befindet sich innerhalb der dann windschwachen Bodeninversion der Donauniederung. Die Erwärmungsphasen verlaufen an den hier betrachteten Standorten weitgehend gleichartig, jeweils mit den höchsten Maxima am Standort Pater Rupert Mayer Zentrum (Westenviertel), die an den Messstandort angrenzende große versiegelte Fläche und die ungehinderte Besonnung sind für dieses Verhalten zumindest mitverantwortlich. Tropische Nächte wurden auch während der sich an die Strahlungstage anschließenden schwülwarmen Periode an keinem der vier Standorte registriert, in der Nacht vom 20. zum 21. August sank die Temperatur auch hier erst nach Mitternacht unter 25°C, in der Folgenacht kühlte die Luft an allen vier Standorten erst zum Ende der Nacht für etwa eine Stunde unter 20°C ab.

Im Verlauf zeigen die Äquivalenttemperaturen an allen fünf Tagen stationsübergreifend große Ähnlichkeiten (Abb. 37d). Während der ersten drei Nächte gab es überall gute Abkühlungsbedingungen, wie bei der Lufttemperatur erweist sich der Hofstandort am Kindergarten Ziegetsdorf in den Strahlungsnächten nachts als relativ mild, während der schwülwarmen Tage zum Ende der Pentade verwischen sich die Unterschiede weitgehend, die vorherrschende, bioklimatisch ungünstige Luftmasse wirkt sich an allen Standorten ganztägig mit Äquivalenttemperaturen oberhalb der Schwülegrenze aus.

Das folgende Diagramm (Abb. 37e) enthält vier Stationen in Tallage, drei von Ihnen in geringer Entfernung zum Flusslauf der Donau. Am Standort Oberer Wöhrd wird mit $24,0^{\circ}\text{C}$ ein relativ hoher Mittelwert gemessen, für den einige Flusskilometer donauabwärts gelegenen Standort Unterer Wöhrd werden nur $22,9^{\circ}\text{C}$ errechnet. Der wärmste Standort dieser Vergleichsreihe liegt im Gewerbegebiet Hohes Kreuz (Ditthornstraße), wo sich für die Zeitreihe ein Mittelwert von $24,3^{\circ}\text{C}$ ergibt. Während der Strahlungswetterlage zu Beginn des ausgewählten Zeitraumes weisen alle Stationen ungestörte Tagesgänge der Lufttemperatur aus. Für die drei Strahlungsnächte verfügen die Stationen über ein sehr einheitliches Temperaturmuster. Jeweils etwa ab Sonnenuntergang liegt die Temperatur im Regental am niedrigsten. Der Abstand zu den übrigen Stationen wächst bis zum Minimum am frühen Morgen leicht an, er ist in der Nacht zum 20.08. am größten. Dies ist höchstwahrscheinlich der Tatsache geschuldet, dass sich die Luft in den bebauten Bereichen in Folge der starken Sonneneinstrahlung und der damit in Verbindung stehenden positiven Strahlungsbilanz Tag für Tag etwas mehr aufheizt. Die im Vergleich zum Standort Unterer Wöhrd am Stauwehr Oberer Wöhrd höheren Temperaturwerte werden mit dem warmen Wasser der Donau in Verbindung gebracht, der Standort ist mehr oder weniger rundherum von Donauwasser umgeben. Am Gewerbebestandort Ditthornstraße war die nächtliche Abkühlung vergleichsweise schlecht, in den Strahlungsnächten erreichte die Überwärmung im Vergleich zum Standort Regental bis zu 4°C , bei den Maxima waren die Werte eher unauffällig. Sehr unruhig und gleichzeitig schleppend verlief die Abkühlung am Abend des 20. August. Dieses Phänomen ist an den Freilandstandorten im Donautal am stärksten entwickelt, wie es aussieht, wurde die Abkühlung mehrfach durch Wind gestört und die bodennahe kühlere Luft mit der darüber befindlichen wärmeren Luft vermischt. Ab etwa 2 Uhr sind die lokalen Unterschiede verschwunden, die zweite Nachthälfte war durch Wind und zeitweiligen Regen gekennzeichnet, so dass sich kein Lokalklima entwickeln konnte. Der einstrahlungsbedingte, aber durch Bewölkung gestörte Temperaturanstieg an den letzten beiden Tagen zeigt im Ansatz dieselben Phänomene wie an den klassischen Strahlungstagen zu Beginn, die sensibel auf Störungen wie Bewölkung und Wind reagierende Nachtphase ergab hingegen nur geringe Temperaturunterschiede.

Anhand der Äquivalenttemperatur (Abb. 37f) wird deutlich, dass das Kleinklima am Standort Oberer Wöhrd durch die starke Verdunstung der offenen Wasserflächen beeinflusst wird. Der Mittelwert weist mit $51,8^{\circ}\text{C}$ nach dem Haidplatz ($52,3^{\circ}\text{C}$) den höchsten Betrag im Regensburger Messnetz auf. Am Kurvenverlauf wird deutlich, dass die "rote Linie" die meiste Zeit über den anderen eingetragenen Tagesgänge liegt. Insgesamt sind die Unterschiede innerhalb des ausgewählten Datenkollektivs gering, was aufgrund der ähnlichen Lage auch nicht ungewöhnlich ist.

In den letzten beiden Abbildungen für diese Datenreihe steht der Vergleich der Datenreihen der Standorte Haidplatz und Stadtpark im Vordergrund. Ebenfalls enthalten sind die Daten der Referenzstation Regental sowie vom Standort Lechstraße (Konradsiedlung). Abb. 37g enthält die Ergebnisse für die Lufttemperatur. Für den Standort Haidplatz wurde mit 26,2°C der höchste Mittelwert für den Untersuchungsraum ermittelt, am Stadtpark, der nur 800 Meter entfernt liegt, war es mit 22,5°C um 3,7°C kälter. Dazwischen reihen sich die Referenzstation Regental und der Standort Konradsiedlung mit 23,6°C ein.

Der Kurvenverlauf für die Station Haidplatz wurde bereits im Zusammenhang mit dem Stationskollektiv Regental/Keilberg/Haidplatz/Oberisling erläutert. Auch im aktuellen Stationsvergleich ist der Standort Haidplatz der mit Abstand wärmste, was sowohl für die Maxima als auch für die Minima gilt. Während der Nachtstunden verlaufen die beiden Temperaturkurven der Standorte Stadtpark und Regental ganz ähnlich. Nach dem heißen Tag am 19.8. ist die Abkühlung im Stadtpark etwas geringer als im Regental. Hieran merkt man, dass die Abkühlungsleistung im Stadtpark weitestgehend von der Kaltluftproduktion vor Ort angewiesen ist, im Regental jedoch in Strahlungsnächten ein ausgeprägter Bergwind für einen zusätzlichen Herantransport von kühler Offenlandluft sorgt. Auch am Standort Konradsiedlung ist die Abkühlungsleistung während der Strahlungsnächte sehr gut. Die Inversionsbildung im Donautal erfasst auch diesen Siedlungsbereich, unterstützt wird der gute Temperaturrückgang mit hoher Wahrscheinlichkeit auch durch den benachbarten Hans-Hermann-Park. Die Erwärmung sowie die zeitliche Lage und die Höhe der Temperaturmaxima zeigen jeweils individuelle Muster. Auf die hohen Maxima am Standort Haidplatz wurde bereits hingewiesen. Schon am 18. August liegt die Temperatur hier fast sechs Stunden oberhalb von 30°C. An den anderen drei Standorten wird noch kein heißer Tag verzeichnet. Die schattige Lage im Stadtpark sorgt für ein relativ frühes Maximum, ab 16 Uhr sinkt die Temperatur markant ab, am 18. und 19. August unterschreitet die Temperatur jeweils gegen 20 Uhr 25°C. Ein ebenfalls frühes Maximum, aber mit längerer Andauer erhöhter Temperaturen wurden am Kindergarten Lechstraße gemessen. Der auf der Westseite des Gebäudes gelegene Standort war auch während der Nachmittags- und Abendstunden noch besonnt. Am Standort Regental wird das Maximum erst gegen 18 Uhr erreicht, der Betrag lag meist im Niveau der Werte des Standortes Konradsiedlung.

Die Hitze steigert sich sowohl in Stärke als auch in der Andauer insbesondere am Haidplatz. Am 19. August lag die Temperatur hier drei Stunden über 35°C, am 20. waren es fast fünf Stunden. An diesen beiden Tagen sank die Lufttemperatur jeweils erst gegen 2 Uhr unter 20°C. Das in den Morgenstunden gemessene Minimum ist hier um mehr als 5°C höher als im Regental.

Am 21. und 22. August ist es morgens in Regensburg verbreitet sehr mild bis warm. Am 21. sinkt die Temperatur an den drei Standorten außerhalb der Altstadt für etwa sechs Stunden knapp unter die 20°C Schwelle, am Folgetag nur noch für knapp drei Stunden. Am Haidplatz gab es drei tropische Nächte in Folge.

Der Verlauf der Äquivalenttemperatur (Abb. 37h) ähnelt vielfach den Kurven der Lufttemperatur, die Werte stiegen überall maximal auf Beträge von 65°C an, die Schwülegrenze wurde ab dem Vormittag des 20. August bis zum Morgen des 22.08. an keiner Station mehr unterschritten, so dass man zu Recht von einer belastenden Wärmesituation sprechen kann.

Abschließend werden die bei dieser Wetterlage vorhandenen Strömungsverhältnisse erläutert. Großräumig lag am 17. August ein Hochdruckgebiet über Mitteleuropa, wobei die Luftdruckgegensätze gering waren. Am Morgen des 18.08. lag der Kern des Hochdruckgebietes bereits über Polen, so dass heiße Luft aus dem Mittelmeerraum nach Süddeutschland in Bewegung kam. Am 19.08 geriet der Untersuchungsraum zunehmend auf die Westseite des erwähnten Hochdruckgebietes, so dass sich die Heißluftadvektion noch verstärkte, wobei die geringen Luftdruckgegensätze nur geringe Windgeschwindigkeiten induzieren konnte. Am 20.08 blieb die Luftdruckverteilung weiterhin schwachgradientig, die heiße Luft hatte sich bis zur Ostsee durchgesetzt. Der 21.08 brachte für Süddeutschland noch keine wesentliche Wetteränderung, bei geringen Luftdruckgegensätzen blieb es heiß und schwachwindig. Unter diesen Rahmenbedingungen konnten sich kleinräumige Windsysteme entwickeln. Wie schon bei den bisherigen Auswertungen erfolgt die Präsentation der Ergebnisse für den Standort Dachauplatz in Form einer Windrose (Abb. 37i). Die Windrose zeigt tagsüber eine starke Dominanz von südlichen bis südöstlichen Richtungen. Der Sektor SSO (Anteil 35%) hatte sich bereits bei den anderen Datenkollektiven als tagsüber vorherrschend abgezeichnet, für den Sektor Süd (Anteil 31,7%) war das im jetzt aufgetretenen Umfang ansonsten nicht erkennbar. Für die Nachtstunden ist eine starke Zunahme der Windstillen zu beobachten, ihr Anteil an der Windstatistik beträgt 40%. Für die eigentliche Windrichtungsverteilung ergeben sich zwei etwa gleichgroße Häufungsmaxima. Eins befindet sich mit in den Sektoren Süd (11,7%) und Südost (8,3%). Dies ist quasi als Relikt der tagsüber dominanten Strömung zu sehen, das heißt hier blieb die tagsüber aufgrund der allgemeinen Zirkulation vorherrschende Windrichtung erhalten. Die eigentliche Besonderheit in der Windstatistik stellen die Sektoren NNW und Nord dar, die mit 10% bzw. 11,7% an der nächtlichen Windstatistik beteiligt sind. Der Sektor Nord trat tagsüber gar nicht in Erscheinung, im Sektor NNW gab es Häufigkeitszunahme von 6,7% tagsüber auf 10% nachts, beides vor dem Hintergrund, dass die Flautenhäufigkeit stark zugenommen hat. Diese Besonderheit wurde bereits in den größeren Datenkollektiven erkannt, insbesondere in der Auguststatistik (vgl. Abb. 24c). Das Strömungsverhalten ist als nächtlicher

Bergwind aus dem Regental zu interpretieren, der bei der ausgewählten Schönwetterperiode im August 2012 besonders gut entwickelt ist.

Fazit:

Die hier ausgewerteten Tagesgänge der Lufttemperatur geben einen guten Überblick über die thermischen Gegebenheiten im Stadtgebiet während einer hochsommerlichen Witterungsperiode. In Verbindung mit den Ergebnissen aus Kapitel 4 stellen sie eine wichtige Datengrundlage für die Klimabestandskarte dar. Der Standort Keilberg reiht sich für diesen ausgewählten Zeitraum hinter dem Standort Haidplatz und dem Standort Wutzlhofen als drittwärmster Standort im Datenkollektiv ein. Verantwortlich dafür ist die extrem schlechte Abkühlung in den Nächten zum 18.08., 19.08. und 20.08. Zeitweilig war die Station Keilberg sogar der wärmste Standort im gesamten Stationsnetz. Diese Situation ist als klassische Inversionswetterlage zu bezeichnen, bei denen es im Tal kühler ist als auf den Höhen, ihre Entwicklung hat nichts mit dem Stadtklima zu tun. Das bedeutet auch, dass die Freiflächen der Kuppenlagen und der oberen Hangbereiche nicht oder nur unbedeutend an der nächtlichen Kaltluftbildung und seinem Abfluss beteiligt sind. Auch am relativ hoch gelegenen Standort Ziegetsdorf kommt es während der erwähnten Strahlungsnächte zu Störungen bei der nächtlichen Abkühlung. Der nächtliche Temperaturverlauf lässt die Vermutung zu, dass dieser Standort während der Nachtstunden im Grenzbereich der Temperaturinversion lag.

Thermische Ausgleichsräume während der Nachtstunden sind die niedrig gelegenen Freiflächen, mit einem thermisch bedeutsamen Bergwind in Richtung Altstadt ist im Regental zu rechnen, auch der Talraum im südlichen Stadtgebiet produziert reichlich Kaltluft, die in Richtung Burgweinting abfließt. Eine hohe nächtliche Abkühlungsleistung findet man auch im Stadtpark; über diese Klimafunktion sollten auch der Dörnbergpark sowie die sich östlich anschließenden Grünanlagen verfügen. Sehr ähnlich sind die nächtlichen Temperaturverhältnisse an den übrigen Standorten. Sie werden einerseits durch die warmen Bebauungsstrukturen in den jeweiligen Stadtquartieren geprägt, andererseits liegen sie innerhalb der Inversionsschicht im Donautal, wodurch ihre Abkühlung begünstigt wird. Während der Erwärmungsphase in den Vormittags- und Mittagsstunden führt die Thermik zu sehr ähnlichen Temperaturen im Stadtgebiet. Eine erhebliche Überwärmung gibt es nur in der Altstadt, wo die Erwärmung wegen der schlechten nächtlichen Abkühlung auf einem deutlich erhöhten Niveau begann. Am Standort Westenviertel wirkt sich tagsüber vermutlich der hohe Versiegelungsgrad im unmittelbaren Umfeld temperaturerhöhend aus.

Die am Standort Dachauplatz gemessenen Windverhältnisse bestätigen die Aussagen aus der Monatsstatistik; da der fünftägige Zeitraum besonders strahlungsreich und

außerdem gradientschwach war, traten die lokalen Effekte noch stärker in den Vordergrund, das heißt der Windsprung von tagsüber Südost auf nördliche Richtungen während der Nachtstunden ist noch markanter, was gleichbedeutend mit einer stärkeren Ausprägung des Bergwindes aus dem Regental ist.

5.2 Ergebnisse für den Zeitraum 07. bis 11. September 2012

Bioklimatisch bedenkliche Überwärmungen mit einer Andauer von mehr als 24 Stunden sind im Herbstmonat September in der Regel nicht mehr zu erwarten. Vom 7. bis 11. September 2012 stellte sich aber noch eine an den Hochsommer erinnernde Wetterlage ein, in der die Maxima unterstützt durch Warmluftadvektion aus Südeuropa letztmalig im Jahr 2012 auf 25 bis 30°C anstiegen. Inhaltlich wird die Frage beantwortet, ob sich in Zeiten kürzerer Tage und flacherem Sonnenstand noch nennenswerte kleinklimatische Unterschiede hinsichtlich der thermischen Bedingungen entwickeln. Dazu wurden dieselben Datenkollektive wie im August 2012 zusammengestellt und deren Ergebnisse abschließend diskutiert.

In Abbildung 38a sind die Datenreihen der Stationen Regental, Keilberg, Haidplatz und Oberisling dargestellt, somit steht der Vergleich Innenstadt -Außenbereich im Vordergrund. Die Mittelwerte weisen Oberisling mit 16,9°C als kühlfsten Standort aus, den Haidplatz mit 21,1°C als wärmsten Stadtbereich. Somit liegen 4,2°C zwischen den beiden Extremstandorten, damit wurde das Ergebnis vom August mit 3,8°C noch übertroffen und die Frage, ob im September noch mit nennenswerten stadtklimatischen Unterschieden zu rechnen ist, eigentlich schon mit "ja" beantwortet. Zwischen den Extremwerten reihen sich die Standorte Keilberg mit 19,0°C und die erneut als Referenz festgelegte Station Regental mit 17,3°C. Unbestritten ist bei den Maxima die führende Rolle der Innenstadt. An vier der fünf Tage steigt die Temperatur hier über 30°C, dabei ist es fast 5°C wärmer als an den übrigen Stationen. Hier behauptet sich mehrheitlich der Standort Regental, an dem das tägliche Maximum relativ spät auftritt.

Der Kuppenstandort Keilberg nimmt im Regensburger Stationsnetz bei den Minima eine besondere Rolle ein, denn die Nächte bleiben während der frühherbstlichen Strahlungswetterlage sehr mild. Dies hat seine Hauptursache ohne Zweifel in der regelmäßigen Ausbildung nächtlicher Inversionen in den Tallagen. In der Nacht zum 7. September ist es hier zwar noch etwas kühler als in der Innenstadt, aber der Temperaturrückgang ist ab Mitternacht relativ gering. In der Folgenacht ist es am Standort Keilberg gegen 18 Uhr noch fast 5°C kühler als am Haidplatz (25°C zu 20°C). Ab 22 Uhr schrumpft die Differenz auf ca. 2°C und am Morgen liegen die Minima an beiden Standorten auf gleichem Niveau. Ganz ähnlich entwickelt sich die Abkühlungssituation in der Nacht zum 10. September. Der Temperaturrückgang in der nächsten Nacht ver-

läuft etwas anders. Gegen 19 Uhr sind die Temperaturunterschiede groß, gegen 22 Uhr sind beide Standorte mit jeweils ca. 22°C etwa gleich warm. Anschließend steigert sich die Abkühlungsleistung am Standort Keilberg wieder und die Minima differieren schließlich um etwa 3°C. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die nächtliche Inversion etwa ab Mitternacht auch die Kuppenlage erfasst hat. Denn auch mit Blick auf die anderen Offenlandstationen hat sich die Situation verändert. Waren sie in den ersten vier Nächten die mit Abstand kältesten Stationen, jeweils mit leichtem Vorteil für den Standort Oberisling, schwächte sich diese Differenz in der Nacht zum 11. September ab. Dabei kam es im Regental gegen 2 Uhr, in Oberisling schon gegen Mitternacht zu Störungen im Abkühlungsprozess. Während die Luft im Regental im Anschluss daran kaum noch kälter wurde, verstärkte sich der Temperaturrückgang in Oberisling danach wieder. Abschließend kann festgehalten werden, dass die Offenlandstandorte im Niederungsbe- reich nachts am kältesten werden, der Temperaturverlauf am Standort Keilberg stark abhängig ist von der Mächtigkeit der nächtlichen Inversion über den Talbereichen und sich die Innenstadt tagsüber wie nachts durch erhöhte Werte der Lufttemperatur aus- zeichnet.

Da es sich im Auswahlzeitraum in Regensberg eine trocken-warme Luftmasse wetter- bestimmend war, kam es nicht zu einem auffälligen Verhalten bezüglich bioklimatischer Belastungen bei der Äquivalenttemperatur (Abb. 38b). Ihr Tagesgang ist am Standort Keilberg am schwächsten ausgeprägt, in Oberisling ist der Austausch zwischen latenter und fühlbarer Wärme am größten. Tagsüber liegen die Werte der Äquivalenttemperatu- ren der Stationen Oberisling und Haidplatz gleich auf. Die Schwülegrenze wird nur am 10. und 11. September spürbar überschritten, ohne dadurch thermisch belastend zu wirken. Nachts änderte sich in der Kurvenstruktur der Äquivalenttemperatur im Ver- gleich zur Lufttemperatur nur wenig.

Der Vergleich der nächsten vier Standorte ergibt wesentlich kleinere Unterschiede in den Tagesgängen der Lufttemperatur (Abb. 38c). Dies deutet sich schon an den sehr ähnlichen Temperaturmittelwerten für den Untersuchungszeitraum an. Dieser lag in Wutzlhofen und im Westenviertel bei jeweils 18,6°C, am Standort Ziegetsdorf bei 18,4°C. Dabei erkennt man für den Standort Ziegetsdorf die geringsten Tagesgänge, sowohl die Maxima sind leicht gedämpft, die gemessenen Minima liegen stets leicht über den Werten der anderen Standorte. Auffällig ist insbesondere die kurze Andauer der nachmittäglichen Warmphase. Insbesondere unmittelbar nach dem Temperatur- maximum setzt ein verstärkter Temperaturrückgang ein, so dass der Standort Ziegets- dorf kurzzeitig am kühlest ist. Regelmäßig gegen 20 Uhr ist der dortige Abkühlungs- vorsprung aufgebraucht und schon gegen Mitternacht ist es an der Station Ziegetsdorf am wärmsten. Der Standort Westenviertel erweist sich ab dem 8. September von mit- tags bis gegen Abend als wärmster Standort, zweimal hier werden 30°C erreicht. In den

sich anschließenden Abkühlungsphasen sinkt die Temperatur jedoch schnell, so dass trotz höherer Maxima die Werte bald wieder auf dem Niveau der anderen Stationen liegen. Die Abkühlung verläuft in der Regel an allen Standorten ungestört, ab Mitternacht generell langsamer als zuvor. Ausnahme bildet die Nacht zum 11. September, in der es insbesondere am Standort Wutzlhofen zu einem unruhigeren Verlauf kommt. Gegen Mitternacht und nochmals gegen 3 Uhr steigt die Temperatur jeweils kurz an, dadurch liegt das Temperaturniveau zum Ende der Nacht im Gegensatz zu den anderen Nächten hier leicht über den Werten der anderen Stationen. Es ist zu vermuten, dass die Inversionsobergrenze in diesem Höhenbereich lag, so dass kurzzeitig wärmere Luft aus größeren Höhen eingemischt wurde und in dem Zusammenhang auch der Wind auffrischte. Die Verläufe der Äquivalenttemperatur (Abb. 38d) liefern keine neuen Informationen, so dass auf eine Diskussion verzichtet wird.

Weitgehend ungestörte Tagesgänge waren auch an den Stationen Oberer und Unterer Wöhrd sowie Ditthornstraße zu beobachten (Abb. 38e). Allerdings variierten die Temperaturmittelwerte etwas mehr als im vorherigen Datenkollektiv. Im Gewerbegebiet an der Ditthornstraße wurde mit $19,1^{\circ}\text{C}$ der zweithöchste Wert im Stadtgebiet gemessen, entlang der Donau wurden $18,5^{\circ}\text{C}$ (Oberer Wöhrd) bzw. $17,7^{\circ}\text{C}$ (Unterer Wöhrd) gemessen. Am Referenzstandort Regental sind die Nächte am kühlest, im Gewerbegebiet Hohes Kreuz (Ditthornstraße) am mildesten. Von den erhöhten Minima ausgehend startet hier auch die Erwärmung am Vormittag am schnellsten, am Standort Unterer Wöhrd ist der Kurvenverlauf um mehr als eine Stunde zeitversetzt. Die Höchstwerte liegen in diesem Datenkollektiv alle unter 30°C . Auch hier wird auf eine Diskussion der Ergebnisse für die Äquivalenttemperatur (Abb. 38f) verzichtet.

Im abschließenden Datenkollektiv (Abb. 38g) steht wie im August der Vergleich von Stadtpark und Haidplatz im Vordergrund. Im Stadtpark wurde mit $17,0^{\circ}\text{C}$ ein ähnlich niedriger Temperaturwert wie in Oberisling ($16,9^{\circ}$) gemessen, damit wird das Ergebnis vom Referenzstandort Regental um $0,3^{\circ}\text{C}$ unterboten. $4,1^{\circ}\text{C}$ wärmer als im Stadtpark war es am Haidplatz ($21,1^{\circ}\text{C}$). In guter Übereinstimmung mit den Siedlungsbereichen außerhalb der Innenstadt ist mit $18,2^{\circ}\text{C}$ der Mittelwert am Standort Konradsiedlung. Wie während der hochsommerlichen Wetterlage im August liegen im Extremfall 5°C zwischen den thermischen Verhältnissen in der Innenstadt und im Stadtpark. Zu Beginn der Erwärmungsphase nehmen die Gebäudekomplexe der Innenstadt zunächst viel Energie auf, so dass der Abstand der Temperaturkurve am Haidplatz zu den anderen Standorten kleiner wird. Etwa ab 11 Uhr wird der Strahlungsüberschuss so groß, dass sich die Luft zunehmend stark erwärmt und vom 8. bis 11. September vier Heiße Tage in Folge registriert werden. Schon am frühen Nachmittag wird die höchste Temperatur am Kindergarten Lechstraße gemessen, vermutlich, weil die Spielfläche anschließend durch den sich nach Westen anschließenden Baumbestand beschattet ist. Auffallend

gut ist hier der weitere Abkühlungsprozess, so dass die Temperaturen hier abends und nachts nicht wesentlich über den Offenlandstationen liegen. Die Tagesgänge der Äquivalenttemperatur (Abb. 38h) werden nicht im Detail erläutert, inhaltlich liefern sie wegen des bioklimatisch unkritischen Feuchtegehaltes der Luft keine neuen Erkenntnisse.

Abschließend wird die Windrose für diesen Untersuchungszeitraum interpretiert (Abb. 38i). Die Großwetterlage lässt sich am Morgen des 7. September als Hochdruckbrücke über Mitteleuropa definieren. Auch am 8. und 9. September verbleibt Süddeutschland im windschwachen Kernbereich des sich allmählich abschwächenden Hochdruckgebietes. An den Folgetagen wird der Hochdruckeinfluss weiter abgebaut und Deutschland gerät allmählich in den Einflussbereich eines sich bei Island entwickelnden Sturmtiefs, wobei die Luftdruckgegensätze im Untersuchungsraum bis zum Morgen des 11. September noch gering bleiben. Die großräumige Luftdruckverteilung bietet gute Voraussetzungen für die Ausbildung lokaler Windssysteme. Tagsüber erweist sich der Sektor SSO mit 40% als Hauptwindrichtung. Gemeinsam mit den Sektoren OSO (18,3%), Süd (15%) und SSW (13,3%) summieren sich die Häufigkeiten auf 87%. Nachts bricht die Luftzufuhr aus diesen Sektoren praktisch zusammen, in zwei Dritteln der Nachtstunden meldet die Station Flaute. Nur ansatzweise können sich während der Nachtstunden andere Strömungsverhältnisse entwickeln. Die Sektoren zwischen WNW und ONO erreichen nachts zusammen eine Häufigkeit von 16,7% nachdem diese Windrichtungen tagsüber nur mit 3,4% an der Windstatistik beteiligt waren. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass sich auch bei dieser Wetterlage eigenständige Strömungsverhältnisse entwickeln konnten. Ihre Bedeutung ist insgesamt aber weniger hoch als bei der Augustwetterlage.

Fazit:

Anhand der zwölf Messstationen lassen sich die thermischen Verhältnisse im Regensburger Stadtgebiet bei hochsommerlichen Wetterlagen wie folgt zusammenfassen. Extrem stark überwärmt zeigt sich der Innenstadtbereich, wobei sich die Datenreihen am Haidplatz und am Dachauplatz gegenseitig bestätigen. Die Erwärmung zeigt sich anhand aller ausgewerteten Kenngrößen. Die Maxima erreichen mehrfach über 35°C, die Nächte bleiben zeitweise milder als 20°C. Besonders hoch sind die Überwärmungsraten vom späten Vormittag bis zum frühen Nachmittag und dann wieder während der gesamten Nacht. Mehrfach wurden um Mitternacht noch Temperaturen über 25°C gemessen, was das bioklimatische Wohlbefinden stark einschränkt. Innenstadtnah findet man in Form der großen Parkanlagen an hochsommerlichen Strahlungstagen tagsüber wie nachts thermische Ausgleichsräume, deren Reichweite sich mit hoher Wahrscheinlichkeit aber auf die Grünflächen beschränkt. Die untersuchten Siedlungsbereiche

außerhalb der Innenstadt verfügen über sehr einheitliche thermische Eigenschaften. Dabei ist es tagsüber weniger heiß als in der Altstadt und die Abkühlung ist meist ausreichend. Abweichungen davon gibt es nur, wenn überregional schwülheiße Luftmassen vorherrschend sind, dann reicht die örtliche Abkühlungsleistung nicht aus, um die Luft auf angenehme Temperaturwerte zu senken. Im Niederungsbereich des Donautales ist die nächtliche Abkühlung in den Siedlungsbereichen vor allem bei klassischen Strahlungswetterlagen, die insbesondere nachts mit geringen Windgeschwindigkeiten verbunden sind, besser als in den Hangbereichen. Die dann regelmäßige Inversionsbildung wird anhand der Messergebnisse im Stadtteil Keilberg deutlich, wo die Nächte dann genauso mild sind wie in der Innenstadt. Diese Situation besteht auch noch bei der Wetterlage Anfang September. Die Werte der in Hanglage befindlichen Standorte Ziegetsdorf und Wutzlhofen belegen in einigen Nächten den Übergangsbereich zwischen Bodeninversion und freier Atmosphäre.

Besondere Verhältnisse werden in unmittelbarer Nachbarschaft zur Donau gemessen. Am Standort Oberer Wöhrd wirkt sich die Temperatur der umgebenden Wasserflächen auf die Lufttemperatur aus. Im August stieg die Temperatur der Donau (Messwerte vom Pegel Schwabelweis) bis auf 25°C an. Somit kann die Luftleitbahn vor allem im Hoch- und Spätsommer nicht die Funktion als Kaltluftventilationsbahn übernehmen. Dazu fehlen oberhalb des Stadtgebietes im Donautal auch Offenlandbereiche, über denen sich die Luft kräftiger abkühlen könnte. Somit sind die niedrigeren Temperaturen am Standort Unterer Wöhrd erklärbar. Der Standort in Ufernähe wird weniger durch die warme Luft unmittelbar über dem Fluss beeinflusst, es stellt sich eher als Lokalklima ein, das durch die angrenzende Parklandschaft beeinflusst ist.

Interessante Aspekte liefern die Windrosen vom Standort Dachauplatz für beide Termine. Die Ergebnisse für Tag- und Nachtstunden sind extrem unterschiedlich. Geringe überregionale Druckunterschiede gaben örtlichen, thermisch induzierten Windsysteme die Möglichkeit zur Entfaltung. Dabei scheint das Regental für die nächtliche Zirkulation eine besonders wichtige Rolle zu spielen. Auch wenn die relativen Häufigkeiten dafür unter 20% liegen, ist von einer wesentlichen nächtlichen Ausgleichsströmung auszugehen, insbesondere, da Bergwinde häufig nur vertikale Mächtigkeiten von maximal 10 Metern erreichen. Diese Strömungen konnten von der im Dachniveau installierten Windmessstation nur sehr eingeschränkt erfasst werden.

6. Klimabestandskarte (Klimatopkarte)

Ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchung ist die Erstellung einer Klimatop- oder Klimabestands-Karte, die die lokalklimatischen Gegebenheiten im Stadtgebiet von Regensburg sowie den angrenzenden Bereichen als flächenhafte Übersicht darstellt. Topographische Karten, Stadtkarten zur Versiegelung, Flächennutzungsplan, Realnutzungskartierungen und Luftbildpläne bilden hierzu neben den Ergebnissen des stadtmeteorologischen Messnetzes im Sommer 2012 die wesentlichen Grundlagen.

Die Ausweisung der Klimatope und der Kaltluftsammlgebiete ist nicht parzellenscharf; es ergeben sich Toleranzen bis zu 100 m, da sowohl die inhaltliche Festlegung der Grenzen unter Berücksichtigung von Übergangsbereichen als auch die Zeichengenauigkeit aufgrund der verwendeten Arbeitsmaterialien einkalkuliert werden muss. Für genauere Aussagen sind fachliche Detailgutachten notwendig. Die in den Karten verwendeten Signaturen und Symbole entsprechen weitgehend der VDI Richtlinie 3787, Blatt 1.

Klimatope beschreiben demnach Gebiete mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen. Diese unterscheiden sich vornehmlich nach dem thermischen Tagesgang, der vertikalen Rauigkeit (Windfeldstörung), der topographischen Lage bzw. Exposition und vor allem nach der Art der realen Flächennutzung. Da in besiedelten Räumen die mikroklimatischen Ausprägungen im wesentlichen durch die reale Flächennutzung und insbesondere durch die Art der Bebauung bestimmt werden, sind die Klimatope nach den dominanten Flächennutzungsarten bzw. baulichen Nutzungen benannt.

Grundsätzlich wird in der Klimabestands-Karte unterschieden in Stadtklimatope und Offenlandklimatope. Dabei ist jeweils der vorwiegende Nutzungstyp entscheidend. Einzelne Hofstellen, die zudem noch von einigen großen Bäumen umstanden sind, stellen sicherlich hinsichtlich des Windfeldes und in Bezug auf thermische Besonderheiten in Innenhöfen mikroklimatische Sondersituationen dar, die aber in einem gesamtstädtischen Gutachten von deutlich untergeordneter Bedeutung sind. Ähnliches gilt für kleine Baumgruppen, Alleen oder kleinere Feldgehölze, die im gesamtstädtischen Bild ebenfalls keinen eigenen Klimatoptyp darstellen. Gleiches gilt in Stadtklimatopen für sehr kleine Grünanlagen oder für als Straßenbegleitgrün ausgewiesene Bänder, sie bewirken in der Regel keine signifikanten Veränderungen des um sie herum dominanten Stadtklimas. Bei Detailanalysen im Rahmen von B-Plan-Verfahren können solche "Inseln" jedoch einen höheren Stellenwert haben, der dann im Einzelfall untersucht werden muss.

6.1 Stadtklimatope

Innerhalb der Stadtklimatope werden fünf Untergruppen unterschieden, wobei für vier Klassen die Dichte und Höhe der Bebauung als wichtigstes Kriterium dient. Sehr nah am Offenlandklima sind die Eigenschaften des Stadtklimatops "ohne oder geringe thermische Belastung", entsprechend der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 erhält diese Klasse die Bezeichnung **Dorfklimatop**. Einige Streusiedlungen und dörfliche Bereiche im Stadtgebiet, in denen der Charakter eines ungestörten Freilandklimas sich ansatzweise verändert, wurden in diese Kategorie eingruppiert. Der Gesamtanteil dieser Klimatopklasse am Untersuchungsgebiet ist mit knapp 500 Hektar sehr gering. Die durch die Gebäude erhöhte Oberflächenrauigkeit verringert die mittlere Windgeschwindigkeit geringfügig, was vom Bewohner in der Regel als angenehm empfunden wird und somit als Positivkriterium zu bewerten ist. Der Tagesgang der Lufttemperatur wird aufgrund der vorhandenen Bebauung geringfügig vom Offenlandbereich abweichen, was sich in einem leicht verzögerten Anstieg der Lufttemperatur am Vormittag sowie einen etwas späteren Beginn der abendlichen Abkühlung äußert. Beides wirkt sich auf das thermische Empfinden der Bewohner nicht fühlbar aus, die Extremwerte der Lufttemperatur sind kaum modifiziert. Der Schattenwurf der Gebäude erhöht punktuell den Schattenwurf, so dass bei starker Sonneneinstrahlung zusätzliche kleinklimatische Gunsträume entstehen können.

Das **Stadtrandklimatop** mit "geringer bis mäßig hoher thermische Belastung" hat im Untersuchungsraum einen Flächenanteil von knapp 2.000 Hektar. Im Stadtgebiet Regensburg wurden große zusammenhängende Wohnbereiche mit diesen Klimatoptyp klassifiziert. Dazu gehört unter anderem der Wohnbereich nördlich der Isarstraße im Stadtteil Konradsiedlung. Dieses Klimatop zeichnet sich durch eine überwiegend lockere Bauweise und einen relativ hohen Grünanteil aus. Charakteristisch für die dem Stadtrandklima zuzuordnenden Wohngebiete ist daher, dass die stadtklimatischen Effekte nur einen geringen und selten stark belastenden Ausprägungsgrad erreichen. Durch die relative Nähe zu regionalen und lokalen Ausgleichsräumen ist eine Frischluft- und Kaltluftzufuhr auch während gradientschwacher Wetterlagen meist gewährleistet. Ausnahmen stellen mehrtägige Hitzeperioden im Hochsommer dar, wenn sich die Luft zunehmend über das Niveau der Offenlandklimatope erwärmt. Die durch die Bauungsstruktur ausgeprägte Windabschwächung innerhalb der bodennahen Luftschicht wirkt sich wohnklimatisch günstig aus und führt zu einer Einsparung an Heizenergie. Durch die Nähe zu regionalen und lokalen Ausgleichsräumen wird die Frischluft- und Kaltluftzufuhr während windschwacher Wetterlagen begünstigt. Ein weitgehend gutes Wohn- und Schlafklima wird durch eine relativ starke nächtliche Abkühlung im Sommer erreicht, nur Situationen mit extremer sommerlicher Hitze sind davon auszunehmen. Darüber hinaus sind lokale und regionale Grünzonen häufig fußläufig zu erreichen, ins-

gesamt entsteht durch die hohe Variabilität der Mikroklimata, die durch das Nebeneinander unterschiedlich stark verdichteter Wohngebiete (Einfamilienhäuser, lockere Reihenhausbauung, offene Bebauungsstrukturen) und Park- und Grünflächen entsteht, eine aus stadtklimatologischer Sicht positiv zu bewertende Situation.

Das **Stadtklimatop** weist mäßig hohe bis hohe Belastungen auf und wurde im Untersuchungsraum für eine Fläche von insgesamt 590 Hektar ausgewiesen. Diese Flächen verkörpern das eigentliche Stadtklima, wie es in der Literatur häufig beschrieben wird. Im folgenden werden diese Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt.

Definitionsgemäß handelt es sich dabei um dicht stehende Einzelhäuser, um Reihenhaussiedlungen und Blockbebauung mit eingestreuten Grünflächen. Einzel stehende Gebäude sollten dabei eine fünfgeschossige Bauweise in der Regel nicht überschreiten. Bei den Flächen handelt es sich überwiegend um Wohnbauflächen. Die Folge dieser bereits relativ massiven Bebauung ist vor allem eine stark eingeschränkte nächtliche Abkühlung. Wie massiv diese Klimaveränderung tatsächlich ist, hängt vor allem von den an diese Lasträume angrenzenden Klimatopen ab. Der natürliche Wärmehaushalt innerhalb des eigentlichen Stadtklimatops wird insbesondere an strahlungsreichen Tagen massiv verändert, aber auch an weniger extremen Tagen kommt es durch die Realnutzung zu Modifikationen des lokalen Klimas. Auch in den Stadtklimatopen ist von einer weitgehend unveränderten kurzweiligen Zustrahlung auszugehen. Anders als in großen Ballungsräumen ist im Stadtgebiet von Regensburg nicht von veränderten Trübungsbedingungen der Atmosphäre und auch nicht von höheren Anteilen konvektiver Bewölkung auszugehen. Bei der Absorption der Sonnenstrahlung kommt allerdings großflächig die dritte Dimension hinzu, d.h. für die Strahlungsaufnahme stehen neben der Erdoberfläche auch noch Fassaden in großem Umfang zur Verfügung. Damit ist die Energieaufnahme um ein Mehrfaches erhöht, die Reflektion der kurzweiligen Strahlung ist entsprechend verringert. In bebauten Gebieten kommt hinzu, dass alle Baumaterialien mit Ausnahme von Holz über nahezu unbegrenzte Möglichkeiten der Wärmespeicherung verfügen, was durch eine meist hohe Wärmeleitfähigkeit der meisten Materialien noch begünstigt wird. Diese Speicherstoffe führen dazu, dass die Lufttemperatur an wolkenlosen Sommertagen während der Vormittagsstunden in bebauten Gebieten im Vergleich zu den Offenlandklimatopen häufig erst verzögert ansteigt. Da das allerdings auf einem höheren Temperaturniveau stattfindet, ist das kein wirklicher thermischer Standortvorteil. Neben dem gewaltigen Speicherpotential in den Baukörpern kommt bei hohem Versiegelungsgrad nur eine reduzierte Verdunstung zustande, große Mengen Regenwasser fließen durch die Kanalisation ab und stehen dadurch einem natürlichen Wasserkreislauf nicht zur Verfügung. Spätestens beim täglichen Temperaturmaximum liegen die Werte im Stadtklimatop und im Offenlandklimatop gleichauf. Der eigentliche Wärmeüberschuss im Stadtklimatop baut sich während der sich anschließenden Ab-

kühlungsphase auf. Zum Termin des Sonnenuntergangs liegen nicht selten 5 Grad und mehr zwischen den Temperaturwerten innerhalb der Bebauung und dem Freiland. Bei idealen Wetterbedingungen, also wolkenlosem Himmel, geringer Luftfeuchtigkeit und niedrigen Windgeschwindigkeiten können während der Nachtstunden Temperaturunterschiede bis zu 10 Grad gemessen werden. Die nächtlichen Temperaturoegensätze zwischen Freiland und Stadtklimatop verringern sich, wenn die kühlere Luft die Chance hat, sich mit der wärmeren Stadtluft zu vermischen. Kleinräumig schaffen dies Flurwinde; Eindringtiefen von 100 Metern und mehr in die jeweiligen thermischen Lasträume können nur durch regionale Kaltluftabflüsse erreicht werden, was größere Reliefunterschiede oder regionale Antriebe voraussetzt. Ein Ende von solchen Überwärmungsphasen ist nur im Zusammenhang mit einer Umstellung der Großwetterlage von sommerlichem Hochdruckwetter auf von Tiefdruckgebieten bestimmtes Wetter, das mit Wind und aufgrund stärkerer Bewölkung die thermischen Gegensätze zwischen Stadt und Umland ausräumt.

Dieser Klimatoptyp kommt in Regensburg in unterschiedlichen Stadtquartieren vor, dazu gehört im Norden die kompakte Bebauung im Stadtteil Wutzlhofen und die Wohnflächen südlich der Isarstraße. Auch südlich der Donau findet man diesen Klimatoptyp ebenfalls mehrfach.

Trotz der Überwärmung gibt es hier auch einige klimatische Gunstfaktoren. Dazu gehören bedingt durch höhere Rauigkeiten Windgeschwindigkeitsreduktionen, was insbesondere bei Starkwindwetterlagen von der Bevölkerung als angenehme empfunden wird, außerdem sind die Flächen unter der Voraussetzung geringer bodennaher Schadstoffemissionen wohnklimatisch und heizklimatisch günstig einzustufen. Insbesondere werden während des Winterhalbjahres Kältestress und Wind-Diskomfort durch die Bebauungsstrukturen reduziert. Während der für das Donaual typischen Inversionswetterlagen trägt der Wärmeinseleffekt durch vertikalen Luftaustausch zu einer Aufrechterhaltung eines bodennahen Durchmischungsraumes bei; so dass bodennahe Luftschadstoffe werden verdünnt.

Dem stehen jedoch zahlreiche klimatische Ungunstfaktoren gegenüber. Innerhalb enger Straßenzüge kommt bei Schwachwindwetterlagen zu eingeschränkten Austauschverhältnissen sowie im Hochsommer zu Wärmestau bei direkter Sonneneinstrahlung. Erhöhtes Schwülepotential in engen, austauscharmen Straßenschluchten und fehlende Abschattungsstrukturen durch verdunstungsaktive Baumkronen fördern die Hitze- und Wärmebelastung der Bewohner. Im Einflussbereich bodennaher Schadstoffemittenten (v. a. Kfz-Verkehr) kommt es durch eingeschränkte horizontale Austauschverhältnisse zu einem erhöhten Immissionspotential. Besonders negativ zu bemerken ist, dass sich lang anhaltende nächtliche Überwärmungsphasen im Sommer negativ auf das Innenraumklima auswirken können.

Für überwiegend von Wohnbebauung, teilweise auch gewerblich genutzten Bereiche gibt es noch eine Steigerung hinsichtlich der Intensität der Lasträume; diese Bereiche werden als City-Klimatope oder auch als Stadtkern-Klimatope bezeichnet, sie tragen in der Regensburger Klimabestandskarte die Bezeichnung **Altstadt-Klimatop** und weisen eine "hohe bis sehr hohe thermische Belastung" auf. Charakteristische Flächennutzungen in Innenstadtklimatopen sind Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohngebäude mit vielgeschossigen Baublöcken. Kennzeichnend sind weiterhin ein sehr hoher Versiegelungsgrad sowie ein geringer Grünflächenanteil, der nur durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Rasenflächen, z. T. mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist. In den Innenstadtklimaten entsteht daher ein erhöhtes Belastungspotential durch Hitzestress und Schwüle. Dies führt insbesondere während mehrtägiger Hitzeperioden ganztägig zur Ausbildung einer deutlichen Wärmeinsel, deren Intensität von Tag zu Tag zunimmt, was dann häufig zu einer mehrtägigen Andauer sogenannter "Tropischer Nächte" führt, in denen die Lufttemperatur bis zum frühen Morgen nicht mehr unter 20°C fällt. Messergebnisse zeigen, dass in diesem Zusammenhang Werte um 25 Grad noch gegen Mitternacht keine Seltenheit sind. Zusätzlich macht sich ein Wind-Diskomfort durch Böigkeit und Windturbulenzen im Bereich von Straßenschluchten und offenen Plätzen bemerkbar. Dieser Klimatoptyp beschränkt sich auf die Regensburger Altstadt und umfasst insgesamt 70 Hektar.

Aufgrund der genannten Erscheinungen gibt es in diesem Bereich nur wenige klimatische Gunstfaktoren. Durch die geringe Abkühlung in den Abendstunden wird die Aufenthaltsdauer im Stadtzentrum verlängert, wodurch die Attraktivität der Innenstadt als kulturelles Zentrum erhöht wird. Inwieweit dies im Sinne der wohnenden Bevölkerung tatsächlich als Gunstfaktor zu bewerten ist, ist abzuwägen. Unstrittig hingegen ist die starke Senkung des Heizenergieverbrauchs während der Wintermonate. Dagegen zu rechnen ist jedoch der erhöhte Energieeinsatz für zur Kühlung zum Einsatz kommende Klimaanlageanlagen.

Im Vordergrund stehen die direkt messbaren klimatischen Ungunstfaktoren, die sich primär in einem stark erhöhten Belastungspotential durch Hitzestress und Schwüle äußern. Daneben tritt hier noch ein anderer Ungunstfaktor auf, und zwar ein an sonnigen Hochsommertagen auftretenden Wind-Diskomfort im Bereich von Straßenschluchten und offenen Plätzen, der durch erhöhte Böigkeit, Windturbulenzen und Zugigkeit verursacht wird. Ein- und Ausfallstraßen erweisen sich darüber hinaus als belastete Luftleitbahnen durch hohe Luft- und Lärmbelastung im Straßenraum.

Als weitere Kategorie der Stadtklimatope sind die Industrie- und Gewerbeflächen zu nennen. Sie haben im Untersuchungsraum einen Flächenanteil von ca. 1500 Hektar und werden mit dem Begriff **Gewerbeklimatop** bezeichnet.

In diesem Klimatotyp prägen Gewerbe- und Industriegebiete mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten das Mikroklima. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen kommt es verstärkt zu immissionsklimatischen und bioklimatischen Belastungssituationen. Als klimatischer Gunstfaktor sind lediglich die relativ günstigen bodennahen Austauschverhältnisse zu nennen. Klimatische Ungunstfaktoren sind hingegen die lufthygienische Lastraumsituation, die insbesondere in Industriegebieten durch lokale Schadstoffemissionen noch verstärkt wird, und die lang anhaltende und intensive Wärmebelastung, die insbesondere in den Mittag- und Nachmittagsstunden einen Aufenthalt im schattenarmen Außenraum kaum zulässt.

6.2 Offenlandklimatope

Neben den Stadtklimatopen, die in erster Linie nach ihrem Versiegelungsgrad und der daraus resultierenden Überwärmung klassifiziert werden, wurden die meist unbebauten Flächen nach ihrer realen Nutzung und auch nach ihrer Funktion unterschieden. Meist in unmittelbarer Nähe zu Siedlungsbereichen findet man im Regensburger Stadtgebiet und seinem Umland zahlreichen Park- und Freizeitanlagen. Hier wurden anhand der Realnutzungskartierung relativ unterschiedliche Nutzungsformen zusammengefasst. Neben klassischen Parks gehören auch Ballspielplätze dazu, ebenso wurden die Friedhofsbereiche zur Kategorie "Freizeit- und Erholungsnutzung" zusammengefasst und als **Parkklimatop** mit ganzjährig hoher thermischer Ausgleichsleistung zusammengefasst.

Parkklimatope, die vorzugsweise innerhalb oder am Rand stärker versiegelten Bereiche ausgewiesen werden, haben im Untersuchungsraum eine Größe von insgesamt 630 Hektar. Solche innerörtlichen Grünflächen stellen einerseits bei höherem Baumbestand durch ihre verschattende Wirkung tagsüber für die Bevölkerung ortsnahe kühle Ausgleichsflächen dar, größere Grünanlagen mit nur wenigen großkronigen Bäumen oder alleeartigen Anpflanzungen können hingegen auch die Funktion innerstädtischer Ventilationsschneisen übernehmen. Häufig bedarf es einer gut durchdachten Detailplanung, ob für die Bevölkerung der kühlende Aspekt tagsüber -hervorgehoben durch großkronige Bäume- oder die gute nächtliche Abkühlung - ausgelöst durch einen hohen Offenlandanteil der Parkanlage- wichtiger ist.

Als klimatische Gunstfaktoren sind somit in erster Linie der gedämpfte Tagesgang der Lufttemperaturen und der Windgeschwindigkeiten sowie lokale Abkühlungseffekte durch Schattenzonen und erhöhte Verdunstungsraten (Oaseneffekt) zu nennen. Daraus resultieren geringe thermische und bioklimatische Belastungen am Tage. Größere parkartige Grünflächen erweisen sich als innerstädtische Kaltluftproduzenten, wie für den Stadtpark und den Dörenbergpark nachgewiesen werden konnte. Aus lufthygieni-

scher Sicht ist die emissionsarme Situation zu nennen, ferner wirkt die Vegetation als Filter für gas- und staubförmige Luftschadstoffe. Parkflächen stellen somit besonders wertvolle Regenerations- und Erholungsräume dar. Klimatische Ungunstfaktoren gibt es keine, es sei denn, man interpretiert die Tatsache negativ, dass sich das günstige Bioklima sich in der Regel auf die Fläche selbst begrenzt nur geringe Fernwirkung zeigt.

Im Offenlandklima der Außenbereiche werden Flächen unterschieden, auf denen landwirtschaftliche Nutzung vorherrscht, meist also Grünland oder Ackerflächen, Wasserflächen und geschlossene Waldgebiete. Im Detail gibt es gerade auf Ackerflächen markante Unterschiede, was Art und Höhe der Vegetation angeht. Der Pflanzenbestand variiert dabei außerdem während der Jahreszeiten, von der Aussaat über die Wachstumsphase bis zur Ernte. Da sich aber die tatsächliche Nutzung zusätzlich zu den jahreszeitlichen Modifikationen auch im Laufe der Jahre schnell ändert, wird für die Ebene des Flächennutzungsplanes der jeweilige Vegetationszustand nicht weiter berücksichtigt. Auch eine Unterscheidung in ackerbaulich genutzte Flächen und Grünland findet nicht statt. Zu ähnlich sind die physikalischen Eigenschaften dieser zusammenfassend als **Freilandklimatop** bezeichneten Flächen.

Diese Flächen haben im Untersuchungsraum Regensburg und angrenzende Bereiche einen Anteil von 90km² und sind in der Regel im Außenbereich vertreten. Bis auf wenige Ausnahmen sind sie alle größer als 1 Hektar. An Strahlungstagen verfügen diese Flächen tagsüber wie nachts ausnahmslos über einen hohen Energieumsatz. Ihre vergleichsweise dunkle Oberflächenfarbe führt zu einer hohen Absorption von kurzwelliger Sonnenstrahlung, gleichzeitig wird wenig Licht reflektiert. Somit verfügen diese großen Flächen über eine sehr hohe positive kurzwellige Strahlungsbilanz. Ausnahmen sind zum Beispiel im Frühjahr leuchtendgelb blühende Rapsfelder, die dann für wenige Wochen einen deutlichen höheren Albedowert haben als andere landwirtschaftlich genutzte Flächen oder als Dauergrünland.

Dieser Energieüberschuss muss abtransportiert werden, um eine jederzeit ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen. Dafür kommen in erster Linie die fühlbare Wärme und der latente Wärmestrom in Frage. Deutlich geringer sind die Möglichkeiten, die überschüssige Energie ins Erdreich abzuführen, da landwirtschaftliche Bestände über hohe Anteile von Luftvolumina verfügen, die ihrerseits einen solchen Wärmestrom nahezu unterbinden. Damit ist auch eine größere Energiespeicherung im Erdboden ausgeschlossen.

Eine entscheidende Rolle kommt auf Dauergrünland und auf bestellten Ackerflächen der Verdunstung zu. Gibt es genügend pflanzenverfügbares Wasser, sorgt die Transpiration der Blattpflanzen für relativ niedrige Oberflächentemperaturen, wodurch sowohl die langwellige Abstrahlung der Pflanzenoberfläche als auch die Energiemenge zur

direkten Erwärmung der Luft klein bleiben. An vielen Standorten und insbesondere bei längeren Trockenperioden ist dies jedoch nicht der Fall. Die Pflanzen schließen ihre Spaltöffnungen und unterbinden damit den Wasserdampfaustritt. Dann schnell die Komponente der fühlbaren Wärme nach oben und heizt die Umgebungsluft stark auf. Welches Gras ist ein häufiges Indiz für fehlendes Wasser im Boden. Nicht selten sind dadurch an sonnenscheinreichen Tagen die Offenlandklimatope mittags und auch nachmittags die Bereiche mit den höchsten Lufttemperaturen. Mit sinkendem Sonnenstand am Nachmittag nimmt die kurzweilige Energiezufuhr rapide ab. Schon mehrere Stunden vor Sonnenuntergang wird die Gesamtstrahlungsbilanz von Pflanzenbeständen negativ und die übrigen Energiekomponenten müssen zum Ausgleich Wärme an die Pflanzenoberfläche transportieren. Am späten Nachmittag sowie in den frühen Abendstunden steht dafür im wesentlichen nur die fühlbare Wärme der Luft zur Verfügung. Wasserdampfsättigung, was Taubildung zur Folge hätte, ist im Hochsommer in der ersten Nachthälfte selten, somit fällt die latente Wärme als Energielieferant aus. Die Wärmespeicherkapazität von Gras und landwirtschaftlichen Pflanzen ist gering, ein markanter Temperaturrückgang setzt ein, und zwar beginnend jeweils direkt oberhalb der Vegetationsdecke. Die Kaltluftbildung und somit ihre nächtliche thermische Ausgleichsleistung beginnt.

Damit ist der wesentliche Gunstfaktor bereits genannt. Landwirtschaftlich genutzte Flächen sind klimaökologische Ausgleichsräume für angrenzende Bebauungsstrukturen, und zwar sowohl aus thermischer (hohe Kaltluftproduktion) als auch aus lufthygienischer (keine Emissionen) Sicht. Ungunstfaktoren können bei Starkwindwetterlagen Wind-Diskomfort sein, Bodeninversionen während autochthoner Strahlungsnächte fördern potentiell das Immissionspotential, und last, but not least besteht ein erhöhter Heizenergiebedarf im Vergleich zu den städtischen Bereichen.

Flächen mit insbesondere tagsüber thermischer Ausgleichsleistung sind geschlossene Waldgebiete, sie erhalten die Bezeichnung **Waldklimatop**. Hier werden die mit Abstand geringsten Temperaturamplituden gemessen. Zur Ausbildung eines solchen Bestandsklimas ist allerdings in der Regel eine Mindestgröße von ca. 5 Hektar notwendig. Für den Untersuchungsraum wurden insgesamt rund 3.000 Hektar Wald ausgewiesen, von denen jedoch nicht alle das genannte Kriterium in vollem Umfang erfüllen.

Während an sonnigen Tagen tagsüber durch Verschattung und Verdunstung bei hoher Luftfeuchtigkeit relativ niedrige Temperaturen vorherrschen, ist die Abkühlung nachts sehr gering, so dass hier im Hochsommer in der Regel wesentlich höhere Temperaturminima als im Innenstadtbereich gemessen werden. Grund für dieses besondere Verhalten ist erneut der örtliche Wärmehaushalt, der sich beim Waldklimatop in der Regel

auf den Bestandsraum beschränkt und somit keine Fernwirkung für angrenzende Flächen hat. Tagsüber spielt sich der Wärmehaushalt in erster Linie oberhalb des Kronenraumes ab. Hier wird das meiste Sonnenlicht von den dunklen Blättern oder Nadeln absorbiert. Je nach Bestandsdichte ist der Lichtdurchlass in den Stammraum und bis zum Waldboden gering. Die gewaltigen Oberflächen von Blättern und Nadeln sorgen für eine erhebliche Transpiration, wodurch das Waldinnenklima eine hohe Luftfeuchtigkeit aufweist. Somit wird das Klima in Waldbeständen im Hochsommer trotz der reduzierten Maximaltemperaturen als unangenehm schwül empfunden. In den Nachtstunden lässt der Energiehaushalt kaum einen nennenswerten Temperaturrückgang zu. Größere Energieumsätze spielen sich oberhalb des Kronenraumes ab. In den Nachtstunden kann hier eine erhebliche Kaltluftbildung einsetzen, wodurch entweder die Kaltluft allmählich in den Stammraum eindringt, oder bei ausreichender Hangneigung und relativ homogener Bestandsoberfläche als Kaltluft abfließen kann. Solche Phänomene sollten zur Verifizierung möglichst durch Messungen untermauert werden. Der große Vorteil von Waldklimatopen ist bei austauschreichen Wetterlagen ihre Luftruhe. Im Bestand nimmt die Luftbewegung bereits nach wenigen Metern deutlich ab, was sie zum bevorzugten Erholungsraum für den Menschen macht. Darüber hinaus wirken Blätterdächer und Waldmantel als Filter gegenüber Luftschadstoffen, so dass man zu recht von sauberer Luft innerhalb von Waldgebieten spricht.

Die wesentlichen klimatischen Gunstfaktoren sind somit das milde ausgeglichene Stammraumklima sowie die allgemein niedrigen Temperaturen. Dies äußert sich in einer sehr geringen thermischen und bioklimatischen Belastung. Auch in der kalten Jahreszeit sorgt die Luftruhe im Stammraum Kälte- und Wind-Diskomfort entgegen.

Aus lufthygienischer Sicht zu nennen ist, dass Waldgebiete keine Emissionen verursachen und somit als Frischluft- und Reinluftgebiete gelten. Die Vegetation fungiert als Filter für gas- und staubförmige Luftschadstoffe. Für den Menschen stellen Waldgebiete neben den stadtnahen Parkanlagen auch aus bioklimatischer Sicht die wertvollsten Regenerations- und Erholungsräume dar. Als einziger klimatischer Ungunstfaktor ist zu nennen, dass aufgrund der hohen Oberflächenrauigkeit in und auch oberhalb von Waldgebieten keine oder nur eine sehr eingeschränkte Luftleitfunktion vorhanden ist.

Ganz anders verhalten sich offene Wasserflächen. Das **Gewässerklimatop** übt auf seine Umgebung einen ausgleichenden thermischen Einfluss durch schwach ausgeprägte Tages- und Jahresgänge aus. Auf die Tageszeiten bezogen bedeutet dies, die Temperaturmaxima der Luft liegen an sommerlichen Strahlungstagen auf großen Seen, aber auch auf der Donau niedriger als im Umland, während der Nachtstunden bleibt die Luft hier milder als im Umland. Grund dafür sind die besonderen Energieumsätze freier Wasseroberflächen. Wasser gehört zu den dunkelsten natürlichen Oberflächen überhaupt, womit das meiste ankommende Sonnenlicht absorbiert wird. Dies geschieht je-

doch nicht wie an Land abrupt, sondern die Lichtstrahlungen dringen weit in die Gewässer ein. Somit wird das Sonnenlicht nicht nur an der Wasseroberfläche aufgenommen, sondern große Energiemengen werden erst im Wasser absorbiert. Dadurch erwärmt sich der Wasserkörper in den obersten Dezimeter recht schnell. Außerdem bietet Wasser tagsüber die ideale Voraussetzung für einen intensiven latenten Energiefluss. Im Gegensatz zur aktiven Pflanzenverdunstung, der Transpiration, findet bei offenen Wasserflächen ausschließlich die Evaporation statt. Mit Ende der kurzwelligen Einstrahlung stellt sich eine vergleichsweise energiestromarme Situation ein. Die langwellige Strahlungsbilanz ist nur leicht negativ, dieses Defizit wird in den Abendstunden und während der ersten Nachthälfte vorwiegend der Luft und dem Wasser entzogen. Die Lufttemperatur sinkt nur langsam ab, dabei wird im Hochsommer selten die Wassertemperatur unterschritten. Wenn dies der Fall ist, kann sich über den offenen Wasserflächen flacher Bodennebel bilden, was ein Indiz für das Erreichen der Taupunkttemperatur ist. Im Jahresgang betrachtet dämpft die offene Wasserfläche im Frühjahr und Frühsommer die Erwärmung der Luft, ab dem Hochsommer bis in den Frühwinter hinein mindert das dann vergleichsweise warme Wasser eine stärkere Abkühlung der aufliegenden Luftmassen. Insbesondere ab Mitte Juli wirken in heißen Sommern große offene Wasserflächen nachts als mächtiges Wärmereservoir, wodurch die Luft in klaren Nächten feucht-mild bleibt. Je nach allgemeiner Luftbewegung und vorhandener Realnutzung können sich die thermischen Eigenschaften des Gewässerklimatops einige Dekameter weit in den ufernahen Bereich ausdehnen, größere Reichweiten sind selten.

Klimatische Gunstfaktoren sind somit die durch die geringe Oberflächenrauigkeit begünstigte die Belüftungsfunktion sowie die reduzierte Erwärmung am Tage mit gleichzeitig hoher Verdunstung. Als Folge davon ist die thermische und bioklimatische Belastung tagsüber im Uferbereich gering. Die bioklimatisch günstige Situation ist jedoch unmittelbar auf den Ufersaum beschränkt. Demgegenüber erwärmt sich nächtliche Kaltluft beim Überströmen von Wasserflächen aufgrund der hohen Wärmekapazität der Wasserkörper, was insbesondere bei Fließgewässern wegen der langen Überströmdauer als klimatischer Ungunstfaktor zu bewerten ist.

Neben den klassischen Klimatopen werden noch die großen Deponie- und Steinbruchbereiche sowie die separat ausgewiesenen Verkehrsflächen als eigene Klimatope dargestellt, nicht zuletzt deswegen, weil sie sich den anderen Klimatopklassen nur schwer zuordnen lassen. Sie erhalten die Bezeichnung **Sonderklimatop Abgrabung**. Dazu gehören außerdem der große Kalksteinbruchbereich im Osten des Stadtgebietes sowie die Abraum- und Steinbruchbereiche in Dechbetten, da sie von ihren Charakteristika keinem anderen Klimatoptyp zugeordnet werden konnten. Die zusammen 130 Hektar großen Bruchbereiche haben lokalklimatisch keine wesentlichen Auswirkungen auf die an sie angrenzenden Räume.

6.3 Spezielle Klimafunktionen

In der Klimabestandskarte sind neben den Klimatopen spezielle Klimafunktionen dargestellt. Hierunter sind zusätzliche Modifikationen der Klimatopeigenschaften einzelner Flächen durch natürliche und anthropogene Klimafaktoren zu verstehen. Solche wurden zum überwiegenden Teil auch in die Klimabestandskarte integriert, insbesondere auch, um für diese Themenkarte bundesweit möglichst einheitliche Inhalte verfügbar zu haben. Die Ausprägungen der spezifischen Klimaeigenschaften sind eng an bestimmte Wetterlagen gekoppelt, wobei die windschwachen Strahlungswetterlagen im Vordergrund stehen. Im Einzelnen werden in der Klimabestandskarte die folgenden Eigenschaften ausgewiesen:

Warme Kuppen- und Hangzonen: Diese Bereiche zeichnen sich dadurch aus, dass sie in Strahlungsnächten lange Zeit aus den nächtlichen Bodeninversionen herausragen. Dies wurde im Regensburger Stadtgebiet mehrfach am Standort Keilberg nachgewiesen. So erreichen sie z. T. eine den dichten Bebauungsstrukturen analoge Überwärmung durch eine natürliche Temperaturzunahme mit der Höhe während nächtlicher Inversionswetterlagen. Im Sommer sind die Inversionen häufig niedrig, so dass im Regensburger Stadtgebiet bereits Flächen oberhalb von ca. 375m ü.NN. davon betroffen sein können. Darüber hinaus ist den Kuppenzonen ein hoher Durchlüftungsgrad zuzusprechen, wodurch ebenfalls die nächtliche Abkühlung stark gestört wird.

Bahnanlagen: Größere, geradeaus verlaufende Bahntrassen weisen einen ausgeprägten Temperaturtagesgang (hohe Oberflächentemperaturen tagsüber, niedrige Temperaturen nachts) und zumeist einen guten Luftaustausch auf. Daher kann ihnen für die Belüftung der Innenstädte ein hoher Stellenwert beigemessen werden. Im Untersuchungsraum gilt dies insbesondere für die Bahntrasse zwischen Donau im Westen und dem Regensburger Hauptbahnhof. Diese Luftschneisen dienen weniger dem Kaltlufttransport bei Strahlungswetterlagen, sondern übernehmen Belüftungsfunktionen bei anderen Wetterlagen.

Hauptverkehrsstraßen: Hauptverkehrsstraßen erweisen sich als lineare Emissionsbänder für Luftschadstoffe mit zusätzlich erhöhter Lärmemission. Aufgrund ihrer Breite und geringen Rauigkeit fällt ihnen häufig die Funktion einer belasteten Luftleitbahn zu.

Bioklimatische Entlastung durch Park- und Grünflächen: Die als Parkklimatope bezeichneten Flächen haben aufgrund ihrer besonderen bioklimatischen Funktion einen hohen Stellenwert als wohnumfeldnahe Klimaoasen. Größere Parkflächen mit vielfältigen Vegetationsstrukturen weisen sowohl ähnliche bioklimatische Gunstbedingungen wie der Wald als auch Freilandeigenschaften auf. Damit sind diese Flächen als sehr wertvolle Regenerationsräume für die Bevölkerung anzusehen.

Bioklimatischer Belastungsraum: Bioklimatische Belastungsräume zeichnen sich be-

dingt durch die hohe Versiegelung durch eine starke Erwärmung am Tag und eine ausgeprägte nächtliche Wärmeinsel aus. Dies kann in den Sommermonaten Hitze- und Schwübelbelastungen hervorrufen, die eine starke bioklimatische Belastung für den Menschen darstellen. Zusätzlich wird bei windschwachen Wetterlagen eine Situationsverschlechterung durch lokal emittierte Schadstoffe hervorgerufen.

In einer weiteren Informationsebene der Klimabestandskarte sind die für die Belüftung bedeutsamen Bereiche anhand von Pfeilsignaturen hervorgehoben. Einen hohen Stellenwert in der Stadtklimatologie nimmt der Luftaustausch zwischen den weniger belasteten Entlastungsräumen und den Lasträumen einer Stadt ein. Der kleinräumige Luftaustausch wird in der Karte durch unterschiedliche Pfeilsignaturen dargestellt:

Luftleitbahnen: Luftleitbahnen sind dort wirksam, wo bei geeigneten Wetterlagen durch geringe Reibungshindernisse ein Transport von Luftmassen aus dem Umland in die Stadt oder in angrenzende Stadtstrukturen über gerade aus orientierte Linienelemente stattfindet. Die Strömungen entlang von Leitbahnen können ihren Ursprung in überregionalen oder regionalen Windsystemen haben. Somit sind Luftleitbahnen nicht nur bei austauscharmen Wetterlagen klimarelevant. Sie sind in der Lage, weniger belastete Luftmassen in die Lasträume der Stadt zu transportieren. Luftleitbahnen sind selten breiter als 200 m und ihre Begrenzung wird durch Bebauungsränder oder das Relief vorgegeben.

Hangabwinde: Hangabwinde werden ausschließlich durch die Schwerkraft der Erdanziehung erzeugt, das heißt, es muss ein ausreichendes Gefälle vorhanden sein, um diese Luftbewegung auszulösen. Voraussetzung ist außerdem eine ausreichend hohe Kaltluftproduktion, die in den frühen Abendstunden zunächst auf den Schattenhängen beginnt. Kurz nach Sonnenuntergang kühlen auch die übrigen Hangbereiche aus, so dass auch hier Hangabwinde einsetzen. In der Regel dauern sie bis in die zweite Nachthälfte hinein an. Im Vergleich zu den Luftleitbahnen werden die Luftströmungen dabei nicht gebündelt, sondern es handelt sich um flächenhaft wirksame Strömungen, deren vertikale Mächtigkeit selten mehr als 10 Meter erreicht. Ihr Ziel sind die Talauen, in denen sie bei geringer oder fehlender Talauenneigung zur Bildung von Kaltluftseen führen. Schon wenige Prozent Gefälle reichen allerdings aus, ein weiteres Windsystem anzustoßen, die Bergwinde.

Bergwinde: Bergwinde sind ein ausschließlich in den Nachtstunden zu beobachtendes Phänomen, wobei die Luft in Talräumen entlang dem Gefälle der Talauie strömt. Voraussetzung für Bergwinde sind Hangabwinde, deren Masse sich im Talgrund sammelt und die dann der Talachsenneigung folgend talaufwärts wehen. Voraussetzungen für ein gut funktionierendes Bergwindensystem ist zum einen eine passende Wetterlage (windschwach, wolkenlos), zum anderen eine überwiegend landwirtschaftlich genutzte

Talaue sowie Hangbereiche, auf denen sich in ausreichendem Umfang Kaltluft bilden kann.

7. Allgemeine Planungshinweise

Allgemeine Planungshinweise sind aus der Vielzahl von Stadtklimauntersuchungen abgeleitet worden, die seit der letzten 25 Jahre bundesweit in vielen Städten durchgeführt wurden. Sie stehen übergeordnet über den weiteren Lösungsvorschlägen für die Problemfelder der angewandten Stadtklimatologie im Bezug zum globalen Klimawandel. Sie resultieren auf der einen Seite aus der aktuellen Planungspraxis in den meisten Kommunen und auf der anderen Seite aus den baulich-technischen und den klimatischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels in einem Plangebiet. Einige Anpassungslösungen der bundesweit gültigen Handlungskataloge wie zum Beispiel Dachbegrünungen machen jedoch keinen Sinn, wenn nicht zuvor die baulich-technischen Voraussetzungen abgeklärt werden. Ein effizienter Einsatz von Anpassungslösungen ist nur dann möglich, wenn man in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, in denen ein konkreter Handlungsbedarf besteht, und abzuschätzen, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Kosten-Nutzen-Quotient erreicht wird. Sollen Auswirkungen einer beabsichtigten umfangreicheren Veränderung der Stadtstruktur vorausgesagt werden, ist der Einsatz von numerischen Simulationsmodellen ein mögliches Untersuchungsinstrument. Anpassungslösungen stellen grundsätzliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen dar und sollten deshalb am Beginn aller Überlegungen stehen.

Kurzfristig umsetzbare Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung im städtischen Raum können Begrünungsmaßnahmen im Straßenraum sowie Dach- und Fassadenbegrünungen sein. Ebenfalls kurzfristig realisierbar ist häufig die Schaffung von kleineren offenen Wasserflächen im Innenstadtbereich. Veränderungen im Gebäudedesign, wie die Gebäudeausrichtung, Hauswandverschattung, Wärmedämmung und der Einsatz von geeigneten Baumaterialien können als mittelfristige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel erfolgen. Langfristig umzusetzende Maßnahmen fallen in den Bereich der Freiraumplanung. Aufgrund der sehr langsamen Geschwindigkeit eines nachhaltigen Stadtumbaus besteht hier ein hoher Handlungsdruck für die Stadtplanung. Anpassungsmaßnahmen für Veränderungen, die sich erst in der Zukunft ergeben, sollten jedoch bereits heute beginnen. Im folgenden werden die wesentlichen Inhalte aus aktuellen Stadtklimauntersuchungen vorgestellt. Dazu gehören insbesondere Studien aus Nordrhein-Westfalen, wo einerseits für die Metropolen der Rheinschiene (Köln, Düsseldorf) namhafte Institutionen wie der Deutsche Wetterdienst sowie das Geographische Institut der Universität Bochum tätig waren. Andererseits fließen die Aussagen zahlreicher Klimaanalysen beim Regionalverband Ruhrgebiet in Essen zusammen. Für den Süden Deutschland ist immer wieder die Landeshauptstadt Stuttgart zu nennen, wo im Rahmen der Stadtplanung seit fast 40 Jahren angewandte Stadtmeteorologie betrieben wird. Aus diesen Arbeiten hat sich die "Städtebauliche Klimafibel entwickelt, die

inzwischen als online-Version verfügbar ist.

Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche

Bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist die Zusammenarbeit verschiedener Bereiche innerhalb der Kommune ein entscheidender und das Ergebnis wesentlich beeinflussender Faktor. In vielen Städten und Gemeinden finden einzelne planerische Verfahren (z. B. Bauleitplanung, wasserwirtschaftliche Planung) noch überwiegend getrennt oder zeitlich nachgeschaltet statt. Dementsprechend schwer ist es dort, unterschiedliche Belange in die jeweils anderen planerischen Verfahren einzubringen. Insbesondere die Belange derjenigen kommunalen Ressorts, die lediglich als Träger öffentlicher Belange in Planungsverfahren eingebunden sind, finden im Rahmen der Umsetzung nur selten Berücksichtigung. Durch eine integrierte Zusammenarbeit der verschiedenen Planungsbereiche zu einem möglichst frühen Zeitpunkt der Maßnahmenplanung besteht die Möglichkeit, die verschiedenen Belange frühzeitig zu bündeln, besser untereinander abzuwägen und möglichst in Einklang zu bringen. Eine integrierte Zusammenarbeit kann zum Beispiel ergänzend zur schriftlichen Abfrage von Stellungnahmen im Rahmen regelmäßiger Ressortbesprechungen oder projektbezogener ressortübergreifender Arbeitsgruppen erfolgen. Mögliche Zielkonflikte von Maßnahmen können durch eine integrierte Planung mit Beteiligung verschiedener Fachbereiche entschärft werden, Synergien aufgedeckt und genutzt werden. Durch die integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche kann der Besprechungsaufwand zwar anwachsen, letztlich wird die Planungsarbeit durch frühzeitige Absprachen aber in der Regel erleichtert und qualitativ verbessert.

Überprüfung der technischen Machbarkeit

Für fast alle Anpassungslösungen ist eine Überprüfung der jeweiligen technischen Machbarkeit erforderlich. Diese Maßnahme steht daher übergeordnet über den weiteren Handlungsvorschlägen. Sie resultiert aus den Rahmenbedingungen des Systems, insbesondere aus den baulich-technischen Eigenschaften in einem Plangebiet. So machen einige Anpassungslösungen wie z. B. Dachbegrünungen oder die Begrünung von Straßenzügen keinen Sinn, wenn nicht zuvor die baulich-technischen Voraussetzungen wie Dachstatik oder der Verlauf von Leitungstrassen und Kanälen im Straßenbereich abgeklärt werden. Beispielsweise sind Extensivdächer zur Dachbegrünung dank ihres geringen Gewichts im Unterschied zu intensiv bepflanzten Dachgärten auf fast allen Gebäuden auch nachträglich noch aufsetzbar. Sollen Anpassungsmaßnahmen für ganze Stadtviertel entwickelt werden, ist die Durchführung einer technischen Machbarkeitsstudie sinnvoll, die z. B. klärt, welche Dächer sich zur Begrünung eignen. Das bedeutet

gleichzeitig aber auch einen gewissen Aufwand im Vorfeld der Planungen.

Einbeziehung von Modellierungen in die Planung

Die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Klimaelementen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit oder Wind innerhalb einer Stadt sind so komplex, dass man die Folgen von baulichen oder anderen Veränderungen in einem Stadtviertel nicht ohne weiteres abschätzen kann. Sollen Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur vorausgesagt werden, ist der Einsatz von passenden Simulationsmodellen eine Möglichkeit der Herangehensweise. Solche Modelle können die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen städtischen Klimafaktoren wie Bebauung und Vegetation sowie der Atmosphäre berücksichtigen. Auf diesem Weg ist eine sowohl eine Planung zur Vermeidung von Belastungsräumen als auch die Optimierung bereits vorhandener Strukturen möglich. Während rein qualitative Aussagen zu geplanten Maßnahmen meist von Gutachtern getroffen werden können, ist die Quantifizierung einer Veränderung beispielsweise der Lufttemperatur durch eine Parkanlage nur mittels numerischer Simulation möglich. Eine ökologisch sinnvolle und ökonomisch effiziente Begrünung von städtischen Gebieten ist folglich nur möglich, wenn man in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, in denen ein Handlungsbedarf besteht, und abzuschätzen, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Kosten-Nutzen-Quotient erreicht wird.

Solche Modelle erfassen urbane Strukturen als Gesamtsystem und beschreiben dynamische klimatologische Vorgänge. Es werden Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und Sonneneinstrahlung einbezogen. Durch die Wechselwirkungen von Sonne und Schatten sowie die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Materialien entwickeln sich im Laufe eines simulierten Tagesganges z.B. unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die ihrerseits in Abhängigkeit vom Windfeld ihre Wärme mehr oder minder stark an die Luft abgeben. Um Wechselwirkungen zwischen der Vegetation und der Atmosphäre zu simulieren, kann mit diesen Methoden zumindest ansatzweise auch das physiologische Verhalten von Pflanzen nachgebildet werden.

Festlegen von Bebauungsgrenzen

Um auch bei schwacher Luftbewegung eine ausreichende Stadtbelüftung zu gewährleisten, ist eine geringe Flächenausdehnung und Bebauungsdichte der Siedlungskörper erforderlich. So kann durch das Heranführen von Frisch- und Kaltluft aus der Umgebung die Hitzebelastung in den Innenstädten deutlich abgemildert und auch die lufthy-

gienische Situation dort verbessert werden. Im Umland einer Stadt sollten daher ausreichend Freiflächen für den Luftaustausch mit der Innenstadt zur Verfügung stehen. Insbesondere, wenn nur wenige Freiflächen als Pufferraum zwischen dicht nebeneinander liegenden Stadtteilen vorhanden sind oder durch weitere Baumaßnahmen mit einer Einschränkung der Frischluftzufuhr zu rechnen ist, sollten gezielt Bebauungsgrenzen festgesetzt werden. Damit kann der Erhalt klimatisch wertvoller Freiräume gesichert und einer Zersiedelung des Stadtgebietes entgegengewirkt werden. Innerstädtische Grünzüge sollten – wo immer möglich – vernetzt werden. Zur Sicherung der Stadtbelüftung über innerstädtische Grünzüge und Frischluftschneisen müssen auch diese Räume durch Festsetzung von Bebauungsgrenzen freigehalten werden. Durch das Festsetzen von Bebauungsgrenzen werden somit folgende Ziele verfolgt:

- Schutz des Außenraumes vor weitergehender Bebauung
- Schutz innerstädtischer Regenerationsflächen vor zusätzlicher Bebauung

Zwischen dem Freihalten von innerstädtischen Flächen und den Zielen einer klimaschonenden Stadtentwicklung ergeben sich häufig Zielkonflikte. Eine Bebauung von Freiflächen führt zu kompakten Siedlungsstrukturen, die flächen-, verkehrs- und energiesparend sind. Andererseits wird durch die Verdichtung der Bebauung der Wärmeinseleffekt verstärkt. Daher sollte mindestens als Kompromiss versucht werden, Bebauungsgrenzen anzustreben und nur in besonderen Ausnahmefällen Überschreitungen dieser zuzulassen. Eine sorgfältige Gestaltung der verbleibenden innerstädtischen Freiflächen kann den negativen Effekten der Verdichtung entgegenwirken.

Freiflächen erhalten und schaffen, Flächen entsiegeln

Neben der Bedeutung von Grünflächen als Gliederungselement in den städtischen Siedlungsräumen ist ihre Funktion als innerstädtische thermische Ausgleichsfläche besonders hervorzuheben. Die klimatische Reichweite innerstädtischer Freiflächen variiert dabei in Abhängigkeit von der Flächengröße, ihrer Ausgestaltung sowie ihrer Anbindung an die Bebauung. Bei einer ausreichenden Flächengröße ist eine klimaregulierende Funktion zumindest innerhalb der Grünflächen gewährleistet. Eine besondere Funktion kommt den Grüngürteln als Trennungselement zwischen Wohngebieten und emittierenden Industrie- und Gewerbegebieten oder stark befahrenen Straßen zu. Hier erfüllen sie einerseits eine Abstandsfunktion, andererseits bewirken sie zusätzlich eine Verdünnung und Filterung von Luftschadstoffen. Darüber hinaus fördern Grünzüge durch die Entstehung kleinräumiger Luftaustauschprozesse eine Unterbrechung von Wärmeinseln. Bei einer engen Vernetzung und einer stadträumlich sinnvollen Anordnung tragen daher auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung des Wärmeinseleffekts bei. Kleine, isoliert liegende Grünflächen, wie z. B. begrünte Innenhöfe, zeigen zwar keine über die Fläche

hinausreichende Wirkung, nehmen aber als Klimaoasen gerade in den dicht bebauten Innenstädten wichtige Aufgaben als lokale Freizeit- und Erholungsräume wahr.

Das größte Hindernis bei der Schaffung von innerstädtischen Grünflächen ist und bleibt der Platzmangel in den Innenstädten.

Parkanlagen schaffen, erhalten und umgestalten

Urbane Grünflächen haben eine hohe Bedeutung für das Lokalklima, da von Ihnen eine kühlende Wirkung ausgeht. Tagsüber führt eine Freifläche, die idealerweise aus Wiese mit Sträuchern und lockerem Baumbestand besteht, durch Schattenwurf und Energieverbrauch aufgrund von Evapotranspiration zu einem thermisch ausgleichenden Bereich für die bebaute Umgebung. Nachts wirken Freiflächen durch Kaltluftbildung und Luftaustausch kühlend auf die Umgebung.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass Kühlungseffekte ab einer Parkgröße von 2,5ha zu messen sind und die Reichweite der kühlenden Wirkung eines innerstädtischen Parks etwa dem Durchmesser des Parks entspricht. Eine klimatische Fernwirkung ergibt sich erst bei ausgedehnten Parkanlagen ab 50ha. Bei einer engen Vernetzung tragen auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung der Wärmeinsel bei.

Begrünung von Straßenzügen

Im innerstädtischen Bereich kann eine Aufheizung durch Begrünung von Straßenzügen mit Bäumen und Sträuchern vermindert werden. Der Schattenwurf der Vegetation sowie Verdunstung und Transpiration der Pflanzen reduzieren die Aufheizung der versiegelten Stadtbereiche. Im Bereich von Luftleitbahnen sollten Anpflanzungen aber keinesfalls Hindernisse für Kalt- und Frischluftströmungen bilden. Bei der Auswahl von geeigneten Straßenbäumen ist zu beachten, dass ein geschlossenes Baumkronendach in einer Straßenschlucht durch verminderten Luftaustausch zu einer Anreicherung von Luftschadstoffen im unteren Straßenraum führen kann. Es gibt auf der anderen Seite aber auch Straßenabschnitte mit einer sehr guten Durchlüftungssituation, bei denen Baumreihen aus lufthygienischer Sicht unbedenklich sind. Lufthygienische Bedenken gegen eine Begrünung mit Bäumen gelten natürlich nur dort, wo sich unterhalb der Baumkrone signifikante Emissionsquellen befinden. Wenig befahrene Straßenabschnitte, Plätze und Fußgängerzonen können durch eine großzügige Begrünung mit Straßenbäumen lokalklimatisch verbessert werden. Bei der Auswahl von geeigneten Baumarten für die Begrünung im innerstädtischen Raum, dies gilt für eine Begrünung von Straßenzügen ebenso wie bei Parkbäumen, sind insbesondere die Faktoren Standortansprüche und Verkehrssicherheit zu beachten, denn Stadtbäume müssen sich auf veränderte, durch

den Klimawandel verursachte Bedingungen einstellen. Insbesondere die zunehmende Sommerhitze in den Städten und damit verbundene sommerliche Trockenperioden fordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Stadtbäumen für die Zukunft.

Eine Straßenbaumliste mit fachlichen Empfehlungen wird z.B. vom Arbeitskreis Stadtbäume der Grünflächenamtsleiterkonferenz herausgegeben und laufend aktualisiert. So werden verschiedene Baumarten auf ihre innerstädtische Eignung für den Extremstandort Straße in verschiedenen Regionen in Deutschland getestet. Das Ziel dieses Arbeitskreises ist es auch, die Artenvielfalt in den Städten zu erhöhen und damit möglichen Risiken durch neue, wärmeliebende Schädlinge vorzubeugen.

Dachbegrünung

Begrünte Dächer stellen in der Regel die kleinsten Grünflächen in Stadtgebieten dar. Sie haben positive Auswirkungen auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential von Gebäuden. So wärmt sich die Dachhaut an heißen Sommertagen weniger stark auf, wodurch sich -ausreichende Dämmung vorausgesetzt- ein wesentlich angenehmeres Rauminnenklima im Dachgeschoss ausbilden kann. Die Innentemperaturen der Raumdecken lassen sich um bis zu 10°C reduzieren. Das Blattwerk, das Luftpolster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern das Aufheizen der Dachfläche im Sommer und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Dies führt zu einer ausgeglicheneren Klimatisierung der darunter liegenden Räume. Dadurch lässt sich in diesen Räumen der Einsatz von Klimageräten zumindest erheblich reduzieren, gleichzeitig verringert sich der Energieverbrauch während der winterlichen Heizperiode. Erst in einem größeren Verbund können sich auch positive Auswirkungen auf das Mikroklima eines kompletten Stadtquartiers ergeben. Die thermischen Effekte von Dachbegrünungen liegen dann hauptsächlich in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf.

Ein weiterer wesentlicher positiver Effekt von Dachbegrünungen ist die Auswirkung auf den Wasserhaushalt. 70% bis 100% der Niederschläge werden in der Vegetationsschicht aufgefangen und durch Verdunstung wieder an die Stadtluft abgegeben. Dies reduziert den Feuchtemangel und trägt zur Abkühlung der Luft in versiegelten Stadtteilen bei. Starkniederschläge werden reduziert und zeitverzögert an die Kanalisation abgegeben und entlasten damit das Stadtentwässerungsnetz.

Zur Förderung von Gründächern stehen den Kommunen unterschiedliche Instrumente zur Verfügung. Förderprogramme für die finanzielle Bezuschussung von Dachbegrünungsmaßnahmen bieten Anreize für die Begrünung von Dächern privater Häuser im Bestand ebenso wie bei Neubauvorhaben. Neben finanziell geförderten Dachbegrünungen können bei Neubauvorhaben im Rahmen der Bauleitplanung Dachbegrünungen

in Bebauungsplänen festgeschrieben werden oder im Rahmen der Eingriffs- und Ausgleichsregelung als Maßnahme zur Eingriffsminderung angerechnet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Förderung von begrünten Dächern bietet die Abwassergebührenordnung, indem über verminderte Gebühren Anreize für Dachbegrünungen geschaffen werden. Nicht nur Flachdächer, sondern auch leicht geneigte Dächer eignen sich zur Begrünung. Extensive Dachbegrünungen sind dank ihres geringen Gewichts im Unterschied zu intensiv bepflanzten Dachgärten auf fast allen Gebäuden auch nachträglich noch aufsetzbar.

Fassadenbegrünung

Die Begrünung von Hausfassaden wirkt sich ähnlich wie die Dachbegrünung positiv auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential von Gebäuden aus. Fassadenbegrünungen verbessern in erster Linie die mikroklimatischen Verhältnisse am Gebäude selbst, ohne eine Fernwirkung zu erzielen. Die thermischen Effekte von Fassadenbegrünungen bestehen in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf. Das Blattwerk, das Luftpolster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern analog zur Dachbegrünung das Aufheizen der Hauswände bei intensiver Sonneneinstrahlung und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Um die Wärme der winterlichen Sonneneinstrahlung nutzen zu können, kann eine Fassade mit laubabwerfenden Pflanzen (z. B. wilder Wein) begrünt werden. Durch den Schutz des Blattwerks verringert sich auch die Feuchtebelastung des Mauerwerks. Schäden durch die Begrünung sind bei intaktem Mauerwerk ohne Risse nicht zu erwarten. Neben diesen klimatischen Effekten können Fassadenbegrünungen auch positiv auf die lufthygienische Situation im Innenstadtbereich wirken, da sie Luftverunreinigungen – vor allem Feinstaub - herausfiltern. Insbesondere in engen Straßenschluchten ohne Platz für andere Begrünungsmaßnahmen stellen Fassadenbegrünungen die einzig wirkungsvolle Alternative dar.

Erhalt und Schaffung von Frischluftflächen

Als frischluftproduzierende Gebiete gelten vegetationsgeprägte Freiflächen wie Wälder und Parkanlagen sowie städtische Siedlungen mit einem hohen Grünflächenanteil und einem geringen Versiegelungsgrad. Die Entstehung von Kalt- und Frischluft über einer natürlichen Oberfläche wird durch die thermischen Stoffeigenschaften des Oberflächensubstrates bestimmt. So speichern Böden mit hoher Dichte die Wärme besser und sind daher schlechtere Kaltluftproduzenten als solche mit geringer Dichte und damit geringerer Wärmespeicherfähigkeit. Feld- und Wiesenflächen kühlen stärker aus und produzieren damit deutlich mehr Kaltluft als Waldgebiete. Zusätzlich ist die Wirksamkeit von

Frischluffflächen stark von deren Größe abhängig. Durch den Erhalt und die Schaffung zusätzlicher frischluftproduzierender Flächen und deren Vernetzung kann eine Verstärkung ihrer Wirksamkeit erzielt werden. Die Anbindung der Innenstadt an Frischluftflächen trägt zur Unterbrechung oder Abschwächung von Wärmeinseln bei und schafft stadtklimatisch relevante Regenerationsräume. Diese Anbindung über Luftleitbahnen und Frischluftschneisen sollte möglichst ohne Anreicherung mit Schadstoffen erfolgen. Flächen, die aufgrund des industriellen und demographischen Wandels frei werden, sollten im Rahmen der Stadtplanung auf ihre Relevanz für ein funktionierendes Stadtbelüftungssystem hin geprüft und gegebenenfalls nicht wieder zur Bebauung freigegeben werden. Das Leitbild der kompakten Stadt mit kurzen Wegen, das als dominierendes Siedlungsstrukturkonzept unter den städtebaulichen Leitbildern gilt, kollidiert jedoch stark mit den Maßnahmen zur Schaffung und zum Erhalt von Freiflächen, so dass hier ein Abwägungsprozess stattfinden muss.

Offene Wasserflächen schaffen

Die Verdunstung von Wasser verbraucht Wärmeenergie aus der Luft und trägt so zur Abkühlung der aufgeheizten Innenstadtluft bei. Über eine Steigerung des Anteils von Wasser- und Grünflächen in Städten kann damit ein Abkühlungseffekt erzielt und gleichzeitig in der meist relativ trockenen Stadtatmosphäre die Luftfeuchtigkeit erhöht werden. Dabei wiegt in der Regel die positive Wirkung des Abkühlungseffektes durch die Verdunstung die Nachteile einer eventuell häufiger auftretenden Schwüle im urbanen Gebiet auf. Bewegtes Wasser wie innerstädtische Springbrunnen oder Wasserzerstäuber tragen insgesamt in größerem Maß zur Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen. Offene Wasserflächen haben zudem eine ausgleichende Wirkung auf die Lufttemperaturen in der Umgebung. Wasser erwärmt sich im Vergleich zur Luft verhältnismäßig langsam, dadurch sind Wasserflächen im Sommer relativ kühl und im Winter relativ warm.

Gebäudeausrichtung optimieren

Während es in den heißen Klimazonen der Erde schon immer einen klimaangepassten Städtebau (z. B. enge Gassen mit Verschattung der Hauswände, helle Oberflächen) gegeben hat, ist in unseren Regionen dringend ein Umdenken erforderlich. Um die künftige steigende Hitzebelastung im Sommer zu verringern, sollte die Stadt- und Gebäudearchitektur angepasst werden, ohne dabei die Vorteile der Sonnennutzung - insbesondere im Winter - aus den Augen zu lassen.

Primär geht es darum, durch eine intelligente Gebäudeausrichtung den direkten Hitze-

eintrag zu reduzieren. Eine sekundäre Strategie ist es, eine gute Durchlüftung mit ihrer kühlenden Wirkung zu erreichen. Bei der Gebäudeplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz durch eine geeignete Gebäudeausrichtung erreicht werden. Die räumliche Anordnung von Gebäuden sollte dazu unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition erfolgen. Dabei ist auch auf die Jahreszeiten Rücksicht zu nehmen, so dass es sinnvoll ist, bei der Gebäudeausrichtung beispielsweise Schlafräume so einzuplanen, dass der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird. Sommerräume brauchen Schatten und Wind, Winterräume brauchen Sonne.

Somit ist dies eine Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel, die sich in der Regel nur bei Planungen von Neubaugebieten und nicht im Bestand anwenden lässt.

Hauswandverschattung, Wärmedämmung

Durch zunehmenden Hitzestress im Sommer kommt der Kühlung von Gebäuden in Zukunft eine steigende Bedeutung zu. Die Nutzung konventioneller Klimaanlage lässt den Energieverbrauch im Sommer stark ansteigen und hat damit negative Auswirkungen auf den Klimaschutz. Der Einsatz regenerativer Energien für Klimaanlage und vor allem die Passivkühlung – beispielsweise über Erdwärmetauscher – können solche Zielkonflikte verhindern. Bei der Gebäudeplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz neben der Gebäudeausrichtung auch durch eine Hauswandverschattung mittels Vegetation, durch angebaute Verschattungselemente und mittels Wärmedämmung erreicht werden. Dabei haben viele Maßnahmen beim Hausbau, die eigentlich der Energieeinsparung und damit dem Klimaschutz dienen, auch positive Effekte auf die Klimaanpassung. Eine gute Wärmedämmung gegen Energieverluste im Winter wirkt beispielsweise auch als Hitzeschutz gegen eine übermäßige Aufheizung der Wohnungswände im Sommer. Passivhäuser mit einem hohen Potential an Energieeinsparung sind im Sommer aufgrund des serienmäßigen Lüftungssystems angenehm kühl. Verschattungen beispielsweise durch eine im Süden des Gebäudes angebrachte Pergola, führen im Sommer bei hoch stehender Sonne um die Mittagszeit zur Verschattung, in den Morgen- und Abendstunden und im Winter erreicht die tief stehende Sonne das Haus. Diese Maßnahme lässt sich auch nachträglich zur Optimierung von Gebäuden einsetzen und damit auch gut im Bestand anwenden.

Geeignete Baumaterialien verwenden

Durch Wärmezufuhr bzw. -abfuhr wird die Temperatur eines Körpers verändert. Wie viel Wärme pro Zeiteinheit unter Temperaturzunahme aufgenommen wird, hängt von der Art des Stoffes ab. Städtische Baumaterialien erwärmen sich deutlich stärker als natürliche

Oberflächen. Insbesondere Stahl und Glas haben einen großen Wärmeumsatz, d. h. sie erwärmen sich tagsüber stark und geben nachts viel Energie an die Umgebungsluft ab. Das Gegenteil ist bei natürlichen Baumaterialien wie z. B. Holz der Fall. Um die Wärmebelastungen zu verringern, ist daher der gezielte Einsatz von Baumaterialien nach ihren thermischen Eigenschaften sinnvoll. Abhängig von der Oberfläche des Materials wird ein Teil der eingestrahlten Sonnenenergie sofort wieder reflektiert und steht damit nicht zur Erwärmung zu Verfügung. Helle Baumaterialien erhöhen diesen Effekt, reflektieren also mehr kurzwellige Sonneneinstrahlung. Dadurch heizen sich hell gestrichene Häuser oder Straßen mit hellem Asphaltbelag weniger stark auf. Großflächig in der Stadtplanung angewandt, kann somit der Wärmeinseleffekt verringert werden. Die Maßnahmen eignen sich besonders in Stadtquartieren, wo aus Platzmangel keine zusätzliche Begrünung möglich ist.

Erhalt und Schaffung von Luftleitbahnen

Frischluftschneisen und Luftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete oder Frischluftflächen mit der Innenstadt und sind somit ein wichtiger Bestandteil des städtischen Luftaustausches. Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind sie klimarelevant, da über sie geringer belastete Luftmassen in die belasteten Räume der Stadt transportiert werden. Stadtklimatisch relevante Luftleitbahnen lassen sich grob in drei Kategorien einteilen:

Ventilationsbahnen gewährleisten einen Luftmassentransport unabhängig von der thermischen oder lufthygienischen Ausprägung

Kaltluftbahnen transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen.

Frischluftbahnen leiten lufthygienisch unbelastete, thermisch aber nicht näher differenzierte Luftmassen.

Das Relief innerhalb und außerhalb eines Stadtkörpers kann im Fall von Tälern zu Kanalisierungseffekten führen. Hierdurch kann frische, kühle Umlandluft weit in den Stadtkörper hineingeführt werden. In Strahlungsnächten kann auch bei entgegengesetzter Strömung in der freien Atmosphäre bodennahe Kaltluft hangabwärts fließen und in die Bebauung vordringen. In heißen Sommernächten kann dies zu einer lokalen Abkühlung im Bereich der städtischen Bebauung führen. Zu ungünstigen immissionsklimatischen Verhältnissen führen Inversionswetterlagen mit geringer Luftbewegung, die insbesondere in Tallagen bei vorhandenen Emittenten das Immissionsklima nachhaltig verschlechtern.

Die Wirkung von Luftabflüssen auf die Bebauung ist generell auf die unmittelbare

Nachbarschaft begrenzt, solange die Schichtdicke der Kalt-/ Frischluft die Höhe der städtischen Bebauung nicht um ein Mehrfaches übertrifft. Häufig erschweren bereits bestehende Stadtstrukturen die Belüftung über Luftleitbahnen, so dass primär zumindest die Ausweisung von Platz sparenden Belüftungszonen erreicht werden sollte. Ein den Austausch hemmender Faktor ist in der Wirkung von hoher und dichter Vegetation (Sträucher und Bäume) als Strömungshindernis im Bereich von Luftleitbahnen zu sehen. Hier führt die Vegetation zur Reduzierung der bodennahen Windgeschwindigkeit, so dass der Austausch erschwert sein kann. Besonders nachteilig wirkt sich dieser Effekt auf strahlungs nächtliche, häufig nur schwach ausgebildete Kaltluftabflüsse aus.

Hänge von hangparalleler Riegelbebauung freihalten

Große Freiflächen mit Kaltluftproduktion und Tallagen mit Fließrichtung Innenstadt gelten als besonders sensible Flächen zur Stadtbelüftung, die auch bei Schwachwindwetterlagen zu einer wirksamen Stadtbelüftung durch Kaltlufttransport beitragen. Damit Frischluft auch bei schwachen Windströmungen von außen in die Stadt gelangen kann, darf die Bebauung am Stadtrand keine abriegelnden Bebauungsgürtel bilden. Die Hänge entlang von Kaltluftbahnen sollten von hangparalleler Riegelbebauung freigehalten werden. Negative Auswirkungen des Reliefs sind zu erwarten, wenn die Talsohle und die Talhänge urbane Flächennutzungen aufweisen. Die Bebauung kann die bodennahe Ventilation verringern. Im ungünstigsten Fall bildet eine quer zur Talachse oder längs zur Hangausrichtung orientierte Bebauung einen Strömungsriegel, der bei schwachen Bodenwinden eine Ventilation der leeseitigen Bebauung beeinträchtigen oder sogar vollständig verhindern kann. Hangbebauungen sollten, wo nicht auf sie verzichtet werden kann, mit großen Abständen und mit niedrigen Höhen erfolgen. Die positive Wirkung von Lüftungsschneisen entsteht nur bei zusammenhängenden Freiflächen.

Bei Berücksichtigung dieser Aspekte ist es möglich, einen Zielkonflikt zwischen den positiven Auswirkungen von Südhangbebauungen aus energetischen Gesichtspunkten für den Klimaschutz und den Anforderungen der Stadtbelüftung zu vermeiden.

Verschattungselemente einbauen

Neben den Anforderungen der Wohnbevölkerung an den Schutz vor Auswirkungen des Klimawandels ist auch der Aspekt der Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität und der Produktivität der arbeitenden Bevölkerung im innerstädtischen Bereich zu berücksichtigen. Eine einfache Möglichkeit, die Hitzebelastungen aufgrund direkter Sonneneinstrahlung am Tage zu verringern, ist der Einbau von Verschattungselementen. Dabei

reichen die Methoden der Verschattung von sonnenstandsgesteuerten Außenrollos - beispielsweise an Bürogebäuden - über Sonnensegel als Schattenspender auf besonnten innerstädtischen Plätzen bis hin zu Arkaden, die die Aufenthaltsqualität in stark besonnten Einkaufsstraßen erhöhen.

Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation

Durch den Klimawandel verursachte geänderte klimatische Bedingungen mit zunehmender Sommerhitze in den Städten und damit verbundenen sommerlichen Trockenperioden haben erhebliche Auswirkungen auf die urbane Vegetation. Eine Möglichkeit zur Anpassung an diese neuen Bedingungen ist die künstliche Bewässerung derjenigen begrünten Flächen, auf denen während Trockenperioden zu wenig Grundwasser oder Bodenfeuchtigkeit zur Verfügung stehen. Diese Lösung verursacht allerdings Konflikte mit der Sicherung der allgemeinen Wasserversorgung während längerer Trockenperioden im Sommer. Eine Alternative zur künstlichen Bewässerung von Flächenbegrünung auf sommertrockenen Standorten im urbanen Raum ist daher ggf. der Ersatz von einheimischen Arten durch Bepflanzung mit trockenresistenten Arten.

Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten

Bei der Auswahl von geeigneten Pflanzenarten für die Begrünung im innerstädtischen Raum - dies gilt für eine Begrünung von Straßenzügen ebenso wie für Parkanlagen - ist neben Faktoren wie Standortansprüchen und Verkehrssicherheit zu beachten, dass die Vegetation auch den zukünftigen klimatischen Bedingungen gerecht wird. Insbesondere die zunehmende Sommerhitze in den Städten und damit verbundene längere Trockenperioden erfordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Pflanzen. Wärmeresistente Pflanzenarten mit geringem Wasserbedarf sind zukünftig besser für innerstädtische Grünanlagen geeignet. Um eine ausreichende Vielfalt mit Pflanzenarten, die eine sehr hohe Trockenstresstoleranz haben, zu erreichen, ist es notwendig, neben heimischen Arten auch Arten aus Herkunftsgebieten mit verstärkten Sommertrockenzeiten zur Bepflanzung heranzuziehen. Durch eine erhöhte Artenvielfalt im städtischen Raum kann möglichen Risiken durch neue, wärmeliebende Schädlinge vorgebeugt werden.

Neubau von Verkehrsflächen mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit

Wie viel Wärme in welcher Zeit bei zunehmenden Temperaturen von einem Baukörper aufgenommen wird, hängt dabei von der Art des Stoffes ab. Asphaltierte oder gepflasterte Verkehrsflächen erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Da Straßen und Verkehrswege in dicht bebauten Innenstädten rund 10% und mehr der

Fläche ausmachen, können sie erheblich zum Erwärmungseffekt beitragen. Zur Verringerung von Bodenerwärmungen ist daher auch hier der gezielte Einsatz von Materialien mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit sinnvoll. Helle Beläge auf Verkehrsflächen reflektieren im Gegensatz zu dunklem Asphalt einen größeren Anteil der einstrahlten Sonnenenergie sofort wieder und können damit das Aufheizen von Leitungssystemen erheblich verringern. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Oberfläche von hellem Beton um bis zu 13°C weniger erwärmt als dunkler Asphaltbelag.

Nutzung von Überschussmengen aus der örtlichen Grundwasserbewirtschaftung

Der zu erwartende Anstieg der Niederschläge in den Wintermonaten kann in vielen Teilen Deutschlands zu einer erhöhten Grundwasserneubildung und damit zu steigenden oberflächennahen Grundwasserspiegeln führen. Hieraus ergäbe sich im Bedarfsfall, z. B. in längeren Hitzeperioden im Sommer mit erhöhtem Wasserverbrauch (u. a. zur Bewässerung im öffentlichen Raum und auf Privatgrundstücken) ein größeres zu bewirtschaftendes Dargebot, das – je nach Verfügbarkeit und Grundwasserqualität – für folgende Verwendungen eingesetzt werden kann:

- zur städtebaulichen Gestaltung (künstliche Wasserläufe, Brunnen, Fontänen)
- zur Bewässerung weitläufiger städtischer Grünanlagen
- zur Speisung von neuen Wasserflächen (Kühlungspunkten) z. B. in Parks

Weitere – wenn auch beschränkte – Anwendungsmöglichkeiten in Verbindung mit einer umfassenden urbanen Regenwasserbewirtschaftung könnten die Speisung vertikaler Kühlungsflächen an Gebäuden oder eine Nutzung zur Straßenreinigung, für Kanalspülungen oder in Autowaschanlagen sein.

Aufruf zu wassersparendem Verhalten in Trocken- und Hitzeperioden

In südlichen Ländern, in denen bereits heute längere Trockenperioden auftreten und Wasserknappheit vorherrscht, ist es längst üblich, dass – beispielsweise in Hotels – auf das Problem der Wasserknappheit hingewiesen und ein sparsamer Umgang mit Wasser gefordert wird. In Deutschland wird auch zukünftig die Versorgungssicherheit bei zunehmenden Hitzeperioden und höherem Spitzenverbrauch nach derzeitiger Bewertung nicht gefährdet sein. Trotzdem kann es auch hier in längeren Trockenphasen zu zeitweiligen regionalen Engpässen kommen. In solchen Phasen sollten nicht nur die Bevölkerung, sondern auch Industrie, Energieerzeugung oder die Landwirtschaft zu einem sparsamen Umgang mit Wasser aufgerufen werden, etwa indem verstärkt Brauchwasser verwendet wird. Verhaltensempfehlungen und Tipps zum sparsamen

Umgang mit Wasser können auch über z. B. Informationsblätter verbreitet werden. Der sparsame Umgang mit Wasser kann auf der anderen Seite dazu führen, dass eine ausreichende Durchspülung der Kanalnetze nicht mehr gewährleistet ist. Daher müssen jeweils lokal spezifisch Lösungen gefunden werden.

Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht (Durchwurzelung)

Wesentlichen Einfluss auf die Siedlungswasserwirtschaft gewinnt die hitzebedingte Austrocknung der oberen Bodenschicht dadurch, dass die ersten Niederschläge nach einer Trockenperiode nicht in den ausgetrockneten Boden eindringen können, sondern oberflächlich abfließen. Die Folgen können eine höhere Bodenerosion, eine verringerte Grundwassererneuerungsrate und insbesondere deutlich erhöhte Niederschlagsabflüsse in die Siedlungsentwässerungssysteme, in die nächsten Oberflächengewässer und – je nach Leistungsfähigkeit der Entwässerungssysteme – auch in tiefer liegende Siedlungsgebiete und Infrastrukturanlagen sein. Eine verbesserte Versickerung wird erreicht, indem urbane Flächen mit Vegetation bepflanzt werden, deren Wurzelwerk den Untergrund auflockert. Durch eine gleichmäßige Durchwurzelung der oberen Bodenschichten wird die Durchlässigkeit von Böden verbessert. Die Pflanzenauswahl orientiert sich an den Anforderungen einer extensiven Pflege und benötigt überwiegend trockenheitsverträgliche, aber überstautolerante Arten. Der Wirkungsgrad von Stauden auf die Bodendurchlässigkeit liegt im Schnitt etwa um ein Drittel höher als der von Rasen. Ursache hierfür ist die bei Stauden intensivere Durchwurzelung des Bodens. Bedingt durch ein vergleichsweise geringes Angebot an wasserspeichernden Poren in der Oberbodenaufgabe werden die Pflanzen gezwungen, auch tiefer liegende Bodenschichten intensiver zu erschließen. Die Wurzelaktivität begünstigt die Kapillarität und Porosität im Untergrund, was sich positiv auf die Versickerungsleistung auswirkt. Im Fall von Rasen befindet sich mehr als 95% der Wurzelmasse in Oberbodenschichten bis 20 cm Dicke. Bei Stauden können dagegen artabhängig innerhalb von fünf Jahren bereits bis zu 75% der Wurzeln 40 cm tief in den Boden einwachsen.

8. Rechtliche Grundlagen für eine klimagerechte Stadtplanung

Die erarbeiteten Klimaanpassungsoptionen für Kommunen enthalten eine Reihe von Maßnahmen, die unmittelbare Relevanz für die Stadtentwicklung und die städtebauliche Planung haben. In der aktuellen kommunalen Planungspraxis stehen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel noch nicht im Vordergrund, sondern vielmehr Maßnahmen zum Klimaschutz, zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung. Ursachen hierfür können u. a. sowohl in der negativen Konnotation von Starkregenereignissen, Hitze- und Trockenperioden als auch im oftmals noch mangelnden Bewusstsein innerhalb der Öffentlichkeit und der Verwaltung gesehen werden. Auch im für die Stadtentwicklung und -planung rechtlich maßgeblichen Städtebaurecht ist die Bedeutung der Klimawandelanpassung nicht deutlich erkennbar, während die Verantwortung für den Klimaschutz im Rahmen der Bauleitplanung bereits in §1 Abs. 5 Satz 2 BauGB enthalten ist: „Bauleitpläne sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln, auch in Verantwortung für den allgemeinen Klimaschutz, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln“.

Dem Klimawandel und notwendigen Anpassungsmaßnahmen kann eine große Bedeutung für die Stadtentwicklung und -planung beigemessen werden. Zwar weist nicht jede Folge des Klimawandels eine Relevanz für die räumliche Planung auf, doch ist sie dann gegeben, wenn die Folgen raumbedeutsam im Sinne des §1 Abs. 1 bzw. §7 Abs. 3 Raumordnungsgesetz (ROG) sind bzw. im konkreten Bezug zur Bodennutzung stehen (vgl. hierzu Art. 74 Abs. 1 Nr. 18 GG i. V. m. §1 Abs. 1 BauGB). Ist dieser Bezug gegeben, fallen die Folgen des Klimawandels auch unter die Behandlung in der Bauleitplanung, da sie mit ihren räumlichen Auswirkungen die bauliche und sonstige Nutzbarkeit von Flächen einschränken bzw. da auf Flächen besondere (bauliche) Vorkehrungen oder Sicherungsmaßnahmen gegen äußere Einwirkungen, wie Naturgewalten oder schädliche Umwelteinwirkungen, getroffen werden müssen oder diese Flächen als Schutzflächen gegen die genannten Einwirkungen von einer Bebauung freizuhalten sind (vgl. §5 Abs. 3 Nr. 1 BauGB und §9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB).

Sowohl für Maßnahmen des Klimaschutzes als auch für solche zur Anpassung an den Klimawandel gilt grundsätzlich, dass diese nur dann im Rahmen der Bauleitplanung zu behandeln sind, wenn ihr Zweck dem mit der Bauleitplanung verbundenen unmittelbaren Aufgabenbereich der Städte und Gemeinden, der städtebaulichen Entwicklung, dient. Auch die ARGEBAU hat dies deutlich formuliert: „Festsetzungen in Bebauungsplänen können nur aus städtebaulichen Gründen getroffen werden. Die Bauleitplanung ist nach §1 Abs. 1 und 3 BauGB ein Instrument zur städtebaulichen Entwicklung, das die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke vorzubereiten und zu leiten hat, es geht also um Bodenrecht (vgl. auch Art. 74 Abs. 1 Nr. 18 GG). §1 Abs. 1 BauGB steht

in einem inneren Zusammenhang mit Art. 28 Abs. 2 GG, der den Gemeinden als Teil der Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft das Recht gewährleistet, in eigener Verantwortung im Rahmen des Gesetzes für ihr Gemeindegebiet die Bodennutzung zu regeln“. Die hier entwickelten und vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel stehen daher nicht im direkten Fokus der Bauleitplanung und rechtfertigen allein noch keine städtebauliche Planung, können aber im Rahmen einer ohnehin geplanten städtebaulichen Entwicklung, z. B. im Zuge der Änderung des Flächennutzungsplans oder der Ausweisung neuer Baugebiete, durch entsprechende Darstellungen in Flächennutzungsplänen oder Festsetzungen in Bebauungsplänen berücksichtigt werden.

Aus den definierten Problemfeldern lassen sich folgende Ziele und Aufgaben einer klimagerechten Stadtentwicklung und -planung ableiten:

- Aufenthaltsqualität insbesondere in hoch verdichteten städtischen Räumen im Hinblick auf thermische Behaglichkeiten verbessern; Wärmeinseln abbauen,
- städtische Durchlüftung (Luftaustausch, Luftleitbahnen) optimieren; Frischluftzufuhr fördern; Frischluft- oder Kaltluftentstehungsgebiete erhalten und schaffen,
- inversionsbedingte Luftstagnation und Barrieren für den Luftaustausch vermeiden,
- Freisetzung von Luftschadstoffen und Treibhausgasen reduzieren,
- existierende oder zu erwartende klimabedingte Belastungen für das gesamte Stadtgebiet identifizieren und sachgerecht bewerten,
- auf Belastungssituationen durch die Anpassung von Plänen und Konzepten sachgerecht reagieren
- Gefahrenpotenziale durch Hochwasser, das durch Extremniederschläge hervorgerufen werden kann, bei der Planung insbesondere in Gebieten nahe Gewässern berücksichtigen.

Dass das planerische Handeln der Städte und Gemeinden – wie eingangs dargestellt – neben allen Einschränkungen eine hohe Relevanz für die Anpassung an den Klimawandel hat, wird nicht zuletzt durch die vom Bundeskabinett im Dezember 2008 beschlossene „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ und den Beschluss der Bauministerkonferenz vom März 2008 unterstrichen. Beide Beschlüsse fordern die Kommunen dazu auf, im Rahmen der Bauleitplanung einen aktiven Beitrag zur Ergreifung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu leisten. In der „Deutschen Anpassungsstrategie“ heißt es im Bezug auf die Raumplanung: „Raumpläne haben das Ziel, unterschiedliche Ansprüche an den Raum zu vereinbaren und sind damit meist

eine Entscheidung für Generationen. Ab jetzt muss die Raumplanung bei der Gestaltung dieser räumlichen Vorsorgekonzepte nicht nur die aktuellen Ansprüche abwägen, sondern auch Klimaschutz und -anpassung mitdenken und einbeziehen. Das ist mit den heutigen rechtlichen und planerischen Instrumenten möglich, verschärft aber den Konkurrenzkampf – denn auch Klimaschutz und -anpassungsmaßnahmen benötigen Platz“. Im Beschluss der Bauministerkonferenz zu „Klimaschutz und Klimaanpassung in den Bereichen Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung“ erkennt diese den Klimawandel „als eine zentrale Herausforderung unserer Zeit an“ und fordert „vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, des Klimaschutzes und der Klimafolgenanpassung“, dass die „vorhandenen Instrumente der Städtebauförderung, der Wohnraumförderung und der Bauleitplanung [...] weiter entwickelt und stärker miteinander verzahnt werden“.

Die Anpassungsstrategien auf Bundes- und Landesebene leisten einen wesentlichen Beitrag zur Aufklärung über die Folgen des Klimawandels und zur Entwicklung von geeigneten Handlungsoptionen und Maßnahmen. Zur erfolgreichen Durch- und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen in den Kommunen müssen jedoch eine Vielzahl von Konkurrenzen und Interessenkonflikten sowie unterschiedliche Rahmenbedingungen vor Ort berücksichtigt werden. Maßnahmen zum Erreichen eines möglichst optimalen Stadtklimas und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel können im baulichen Bestand der Innenstädte und in den bestehenden Siedlungsräumen nur deutlich eingeschränkt realisiert werden und erfordern verstärkt Anreizsysteme. Lediglich im Rahmen der Erschließung großer Neubaugebiete können Kommunen ihre Steuerungs- und Einflussmöglichkeiten ausschöpfen. Grundsätzlich gilt zudem die Einschränkung, dass die Städte und Gemeinden bei der Aufstellung und Änderung von Bauleitplänen öffentliche und private Belange gerecht gegeneinander sowie untereinander abwägen müssen und somit Umweltbelange keinen rechtlichen Vorrang haben. Dies kann in der Folge bedeuten, dass klimatischen Belangen im Rahmen der einzelfallbezogenen Abwägungsentscheidungen nicht immer vollständig Rechnung getragen werden kann. Zusätzlich zu den Konkurrenzen zwischen den Abwägungsbelangen führen weitere Konkurrenzen, Konflikte und Restriktionen oftmals dazu, dass Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel nicht zum tragen kommen. Ein wesentlicher Interessenskonflikt zeigt sich schnell bei der Betrachtung der allgemeinen städtebaulichen Strategien, die auch im BauGB Berücksichtigung finden:

- „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“ (vgl. §1a Abs. 2 und §13a BauGB),
- „Durchgrünung von Siedlungen“ (vgl. z. B. §9 Abs. 1 Nr. 15 und 25 BauGB),
- eine auf Vermeidung und Verminderung von Verkehr ausgerichtete städtebauliche Entwicklung im Sinne der „kompakten Stadt“ bzw. „Stadt der kurzen Wege“ (vgl. §1 Abs. 6 Nr. 9 BauGB).

Die beiden Strategien mit Leitbildcharakter „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“ und „Kompakte Stadt / Stadt der kurzen Wege“ sind für einen erfolgreichen Klimaschutz als wesentliche planerische Aufgabenfelder zu betrachten. Die Klimafolgenanpassung zielt jedoch auf die Freihaltung von Flächen gerade in den hoch verdichteten Innenstadtbereichen und wäre damit eher mit dem Leitbild der „aufgelockerten Stadt“ in Verbindung zu bringen. Um sich diesem Interessenkonflikt zwischen Klimaschutz und Klimawandel zu nähern, wäre die Anpassung und Weiterentwicklung der Leitbilder im Sinne einer verträglichen Dichte zielführend.

Wie sich bereits gezeigt hat, ist die Klimawandelanpassung keine originäre Aufgabe von Stadtplanung und -entwicklung. Vielmehr bedarf es eines interdisziplinären und integrativen Prozesses, um dieser Querschnittsaufgabe gerecht zu werden. Da beim Klimawandel eine Vielzahl unterschiedlicher Umweltbelange berührt sind, sind es in den Kommunen vor allem die Umweltressorts und die in der Regel dort angesiedelten Sonderordnungsbehörden im Bereich Umwelt – insbesondere die unteren Wasser-, die unteren Bodenschutz-, die unteren Landschafts-, die unteren Naturschutz- sowie die unteren Immissionsschutzbehörden – die mit dem Thema Klimawandelanpassung befasst sind. Durch die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze- oder Trockenperioden und Überschwemmungen, wie das Auftreten neuer Krankheitserreger oder Allergien, sind zudem die Gesundheitsressorts bei Klimaanpassungsmaßnahmen tangiert. Die bedeutendste Einflussmöglichkeit der genannten Behörden auf die städtebauliche Planung besteht als Träger öffentlicher Belange im Rahmen der Behördenbeteiligung, die von den Stadtplanungsressorts bei der Aufstellung und Änderung von Bauleitplänen durchzuführen ist. Vor allem geeignet sind aber informelle ämterübergreifende Abstimmungsrunden, die bereits frühzeitig zu einer besseren Verständigung im Sinne einer klimawandelgerechten Stadtplanung führen können.

Aus den dargestellten Möglichkeiten und Einschränkungen bei der Anpassung an den Klimawandel können für die Stadtentwicklung und -planung drei grundsätzliche Empfehlungen entwickelt werden, die in den nachfolgenden Unterkapiteln konkretisiert und mit weiteren Handlungsempfehlungen ergänzt werden sollen:

- formelle und informelle Planungsinstrumente ausschöpfen
- Zusammenarbeitsstrukturen stärken
- Hemmnisse identifizieren und Synergieeffekte nutzen

Formelle und informelle Planungsinstrumente

Im Raumordnungsgesetz (ROG), das als Bundesrahmenrecht die Landesplanungsgesetze harmonisiert, ist mit der Verankerung der Leitvorstellung einer „nachhaltigen“

Raumentwicklung, die die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang bringt und zu einer dauerhaften, großräumig ausgewogenen Ordnung führt“ (§1 Abs. 2 ROG) der Bezug zum Schutzgut Klima bereits hergestellt. Nachfolgende Abbildung 451 gibt eine Übersicht der planerischen Steuerungsinstrumente nach Planungsebenen. Auf jeder dieser Ebenen kann den Auswirkungen des Klimawandels planerisch entgegengewirkt und es können Belange des Klimas sinnvoll in Raum- und Stadtplanung eingebracht werden. Gemäß §4 Abs. 1 ROG müssen die „raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen“ der unteren Planungsebenen die Ziele der Raumordnung beachten; das in §1 Abs. 3 ROG definierte „Gegenstromprinzip“ ermöglicht aber auch eine umgekehrte Kommunikation der Planungsebenen.

Aufgrund der Komplexität der unterschiedlichen Instrumente und Pläne sowie ihrer Rechtsgrundlagen werden in den nachfolgenden Darstellungen die integralen Pläne und die relevanten raumwirksamen Fachplanungen auf Gemeindeebene in den Mittelpunkt gestellt. Nicht unerwähnt bleiben soll an dieser Stelle jedoch die Möglichkeit der Städte und Gemeinden, Verträge mit Privaten zur Vorbereitung und Durchführung städtebaulicher Planungen zu schließen. So können beispielsweise vorbereitende Stadtklimauntersuchungen oder Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel auch im Rahmen städtebaulicher Verträge nach §11 BauGB durchgeführt werden.

Wie bereits dargelegt, sind die klimatischen Belange im BauGB in den bauleitplanerischen Oberzielen (vgl. §1 Abs. 5 Satz 1 und 2 BauGB) erwähnt. Die Städte und Gemeinden sollen demnach ihre Bauleitplanung an einer „nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung“ in „Verantwortung gegenüber künftigen Generationen“ und „für den allgemeinen Klimaschutz“ ausrichten. Obwohl die Bedeutsamkeit für Stadtentwicklung und -planung gegeben ist, erfolgte eine explizite Berücksichtigung von Klimawandel und entsprechenden Anpassungsmaßnahmen im BauGB bislang nicht. Aus dem bauleitplanerischen Oberziel der nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung lässt sich aber „mittelbar ein Handlungsauftrag im Bereich Anpassung“ folgern.

Mit dem Katalog der Planungsgrundsätze in §1 Abs. 6 BauGB werden die bauleitplanerischen Oberziele konkretisiert. In dieser Auflistung sind zahlreiche, sich teilweise überschneidende Ansatzpunkte für die Berücksichtigung von Klimabelangen enthalten. Besonders hervorzuheben sind dabei die Belange des Umweltschutzes (§1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB), die Belange der Versorgung, insbesondere mit Energie und Wasser (§1 Abs. 6 Nr. 8e BauGB), die Belange des Verkehrs und der Mobilität (§1 Abs. 6 Nr. 9 BauGB) sowie die Belange des Hochwasserschutzes (§1 Abs. 6 Nr. 12 BauGB).

Für die Belange des Umweltschutzes schreibt das BauGB eine Umweltprüfung (vgl. §2 Abs. 4 BauGB) vor, die der Ermittlung der voraussichtlichen erheblichen Umweltauswir-

kungen dient. Sie ist für die Klimabelange in Bauleitplanverfahren von herausragender Bedeutung, da sie deren Berücksichtigung im Falle erheblicher Auswirkungen der Bauleitplanung auf das Klima vorschreibt. Jedoch bedarf es vielerorts noch einer Bewusstseinschärfung der Anwender, die noch allzu oft eine enge, auf Natur- und Landschaft fixierte Sichtweise einnehmen.

In Bauleitplanverfahren soll sichergestellt werden, dass die Inhalte, Erfordernisse und Maßnahmen umweltbezogener Fachplanungen mit räumlichem Bezug Beachtung finden. In §1 Abs. 6 Nr. 7g BauGB heißt es daher: „Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind die Darstellungen von Landschaftsplänen sowie von sonstigen Plänen, insbesondere des Wasser-, Abfall- und Immissionsschutzrechts zu berücksichtigen“.

Die Landschaftsplanung hat nach §13 BNatSchG die Aufgabe, „die Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege für den jeweiligen Planungsraum darzustellen und zu begründen“ sowie die Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege zu verwirklichen. Da Angaben „zum Schutz, zur Verbesserung der Qualität und zur Regeneration von Böden, Gewässern, Luft und Klima“ (vgl. §14 Abs. 1 Nr. 4e BNatSchG) traditionsgemäß Bestandteil von Landschaftsplänen sind, haben diese für die Berücksichtigung von Klimabelangen in der Bauleitplanung eine bedeutende Funktion. Geeignete Darstellungen von Landschaftsplänen können als Darstellungen oder rechtsverbindliche Festsetzungen in die Bauleitplanung übernommen werden.

Neben der Landschaftsplanung sind des Weiteren die Darstellungen in Plänen des Immissionsschutzrechts für die Berücksichtigung von Klimabelangen von Bedeutung. Die in Luftreinhalteplänen festgelegten Maßnahmen zur Vermeidung, Minderung und Verbesserung der Luftbelastung, wie z. B. die Intensivierung der Straßenbaumbegrünung und Pflanzung staubfilternder Vegetation, können zu einer wesentlichen Verbesserung des Stadtklimas beitragen.

Das BauGB bietet darüber hinaus vor allem über die Darstellungs- und Festsetzungskataloge in §5 BauGB und §9 BauGB differenzierte Möglichkeiten für eine klimagerechte Stadtplanung. Die Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in Flächennutzungs- und Bebauungsplänen umfassen im Hinblick auf mögliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel vor allem:

- das Freihalten von Flächen,
- von Bebauung freizuhaltende Flächen,
- die Festlegung der Mindestgröße von Baugrundstücken sowie
- Anpflanzungen und Pflanzbindungen.

Da die Darstellung oder Festsetzung einzelner Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel den klimatischen Erfordernissen nicht gerecht werden könnte, kommt es darauf

an, ein auf die jeweilige Situation abgestimmtes Maßnahmenbündel und einen integrierten Ansatz unter Berücksichtigung der umweltbezogenen Fachplanungen zu entwickeln und umzusetzen. Nur die Kombination der Darstellungen und Festsetzungen in Bauleitplänen kann im Ergebnis dazu beitragen, dass ein gesundes Stadtklima bewahrt bleibt. Eine Übersicht über die einzelnen Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten der entwickelten Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (Handlungskatalog Hitzebelastung) in Bauleitplänen gibt die folgende Tabelle. Verschiedene Anpassungsmaßnahmen, die nicht im Rahmen der Bauleitplanung umgesetzt werden können, bleiben in der Übersicht unberücksichtigt.

Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Bauleitplänen:

Anpassungslösungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
Festlegen von Bebauungsgrenzen	FNP	Darstellen von Bauflächen und Baugebieten sowie dem allgemeinen Maß der baulichen Nutzung nach §5 (2) Nr. 1 BauGB, konkretisiert durch §§22 und 23 BauNVO
	B-Plan	Festsetzen von Art und Maß der baulichen Nutzung nach §9 (1) Nr. 1 BauGB, Festsetzen der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie der Stellung der baulichen Anlagen nach §9 (1) Nr. 2 BauGB, konkretisiert durch §§22 und 23 BauNVO
Freiflächen erhalten, neue Freiflächen schaffen	FNP	Darstellen von Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe nach §5 (2) Nr. 5 BauGB , Darstellen von Wasserflächen und Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind nach §5 (2) Nr. 7 BauGB , Darstellen von Flächen als landwirtschaftliche Flächen und Waldflächen nach §5 (2) Nr. 9 BauGB , Darstellen von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft nach §5 (2) Nr. 10 BauGB
	B-Plan	Festsetzen von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke nach §9(1) Nr.3 BauGB, konkretisiert durch BauNVO, Festsetzen, dass Stellplätze und Garagen außerhalb der überbaubaren Grundstücksflächen nur unter der Geländeoberfläche hergestellt (§9 (1) Nr. 4 BauGB i. V. m. §12 (4) BauNVO) oder dass sie auf den nicht überbaubaren Grundstücksflächen nicht hergestellt werden dürfen (§23 (5) BauNVO) , Festsetzen der Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihrer Nutzung nach §9 (1) Nr. 10 BauGB , Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe nach §9 (1) Nr. 15 BauGB , Festsetzen von Wasserflächen nach §9 (1) Nr. 16 BauGB , Festsetzen von Flächen für die Landwirtschaft und Waldflächen nach §9 (1) Nr. 18 BauGB , Festsetzen der Flächen oder Maß-

		nahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft nach §9 (1) Nr. 20 BauGB , Festsetzen von Flächen oder Maßnahmen zum Ausgleich im Sinne des §1a Abs. 3 auf den Grundstücken auf denen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erwarten sind, oder an anderer Stelle sowohl im sonstigen Geltungsbereich des B-Plans als auch in einem anderen B-Plan
Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten	FNP	Darstellen von Grünflächen, wie Parkanlagen, nach §5 (2) Nr. 5 BauGB
	B-Plan	Festsetzen der öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, nach §9 (1) Nr. 15 BauGB
Begrünung von Straßenzügen Dachbegrünung Fassadenbegrünung	B-Plan	Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein B-Plangebiet oder Teile davon nach §9 (1) Nr. 25 BauGB
Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen	FNP	Darstellungsmöglich geeigneter Offenlandbereiche
	B-Plan	Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe nach §9 (1) Nr. 15 BauGB ,
Offene Wasserflächen schaffen	FNP	Darstellen von Wasserflächen nach §5 (2) Nr. 7 BauGB
	B-Plan	Festsetzen von Wasserflächen nach §9 (1) Nr. 16 BauGB , Festsetzen von Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern nach §9 (1) Nr. 25. b BauGB
Gebäudeausrichtung optimieren	B-Plan	Festsetzen der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie der Stellung der baulichen Anlagen nach §9 (1) Nr. 2 BauGB , Festsetzen der Gebäudestellung nach §9 (1) Nr. 23 b BauGB
Hauswandverschattung, Wärmedämmung	B-Plan	Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein Bbauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen nach §9 (1) Nr. 25 BauGB
Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen	FNP	Darstellung von Grünflächen, wie Parkanlagen, nach §5 (2) Nr.

Luftleitbahnen		5 BauGB ,
	B-Plan	Festsetzen von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke nach §9 (1) Nr. 3 BauGB , Festsetzen der Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihrer Nutzung nach §9 (1) Nr. 10 BauGB , Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und BADEPLATZ, Friedhöfe nach §9 (1) Nr. 15 BauGB , Festsetzen von Flächen für die Landwirtschaft und Waldflächen nach §9 (1) Nr. 18 BauGB
Hänge von hangparalleler Riegelbebauung freihalten	B-Plan	Festsetzen von Art und Maß der baulichen Nutzung nach §9 (1) Nr. 1 BauGB, konkretisiert insbesondere durch §§16 (3), 17, 19 BauNVO , Festsetzen der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie der Stellung der baulichen Anlagen nach §9 (1) Nr. 2 BauGB, konkretisiert durch BauNVO , Festsetzen von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke nach §9 (1) Nr. 3 BauGB
Bauliche Verschattungselemente im öffentlichen Raum	B-Plan	, Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen nach §9 (1) Nr. 25 BauGB

Für eine optimale Berücksichtigung klimatischer Belange in Planungsverfahren, sind umfassende Untersuchungen des Stadtklimas unerlässlich. Diese beschäftigen sich vor allem mit den städtischen Problemfeldern Wärmeinsel, Luftverschmutzung, städtische Belüftung und Bioklima. Anspruch und Inhalte der Klimauntersuchungen sind bestimmt durch die jeweilige Planungsebene und teilweise durch die Fragestellung. Die VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 gibt Empfehlungen zum methodischen Vorgehen bei planungsrelevanten Stadtklimauntersuchungen. Dabei werden für die einzelnen Planungsebenen sowohl die typischen relevanten Einflussfaktoren (z. B. Wärmeinseln oder lufthygienische Fragen) als auch geeignete Bearbeitungsmethoden (z. B. Messstationen, Thermalbefliegungen oder Ausbreitungsrechenmodelle für lufthygienische Fragestellungen) aufgezeigt. Zur Darstellung komplexer stadtklimatologischer Phänomene eignen sich am besten synthetische Klimafunktionskarten (in Regensburg Klimabestandskarte genannt), je nach Planungsaufgabe können aber beispielsweise auch Klimaeignungskarten bzw. Mikroklimakarten der Stadt die erforderlichen Aufschlüsse bringen.

Insbesondere vor dem Hintergrund der negativen Besetzung des Themenfeldes ist eine Stärkung formeller Planungsinstrumente im Rahmen einer Anpassung des Raumordnungs- und Städtebaurechts an die Herausforderungen des Klimawandels erforderlich. Aufgrund fehlender Rechtsverbindlichkeit sind informelle Instrumente in der Regel ungeeignet, eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen herbeizuführen. Vor allem bei konkurrierenden Raum- und Flächennutzungsansprüchen mangelt es Anpassungsmaßnahmen häufig an Durchsetzungsfähigkeit.

9. Konkrete Planungshinweise

Wichtigste Grundlage für die konkreten Planungshinweise sind die anhand unterschiedlicher Kriterien ausgewiesenen Klimatope im Stadtgebiet von Regensburg und seinem Umland (vgl. Kap. 6). Als weiterer wesentlicher Aspekt kommt die Betrachtung der Kaltlufteinzugsgebiete hinzu, die auf ihrerseits auf dem digitalen Höhenmodell basieren.

In diesem Arbeitsschritt kam ein hydrologisches Modell mit einer Gitterweite von 250x250 Metern zum Einsatz, das für das 14x15 Kilometer große digitale Geländemodell im Großraum Regensburg zunächst mehr als 700 Teilräume errechnet hat. Aufgrund der fast ebenen Talfläche im Donautal wurden darüber hinaus noch zahlreiche abflusslose Senken ermittelt, die definitionsgemäß nicht zum Flächenthema der Wassereinzugsgebiete gehören. Diese Senken wurden Zug um Zug aufgefüllt, bis für die Karte der Kaltlufteinzugsgebiete eine flächendeckende Vektordatei erzeugt war. Als Arbeitskarten wurden dem Gutachten die aus dem Digitalen Geländemodell der Stadt Regensburg abgeleiteten Informationen Höhenschichten, Hangneigung und Hangesposition beigelegt.

9.1 Kaltlufteinzugsgebiete

Um im nächsten Arbeitsschritt eine Aggregation der mehreren hundert Teilflächen möglichst realitätsnah durchführen zu können, wurde aus den Digitalen Höhendaten zusätzlich ein Konturenmodell abgeleitet, wodurch die Höhenlinien sehr plakativ abgebildet werden. Anhand der Hauptwasserscheiden wurden insgesamt 38 Teilflächen gebildet, aus denen schließlich 15 regionale Kaltlufteinzugsgebiete abgeleitet wurden. Diese Information wurde ebenfalls in eine Arbeitskarte umgesetzt. Ihre Inhalte werden im folgenden kurz vorgestellt und ihre jeweiligen Abgrenzungen erläutert.

Donau, Nordwest:

Diese 1803 Hektar große Fläche umfasst einen Teilraum im Westen und Nordwesten des Untersuchungsgebietes, der unmittelbaren Kontakt zum Donautal hat. Der Teilraum liegt fast vollständig außerhalb des Regensburger Stadtgebietes. Die Naab als linker Nebenfluss ist Bestandteil dieses Kaltlufteinzugsgebietes. Mehr als zwei Drittel der Fläche sind landwirtschaftlich genutzt, weitere 16% sind bewaldet. Somit sind die naturräumlichen Gegebenheiten optimal für die nächtliche Kaltluftproduktion.

Donau, West:

Diese nur 134 Hektar große Teilfläche befindet sich im Gegensatz zum Gebiet "Donau-Nordwest" auf der rechten Seite der Donau und wurde aus diesem Grund separat abgegrenzt. Seine Flächen liegen komplett außerhalb des Regensburger Stadtgebietes. Hier dominieren eindeutig die Waldflächen, die weniger für aktive nächtliche Kaltluftbildung geeignet sind und stattdessen eher tagsüber als klimatischer Ausgleichsraum wirksam sind.

Donau, Südwest:

In diesem Teilraum sind die Flächen zusammengefasst, die im Südwesten des Untersuchungsraumes direkten Kontakt zur Donau haben. Sie schließen sich unmittelbar an den Teilraum "Donau, West" an, haben aber aufgrund einer markant ausgeprägten Wasserscheide ein deutlich abgegrenztes Kaltlufteinzugsgebiet. Die Fläche hat eine Größe von ca. 10km², wobei knapp ein Drittel bewaldet ist und fast 50% landwirtschaftlich genutzt sind. Nur gut 10% der Flächen sind locker bebaut, so dass auch für diese Flächen als Klimafunktion die nächtliche Kaltluftproduktion im Vordergrund steht.

Donau, Südost:

Dieser Teilraum hat keinen direkten Kontakt zum Donautal, sondern fast die Flächen südlich der A3 bzw. östlich der A93 zusammen, deren Reliefsituation durch eine nach Osten orientierte Rinnenlage gekennzeichnet ist. Über die Hälfte der insgesamt rund 35km² großen Fläche wird landwirtschaftlich genutzt, weitere 13% sind von Waldbereichen und Gehölzen bestanden. Weiterhin prägend sind die Gebäudemassen des Universitätsklinikums und insbesondere des expandierenden Stadtteiles Burgweinting. Somit steht die nächtliche Kaltluftbildung im Vordergrund der Klimafunktionen, insbesondere der Stadtteil Burgweinting stellt aber auch einen klimatischen Wirkraum dar, der von der auf dieser Gesamtfläche gebildeten Kaltluft profitiert. Als eigener, hochversiegelter Teilraum ist das Industriegebiet der BMW AG zu sehen; die Fläche liegt abseits der kaltluftbeeinflussten Bereiche, wirkt sich aber seinerseits auch nicht negativ auf das Klima seiner Umgebung aus.

Donau, Süd:

Diese ca. 12km² große Fläche ist im wesentlichen in Richtung Donau geneigt. Im Westen reicht der Teilraum bis in die Donauaue hin, größtenteils wurde aber wegen des flussnah fehlenden Gefälles die Teilfläche weiter südlich abgegrenzt. Aufgrund der realen Nutzung übt diese Teilfläche keine oder nur sehr geringe Kaltluftproduktionsraten auf. Größere landwirtschaftlich geprägte Teilräume gibt es nur in den westlichen Rand-

bereichen. Hier kann durch nächtliche Hangabwinde eine Unterstützung möglicher Bergwinde im Donautal erfolgen. Die vorhandenen Siedlungsbereiche müssen weitgehend ohne externe Kaltluftversorgung auskommen, was aber bei der vorwiegend lockeren Bebauungsstruktur unproblematisch sein sollte.

Donau, südliche Niederung:

In diesem rund 26km² großen Areal wurde alle Teilräume zusammengefasst, die unmittelbar südlich der Donau liegen und gleichzeitig über keine oder nur ein geringes Potenzial von Reliefenergie verfügen. Somit erstreckt sich dieser Teilraum in West-Ostrichtung fast über die gesamte Stadtfläche. Dazu gehört auch die komplette Altstadt von Regensburg, wobei die zugehörige Klimatopklasse eine Fläche von gut 60 Hektar umfasst, flächenmäßig beträgt ihr Anteil an diesem Teilraum jedoch nur etwa 2,5%. Den größten Anteil an der Fläche haben mit knapp 30% die industriell und gewerblich genutzten Areale, aufgrund der großen Freiflächen im Osten des Teilraumes sind die landwirtschaftlichen Flächen mit 28% an der realen Nutzung beteiligt. Während die Altstadt mit ihren 60 Hektar eine zusammenhängende Hitzeinsel darstellt, spielen die Freiflächen für die Kalt- und Frischluftversorgung thermischer Lasträume praktisch keine Rolle, wobei Flurwinde mit geringer horizontaler und vertikaler Erstreckung nicht auszuschließen sind. Die Bereiche mit verdichteter Wohnbebauung sind somit auf interne Grünoasen angewiesen, thermische Entlastungen von außen sind nicht nachweisbar oder nur in unbedeutendem Umfang.

Donautal:

Dieser Teilraum umfasst die eigentliche Flussaue und in geringem Umfang auch die sich nach Norden anschließenden Niederungsbereiche. Der Teilraum erstreckt sich im Kartenbild von Südwesten über die Kartenmitte nach Osten und dient somit als Trennfläche zwischen den von Süden zur Donau hin geneigten Flächen und den Flächen auf der Nordseite der Donau. Seine Größe umfasst ca. 15,6km². Konsequenterweise haben die Wasserflächen hier mit 490 Hektar (entsprechend 32% an der Teilfläche) ihren größten Anteil. Daneben dominieren mit 29% die landwirtschaftlichen Nutzflächen. Nur im mittleren Teil gibt es größere Flächen mit lockerer oder verdichteter Wohnbebauung, ansonsten ist der Niederungsbereich schon wegen der Überschwemmungsgefahr bei Hochwasser nicht bebaut. Der Teilraum übernimmt somit die Klimafunktion einer regionalen Luftleitbahn, die sowohl talaufwärts als auch talabwärts genutzt wird. Andere Windrichtungen werden häufig aufgrund der guten Überströmbarkeit in Richtung der Leitbahn kanalisiert. Thermisch bedingt dürften insbesondere bei sommerlichen Strahlungswetterlagen die Bergwinde während der Abend- und Nachtstunden vorherrschen,

während tagsüber eher Talwinde beobachtet werden sollten. Nachteilig auf die abkühlende Wirkung dieser Windsysteme wirkt sich die im Hoch- und Spätsommer hohe Wassertemperatur der Donau aus. Aus den Temperaturmessungen an den Pegelstellen geht hervor, dass von Anfang August bis Mitte September Wassertemperaturen von 20°C und mehr die Regel sind. Messergebnisse, die diese Phänomene bestätigen könnten, liegen nicht vor.

Donau, Nord:

Zwischen Naab und Regen schließt sich nördlich der Donau ein schmaler, relativ steil geneigter Streifen an, in dem aufgrund der Reliefsituation der Waldanteil mit 34% den relativ größten Anteil an der insgesamt 111 Hektar großen Fläche hat. Landwirtschaftliche Flächen (20%) sowie Freizeit- und Erholungsflächen (17%) repräsentieren die Offenlandbereiche, so dass hier relativ große Kapazitäten für Kaltluftproduktion und aufgrund der erhöhten Hangneigung für einen adäquaten Kaltluftabfluss bestehen. Der gradlinige Verlauf des Donautales und die weite Öffnung des Flusstales östlich der Pfaffensteiner Brücke mit den Wasserläufen des Schleusenkanals sowie des Nordarms und Südarms der Donau ermöglicht eine breite, barrierefreie Luftleitbahn, deren Klimafunktion durch die kaltluftproduzierenden Flächen dieses Teilraumes unterstützt werden.

Regen, West:

Eine ganz besondere Rolle in der Kaltluft- und Frischluftversorgung der Regensburger Kernstadt spielen die Kaltlufteinzugsgebiete des Regentales; in der Summe umfassen die Flächen ein Areal von knapp 40km². Der größte Teilraum befindet sich westlich des Talraumes, seine Größe beträgt knapp 18km². Die Flächen befinden sich größtenteils außerhalb des Regensburger Stadtgebietes, sind aber aufgrund der geringen Versiegelung für die nächtliche Kaltluftbildung von höchster Bedeutung. Von Seiten der Realnutzung stellen die mit fast zwei Dritteln an der Gesamtfläche beteiligten Landwirtschaftsflächen die wichtigsten Kaltluftentstehungsgebiete da. Aufgrund der Reliefsituation kanalisiert sich die Kaltluft in mehreren Rinnenlagen, die in Richtung Regen orientiert sind. Nachteilig wirken sich in den unteren Lagen die bebauten Flächen aus, die teilweise die Kaltluftflüsse abbremsen und/oder die Luftmassen beim Überströmen erwärmen. Entsprechende Planungshinweise können nicht von der Stadt Regensburg umgesetzt werden, sollten aber nachrichtlich an die Gemeindevertreter der Nachbarkommunen weitergegeben werden.

Regen, Nord:

Ganz im Norden des Kartenausschnittes liegt dieser ca. 14km² große Teilraum, der sich ebenfalls außerhalb des Regensburger Stadtgebietes befindet. Dennoch ist diese Fläche zum klimarelevanten Kaltlufteinzugsgebiet des südlichen Regentales zu rechnen. Mit fast 62% landwirtschaftlicher Flächen und 18% Waldflächen dominieren eindeutig die Freilandklimate. Allerdings befindet sich der Ortslage Zeitlarn überwiegend im Niederungsbereich des Regentales, wodurch die Kaltluftproduktion und insbesondere der Kaltluftabfluss gestört werden. Dennoch ist davon auszugehen, dass sich die Kaltluftdynamik in diesem Teilraum positiv auf den klimatischen Ausgleichsraum Regental auswirkt. Lufthygienisch ungünstig sind die Verkehrsemissionen der im Talgrund verlaufenden Autobahn A93.

Regen, Ost:

Größtenteils im Stadtgebiet von Regensburger und somit auch näher an den klimatischen Lastflächen gelegen ist dieser 6,2 km² große Teilraum. Fast 75% davon sind derzeit landwirtschaftlich genutzt, nur gut 12% sind bebaut, Flächen mit vollständiger gewerblicher Nutzung sind nicht vorhanden. Wichtig für die Luftqualität ist die östlich des Regen verlaufende B15. Südlich des Stadtteiles Gallingskofen verlässt die Trasse die eigentliche Flussaue, im Stadtteil Sallern verlässt der überörtliche KFZ-Verkehr über die Nordgaustraße endgültig die Talaue. Mehrere Rinnenlagen und ein mäßiges Gefälle begünstigen zwischen Zeitlarn und der das Tal querenden B16 den kanalisierten Kaltluftabfluss von den Hängen, so dass ein ausreichendes Potential für die Ausbildung eines nächtlichen Bergwindes im Regental zur Verfügung steht. Zwischen dem Autobahnzubringer und der Lichtenwaldstraße reicht die Wohnbebauung entlang der Satteltogener Straße bis fast an das Regenufer heran, danach weiten sich die Offenlandbereiche im Bereich der Sportanlagen nochmals aus, ohne dass von den Hängen weitere Kaltluft zufließt. Weiter unterhalb, gut 500 Meter oberhalb der Mündung des Regen, geht die eigenständige Reliefenergie weitgehend verloren in die Donau nähert sich die Bebauung wieder dem Flusslauf, so dass der Bergwind kanalisiert wird. Eine Kaltluftneubildung ist hier nicht mehr zu erwarten.

Regen, Süd:

Diese nur 1,4 km² große Fläche wurde separat ausgewiesen, da sie im Gegensatz zu den flussaufwärts gelegenen Teilräumen weder über eine für thermisch induzierte Strömungssysteme ausreichende Reliefenergie verfügt noch die Realnutzung eine nennenswerte Kaltluftbildung zulässt. Sie ist eigentlich schon zum thermischen Lastraum zu

rechnen, wobei der Bergwind aus dem Regental die Donauniederung erreicht, ohne seitlich in die bebauten Bereiche einzudringen.

Wutzlhofen:

Neben dem Regental ist ein weiterer großer Talraum von Norden her in Richtung Donautal orientiert. Er hat insgesamt eine Größe von 12,3km². Offenlandbereiche haben einen Anteil von knapp 50% an der Gesamtfläche. Sie befinden sich in erster Linie im Osten des Teilraumes und liegen teilweise außerhalb des Regensburger Stadtgebietes. Mit 10% ist der Anteil gewerblicher Nutzung relativ groß, das Wohnen spielt eine eher geringe Rolle. Die landwirtschaftlich genutzten Hänge initiieren nächtliche Hangabwinde, als Leitbahn im Tal bietet sich der Gleiskörper an, die Walhalla-Allee stellt in etwa die südliche Begrenzung dieses Teilraumes dar. Ob und in welchem Umfang die hier entstehenden Bergwinde die Donau überqueren, wurde nicht untersucht und kann auch nicht quantifiziert werden.

Donau, Nordost:

Nach Südosten schließt sich dieser Teilraum an den Bereich Wutzlhofen an, der östliche Teil befindet sich außerhalb des Regensburger Stadtgebietes. Seine Gesamtfläche beträgt 858 Hektar, dabei ist das Gelände vorwiegend in Richtung Donau geneigt. Fast 40% des Teilraumes wurden als Waldflächen und Gehölze ausgewiesen, hinzu kommen gut 23% landwirtschaftliche Flächen. Anteile mit Wohnbebauung sind eher gering.

Die einzelnen Teilräume fungieren je nach Nutzungsschwerpunkt und Reliefenergie mehr oder weniger intensiv als Kaltluftentstehungsgebiet in Kombination mit Kaltluftabflussbereichen fungieren, stellen aber teilweise auch thermische Lasträume dar. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Räume für die thermische Entlastung eine besondere Rolle spielen und welche diese Funktion nur in geringem Maße oder gegebenenfalls gar nicht ausüben.

9.2 Planungshinweiskarte

Die Karte mit Hinweisen für die Planung enthält eine integrierende Bewertung der in der Klimabestandskarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange. Die Flächenkennzeichnungen geben Hinweise zur Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen, aus denen sich klimatisch begründete Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der Bauleitplanung ableiten lassen. Die Hinweise für die Planung

beziehen sich vornehmlich auf bauliche Nutzungsänderungen. Eine Änderung der Vegetationszusammensetzung hat i. d. R. geringere klimatische Auswirkungen als großflächige Versiegelungsmaßnahmen und die Errichtung von Bauwerken. Es handelt sich auch bei den Planungshinweisen um keine parzellenscharfen Aussagen, und es ergeben sich hier gleichfalls Toleranzen von bis zu 100m. Vertiefende Detailfragen im Zusammenhang mit Bebauungsplänen müssen gegebenenfalls durch gesonderte Gutachten erarbeitet werden, insbesondere in Bereichen hoher klimatisch-lufthygienischer Empfindlichkeit.

9.2.1 Ausgleichsräume

Regional wichtige thermische Ausgleichsräume

Aufgrund der geringen Emissionen im Freiland werden in regional bedeutsamen Ausgleichsräumen Luftschadstoffe großflächig verdünnt und die Windgeschwindigkeiten durch geringe Bodenrauigkeiten nicht gebremst. Durch die nächtliche Produktion von Kaltluftmassen werden Kaltluftabflüsse begünstigt sowie bodennahe Flurwindssysteme bei einem ausreichenden Druckgefälle zu überwärmten Stadtbereichen hin angetrieben. Die ausgleichenden Funktionen stellen sich jedoch erst bei einer ausreichend großen Freilandfläche, tatsächlich geringer Emissionen und im Falle von Kaltluftabflüssen durch eine ausreichende Reliefdynamik ein. Besonders günstige Verhältnisse ergeben sich für Freilandbereiche in Hanglagen. In ebener Lage werden dagegen nächtlich produzierte Kaltluftmassen nur schlecht transportiert und Muldenlagen stellen sich als Kaltluftsammelgebiete dar. Die Ansammlung von Kaltluftmassen ist potentiell mit der Gefahr einer Schadstoffanreicherung verbunden und führt dazu, dass die Kaltluftmassen keine klimatisch positive Wirkung auf die Umgebung erzielen können. Die regional bedeutsamen Ausgleichsräume reichen über die Stadtgrenzen von Regensburg hinaus. Um einen großräumigen Erhalt dieser Flächen zu erreichen, sollte eine Verdichtung der bestehenden Siedlungen vermieden und der Versiegelungsgrad nicht erhöht werden. Die Funktion dieser Räume als Frischlufteinzugsgebiet setzt voraus, dass hier keine zusätzlichen Emittenten zugelassen werden. Regional bedeutsame Ausgleichsräume liegen in Regensburg vor allem in den nördlichen Stadtbezirken und im äußersten Süden.

Der überwiegend landwirtschaftlich genutzte Raum im Norden der Stadt ist wegen seiner geringen Rauigkeit ein bedeutender Ausgleichsraum für die Frisch- und Kaltluftversorgung in den Stadtteilen nördlich der Donau. Allein im Kaltlufteinzugsgebiet "Regen, Ost" umfasst seine Fläche fast 230 Hektar. Die Siedlungsbereiche im Stadtteil Gallingskofen profitieren unmittelbar von der Kalt- und Frischluftproduktion dieser Ausgleichsflächen. Ähnliches gilt für Pfälzer Siedlung, die von den Hangabwinden vom

Dreifaltigkeitsberg kleinklimatisch positiv beeinflusst wird. Betrachtet man das Regental in seiner Funktion als Leitbahn für nächtliche Bergwinde, vergrößert sich das Kaltlufteinzugsgebiet aus dem Teilraum "Regen, Ost" sogar auf mehr als 300 Hektar. Wie die Windstatistik am Standort Dachauplatz zeigt, gelingt es den Bergwinden aus dem Regental bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen, die Donau zu überströmen und in den Altstadtbereich einzudringen. Um diese Ausgleichsleistung zu erhalten, sollte das Kaltluftentstehungsgebiet möglichst im vollen Umfang erhalten bleiben.

Nutzungsveränderungen in Richtung Wohnbebauung erscheinen aus fachlicher Sicht im Bereich der kleinen Ortslage von Ödenthal bis zur nördlichen Stadtgrenze sowie am Nordhangbereich des Sallerberges vertretbar.

Ein zweiter regional wichtiger thermischer Ausgleichsraum befindet sich im Kaltlufteinzugsgebiet Wutzlhofen. Seine Fläche umfasst ca. 130 Hektar. Von der Kaltluftproduktion und den dadurch induzierten Hangabwinden profitieren unmittelbar die nordöstlichen Wohnbereiche des Stadtteiles Wutzlhofen, wobei der thermisch ausgleichende Einfluss maximal bis zur Brandenburger Straße nach Süden reicht. Ansonsten münden die Hangabwinde in den in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Talraum, durch den eine Bahnstrecke und seit kurzem auch eine Straße verläuft. Größeren Anteil am vermuteten Bergwindssystem in diesem Tal haben die Kaltluftentstehungsgebiete und die daraus resultierenden Hangabwinde auf der Ostseite des Tales. Wegen der Westexposition ist allerdings insbesondere im Hochsommer mit einer zeitlich verzögerten Ausbildung der Hangabwinde zu rechnen, da die Hänge von der Abendsonne noch intensiv beschienen werden. Quasi als Ausgleich dafür dauert die Kaltluftbildung hier in den Morgenstunden länger an, da die von der Morgensonne abgewandte Hangseite erst ein bis zwei Stunden nach Sonnenaufgang die erste direkte Strahlung bekommt. Ob die Hangwinde das Potenzial haben, in die nördlich der Bahnlinie gelegenen Wohnbereiche einzudringen, möglicherweise bis zur Metzger Straße bzw. bis zur Brandenburger Straße, kann ohne Detailuntersuchungen nicht geklärt werden. Auch ist es fraglich, ob der Bergwind über die Donau hinweg das Industriegebiet Hohes Kreuz mit Frisch- und Kaltluft versorgen kann. Die für ein hochversiegeltes Gewerbegebiet moderate Überwärmung an der Messstation Ditthornstraße könnte ein entsprechendes Indiz sein. Aufgrund der derzeitigen Einschätzung sollte dieser Ausgleichsraum in voller Größe erhalten bleiben, vor weiteren Planungen sollte die tatsächlichen kleinklimatischen Bedingungen mit Hilfe eines Detailgutachtens, örtliche Messungen des Istzustandes, gegebenenfalls unterstützt durch Simulationen eines Planzustandes, untersucht werden.

Weitere große Areale von Ausgleichsräumen mit regional hoher Bedeutung befinden sich südlich der A3 im Kaltluftentstehungsgebiet "Donau, Südost". In der Summe umfassen sie ein Flächenareal von über 250 Hektar. Abgesehen von einer kleineren

Freifläche südlich von Burgweinting stellt der Teilraum ein zusammenhängendes Kaltlufteinzugsgebiet dar. Abgesehen von der Franz-Josef-Straße existieren keine nennenswerten Emissionsbänder, so dass die Kriterien für einen bedeutsamen Ausgleichsraum sowohl hinsichtlich Lufthygiene als auch in Bezug auf Kaltluftbildung erfüllt sind. Die in Strahlungsnächten entstehende Kaltluft fließt zunächst in Form von Hangabwinden flächenhaft ab und sammelt sich im Islinger Mühlbach. Die Stadtteile Leoprechting und Oberisling/Unterisling profitieren von der thermischen Ausgleichsleistung, am Standort der Messstation Oberisling wurden während der sommerlichen Temperaturmessungen nachts fast ausnahmslos die niedrigsten Lufttemperaturen im Stadtgebiet gemessen, zeitweise war es hier bis zu 10°C kälter als in der Regensburger Altstadt. Westlich des Unterislinger Weges bekommt der thermische Ausgleichsraum durch die Funktion einer stadtteilnahen Parklandschaft das Prädikat eines lokal wirksamen thermischen Ausgleichsraumes, da die Bevölkerung des expandierenden Stadtteiles Burgweinting zusätzlich fußläufig in den Genuss der guten nächtlichen Abkühlung kommt. Somit kommt regionale/lokale Ausgleichsleistung entlang des Islinger Mühlbaches unmittelbar der Wohnbevölkerung im Stadtteil Burgweinting zu Gute, und zwar sowohl hinsichtlich der Freizeitnutzung in den Parkanlagen als auch innerhalb des Wohnquartiers. Die thermische Ausgleichsleistung sollte auch über die Obertraublinger Straße hinaus nach Osten wirksam sein. Vermutlich endet die ausgleichende Klimafunktion aus dem Islinger Mühlbach wegen des Fehlens weiterer Reliefenergie im Bereich des in leichter Dammlage verlaufenden Gleiskörpers der Bahnlinie Regensburg - München/Passau. In den Stadtteil Burgweinting können auch aus Richtung Süden von den Freiflächen unterhalb des Weintinger Holzes Hangabwinde zur Verbesserung der nächtlichen Abkühlung beitragen.

Eine weitere Bebauung oder Versiegelung würde auch im südlichen Ausgleichsraum sowohl die Kaltluftbildung als auch die Luftströmung behindern und ist deshalb zu vermeiden. Aufgrund des Charakters des Ausgleichsraums als Frischlufteinzugsgebiet sollten keine Emittenten in diesem Bereich zugelassen werden.

Als weitere regional wichtige Ausgleichsräume mit bedeutsamer klimarelevanter Aktivität wurden noch die Freiflächen im Donautal ausgewiesen, und zwar dort, wo sie in erster Linie die Rolle einer Kaltluft- und Frischluftentstehung übernehmen und die Freizeitnutzung in den Hintergrund tritt. Dazu gehören oberhalb der Altstadt ein etwa 1,3km Abschnitt auf der rechten Uferseite zwischen der Brücke der Eisenbahnlinie Nürnberg-Regensburg (Mariaorter Brücke) und dem Beginn der intensiveren Freizeitnutzung im Donaupark sowie der Bereich der Obstwiesen auf der gegenüberliegenden Uferseite bis zum Beginn der Bebauung im Ortsteil Niederwinzer. Für den Abschnitt der Donau im Innenstadtbereich wird wegen der sich verändernden

Bedeutung der Freiflächen für das Kleinklima das Prädikat "lokal wichtiger thermischer Ausgleichsraum" vergeben. Als Grenze für die erneut regionale Bedeutung wurde die Brücke der Eisenbahnlinie Regensburg-Hof gewählt. Der größte Teil dieses Ausgleichsraumes liegt zwischen der Äußeren Wiener Straße und dem Flusslauf. Die genannten Teilräume dienen insbesondere der reibungsarmen Luftleitbahn entlang der Donau, die ihre Funktion insbesondere bei überregional vorhandenen Ost- und Westwinden hat. Dabei unterstützen die genannten Freiflächen die nächtliche Abkühlung und sorgen neben dem im Sommer relativen warmen Donauwasser für die notwendige Abkühlung der Luft.

Lokal wichtige thermische Ausgleichsräume

Städtische Grünanlagen sind im Idealfall gekennzeichnet durch aufgelockerte Vegetationsstrukturen mit Rasenflächen und reich strukturierten lockeren Busch- und Baumbeständen. Aus diesem Grund treten vielfältig variierende Ein- und Ausstrahlungsbedingungen auf, die zu verschiedenen Lokalklimaten auf kleinstem Raum führen. In klimatischer Hinsicht kann die Wirkung von Parkanlagen zwischen der von Wald- und der von Freiflächen eingestuft werden, sie können sehr wirksam zum Abbau von bioklimatischen Belastungen beitragen. Auch bei den städtischen Grünanlagen handelt es sich um Bereiche, die sich durch das weitgehende Fehlen von Emittenten auszeichnen und die somit den Abbau von Luftschadstoffen begünstigen und den Luftaustausch fördern können. Die Reichweite der Wirkung von Grünzügen und Parkflächen ist vom Relief, von der Größe der Grünanlagen, deren Ausstattung sowie von der Anbindung an die Bebauung abhängig. Kleine Flächen (in der fachlichen Diskussion stehen Größen von 5 bis 10ha) entwickeln zwar ein Eigenklima, haben jedoch in der Regel einen untergeordneten Einfluss auf die umliegenden Flächen. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die Fernwirkung nicht allein von der Größe einer Fläche beeinflusst wird, sondern auch sehr stark von der jeweiligen Reliefsituation und der Umgebungsstruktur abhängig ist. So kann beispielsweise eine dichte Randbebauung auch bei größeren Grünflächen eine Fernwirkung unterbinden, während die Wirkung kleinerer Flächen in Hanglagen aufgrund reliefbedingter Kaltluftabflüsse über die Fläche hinausreichen kann. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein ausreichend breiter, rauhigkeitsarmer Belüftungsbahnen, entlang derer die kühleren Luftmassen abfließen können. Neben dem Erhalt und dem Ausbau von Grünanlagen sind deshalb die Vernetzung von Flächen zur Schaffung von Grünschneisen und die Öffnung großer Grünanlagen zur umgebenden Bebauung für die Fernwirkung von großer Bedeutung.

Die Bedeutung von städtischen Grünzügen definiert sich u. a. durch die

Belastungsräume, an die sie angrenzen. Hier sind die stadtnahen großen Grünanlagen, der südlich der Regensburger Altstadt gelegene Stadtpark und der Dörnbergpark, die beide eine Größe von ca. 10 Hektar haben, sowie die etwa 7 Hektar großen Grünanlagen am Fürstlichen Schloss zu Thurn und Taxis zu nennen, die unmittelbar an den thermisch hoch belasteten Raum der stark verdichteten Altstadt grenzen. Die von diesen städtischen Grünflächen ausgehende kühlende Wirkung innerhalb der Parkanlagen konnte durch die Messungen im Stadtpark nachgewiesen werden. Die genannten Parkanlagen sind über schmale Grünverbindungen mit Parkanlagen an der Donau verbunden, im Westen mit dem Herzogpark, im Osten mit dem Villapark. Zusammen haben die Parkanlagen eine Fläche von mehr 45 Hektar und stellen somit den wichtigsten lokalen thermischen Ausgleichsraum im Kernstadtbereich von Regensburg dar. Richtung Altstadt schließen sich nahezu geschlossene Gebäudereihen an, die einen Luftaustausch zwischen Altstadt und Park quasi ausschließen. In den anderen Richtungen sind die angrenzenden Gebäudestrukturen weniger abriegelnd, insbesondere an den Stadtpark schließen sich eher locker bebaute Quartiere an.

Im Norden des Stadtgebietes gibt es, abgesehen von einigen größeren Sportanlagen nur wenige Parks, so fehlen sie in Wutzlhofen und in der Konradsiedlung fast völlig, eine positive Ausnahme stellt der fast 4 Hektar große Tempepark dar, der als lokale Klimaoase für die Wohnbevölkerung dient. Der Aberdeenpark wurde wegen seines direkten Übergangs in den Freilandbereich dem Typ regionaler Ausgleichsraum zugeordnet, ohne damit seine Funktion als lokal funktionierende Freizeitfläche schwächen zu wollen. Vielmehr hat er zusammen mit den angrenzenden Freiflächen eine hohe Bedeutung. Seine Kuppenlage schränkt allerdings bei hochsommerlichen Wetterlagen den Prozess der abendlichen Kaltluftbildung ein. Der Hans-Hermann-Park kann aufgrund seiner geringen Größe nur die Funktion einer Klimaoase übernehmen, am auf der Gartenseite des Städtischen Kindergartens Lechstraße installierten Messgerät konnte keine abkühlende Wirkung der Parkanlage nachgewiesen werden.

In Ufernähe von Donau und Regen existieren zahlreiche Sport-, Freizeit- und Parkanlagen, von denen der Donaupark mit seinen 65 Hektar zzgl. Westbadweiher mit rund 10 Hektar die größte Parkanlage der Stadt ist. Sie alle üben in erster Linie lokale Ausgleichsfunktionen aus. Südlich der Donau verfügt Regensburg über eine Vielzahl von Parkanlagen unterschiedlicher Größe (meist 2 bis 12 Hektar) und Form (z.B. Parks und Sportanlagen). Hervorzuheben sind die beiden Friedhöfe südlich der Friedenstraße, die aufgrund ihres umfangreichen Baumbestandes an heißen Tagen auf rund 16 Hektar vor allem tagsüber Schatten und Kühle spenden, also so, wie es bioklimatisch für einen solchen Standort optimal ist. Andere Eigenschaften haben die Parkanlagen rund um das Universitätsgelände, wo große Rasenflächen ab den

Abendstunden kühle Luft produzieren, so dass sich diese Bereiche sehr gut für abendliche Aktivitäten wie Spaziergänge oder Jogging eignen. Die topographische Lage sorgt aber dafür, dass die hier gebildete Kaltluft größtenteils vor Ort bleibt, ein großer Standortvorteil für diese Parkanlagen, der nämlich die rasche Abkühlung begünstigt.

Südlich der Autobahn A3 überwiegen die regional wichtigen thermischen Ausgleichsräume, meist landwirtschaftlich genutzte Fläche, also mit hohen Kaltluftproduktionsraten und geringer Oberflächenrauigkeit, was zusammen mit ausreichender Reliefstruktur die beste Voraussetzung für diese Klimafunktion bietet. Im Zusammenhang mit der baulichen Entwicklung des Stadtteiles Burgweinting ist der Aubachpark entstanden, in dem noch deutlich der Freilandcharakter überwiegt, so dass an heißen Tagen eine intensive Freizeitnutzung in den Abendstunden stattfindet. Somit dominiert hier die für Parkanlagen typische Naherholungsfunktion.

All diese Flächen sind in ihrem Bestand unbedingt zu schützen und entsprechend dem Klimawandel weiterzuentwickeln. So bietet sich in den sehr offenen Parkbereichen das Anpflanzen kleiner Gehölzflächen an, um mittelfristig auch tagsüber schattenspendende Bereiche vorzufinden.

Offenland ohne signifikante Klimafunktion

Als weiterer Flächentyp werden in der Planungshinweiskarte Bereiche lokalisiert, wo das vorhandene Offenland keine signifikanten Klimafunktionen für im Stadtgebiet vorhandene Lasträume übernimmt. Konsequenterweise befinden sich diese Areale meist in größerem Abstand zu Wohnquartieren, meist also in Randbereichen des Regensburger Stadtgebietes. Diese Flächen verfügen über nahezu identische Klimafunktionen wie der Typ "Offenland als regional wichtiger thermischer Ausgleichsraum", das heißt Kaltluftbildung, Kaltluftabfluss und Reduzierung von potenziell vorhandenen Luftschadstoffen stehen im Vordergrund. Für die ausgewiesenen Flächen im Norden des Stadtgebietes bedeutet das, dass hier aus fachlicher Sicht Nutzungsveränderungen, die mit Flächenversiegelungen verbunden sind, vertretbar sind. Bebauung wäre demnach nordwestlich der B16 oberhalb des vorhandenen Gewerbegebietes Haslbach denkbar. Weitere aus klimatischer Sicht bebaubare Bereiche befinden sich nördlich des Zeitlerner Weges, unproblematisch erweiterbar über den kleinen Siedlungsbereich Ödenthal hinaus bis an den nördlichen Stadtrand.

Weitere Flächen für Industrie- und Gewerbeansiedlungen sind aus fachlicher Sicht südlich der Coburger Straße im Anschluss an das vorhandene Gewerbegebiet Haslbach machbar. Ein kleines Baugebiet, vorzugsweise Einfamilienhäuser, steht aus fachlicher Sicht im Stadtteil Kager im äußersten Westen zur Verfügung.

Auch südlich der Donau bieten sich aus kleinklimatischer Sicht einige Bereiche als neue Baugebiete an. Dazu gehört im Westen des Stadtgebietes die Fläche südöstlich des Sinzinger Weges in Richtung Sparlberg an. Auch eine Entwicklung von Wohnbebauung im Stadtteil Leoprechting insbesondere in Richtung Südwest und Süd ist gut vertretbar.

Darüber hinaus haben große Freiflächen im Südosten des Stadtgebietes keinen Bezug zu den Lasträumen des Kernstadtbereiches oder angrenzender Gewerbegebiete. Hier bieten sich mehrere Möglichkeiten, vorhandene Industrie- und Gewerbegebiete zu vergrößern, ohne vorhandene thermische Lasträume stärker als bisher zu beeinträchtigen.

Bioklimatischer Ausgleichsraum Wald

Im Gegensatz dazu sollten die wenigen vorhandenen Waldgebiete erhalten bzw. noch durch Aufforstungen erweitert werden. Die Vorteile von Waldflächen liegen insbesondere in der Fähigkeit, durch Schadstoffadsorption und -diffusion die Luftqualität zu verbessern. Bioklimatische Vorteile ergeben sich für diesen Ausgleichsraum durch die Dämpfung von Strahlungs-, Temperatur- und Windverhältnissen. Als nachteilig erweisen sich bewaldete Flächen jedoch dort, wo Ventilationsbahnen vorhanden sind. Der Wald erhöht die Oberflächenrauigkeit und schränkt damit den Luftaustausch ein. Waldgebiete haben in Regensburg insgesamt nur einen sehr geringen Flächenanteil, dieser liegt unter Berücksichtigung aller Waldparzellen bei weniger als 370 Hektar. Allein das Weintinger Holz mit einer Größe von 110 Hektar erfüllt im Stadtgebiet die Kriterien des bioklimatischen Ausgleichsraumes in vollem Umfang. Weitere Aufforstungen bieten sich aus fachlicher Sicht hier nach Osten im Bereich der Parzelle Altental an, genauso wichtig wäre eine Ausdehnung nach Westen auf die Parzellen "Das Holzfeld" und "Höflinger Feld" sowie nach Süden in Richtung "Holzbreite" und "Obere Breite". Bei Nutzung aller genannten Flächen würde sich die Fläche des jetzigen Weintinger Holz auf mehr als 225 Hektar vergrößern und damit mehr als verdoppeln. Dies würde dem zunehmenden Bedarf an tagsüber schattenspendenden Erholungsräumen im Regensburger Stadtgebiet entsprechen.

Das vorhandene Waldgebiet im Südwesten des Stadtgebietes, das zusammen mit den angrenzenden Waldnutzungen außerhalb des Regensburger Stadtgebietes auf eine Fläche von immerhin 280 Hektar kommt, wurde wegen der Nähe zu A3 als Lärm- und Schadstoffemissionsband nicht in die Kategorie bioklimatischer Ausgleichsraum Wald aufgenommen. Ferner ist zumindest im Regensburger Stadtgebiet keine systematische Erschließung durch Wanderwege/Wanderparkplatz erkennbar. Auch die anderen Waldparzellen im Regensburger Stadtgebiet sind bisher kaum durch Wege

erschlossen.

Eine wirkliche Alternative zum Walddefizit im Regensburger Stadtgebiet ist das große Waldgebiet in der Gemeinde Tegernheim, das über den Stadtteil Keilberg von Regensburg her erschlossen ist und das die Funktion eines bioklimatischen Ausgleichsraums Wald in jeder Beziehung erfüllt.

Bioklimatischer Ausgleichsraum Gewässer

Wie schon beim Gewässerklimatop erläutert, sind die bioklimatischen Ausgleichsleistungen von Gewässern auf einige wenige Klimafunktionen beschränkt. Thermische Ausgleichsleistungen sind im Regensburger Stadtgebiet praktisch nicht vorhanden, da dies an größere Stehgewässer gebunden ist, die jedoch völlig fehlen. Ausgleichsleistungen beschränken sich daher auf die beiden großen Fließgewässer im Regensburger Stadtgebiet, die Donau und den Regen. Ihre Wasserfläche, im Zusammenspiel mit der meist un bebauten Uferzone, wirkt durch ihre geringe Oberflächenrauigkeit als Luftleitbahn und nimmt damit eine bedeutende Stellung für den Luftaustausch im Regensburger Stadtgebiet ein. Die Lufttemperaturen sind im Bereich der Gewässer an sommerlichen Strahlungstagen tagsüber niedriger und nachts jedoch höher als im Umfeld, da Wasser sich im Vergleich zu anderen Oberflächen langsamer erwärmt und abkühlt. Damit zeichnen sich die Uferbereiche von Wasserflächen durch eine geringere thermische Belastung tagsüber aus, kühlen nachts aber auch weniger stark ab. Darüber hinaus zeichnet sich das Gewässerklima durch eine hohe Luftfeuchtigkeit und Windoffenheit aus. Am Standort Oberer Wöhrd liegen daher insbesondere in Strahlungs Nächten die Temperaturminima auf relativ hohem Niveau, neben der Beeinflussung durch die unmittelbar angrenzenden Wasserflächen wirkt sich auch die Luftleitbahn über den Wasserflächen der Donau auf die schlechte nächtliche Abkühlung aus. Am Standort Unterer Wöhrd war die mildernde Wirkung des Gewässerkörpers weniger stark ausgeprägt. Dies stützt die Aussage, dass sich die thermische Wirkung von Fließgewässern auf die Wasseroberfläche selbst und den unmittelbar angrenzenden Uferbereich beschränkt. Am Standort Unterer Wöhrd konnte sich das Mikroklima der kleinen Gartenanlage stärker durchsetzen als das Gewässerklima der Donau.

Weitestgehend lassen sich die für das Donautal getroffenen Aussagen auch auf das Regental übertragen. Die gute Abkühlung am Standort Regental bestätigen dies. Minimierend auf den Einfluss des Gewässers wirken sich auch die geringe Breite des Flussbettes und, insbesondere in Bezug auf die nächtlichen Minima, die im Vergleich zur Donau niedrigeren Wassertemperaturen des Regen aus.

Tabubereiche für weitere Versiegelungsmaßnahmen

Im Zusammenhang mit den genannten Ausgleichsräumen gibt die Planungshinweiskarte konkrete Hinweise, wo die Ausweisung neuer versiegelter Flächen aus stadtmeteorologischer Sicht problematisch gesehen wird. Dabei handelt es sich sowohl um den Schutz des Außenraumes vor weitergehender Bebauung als auch um den Schutz innerstädtischer Regenerationsflächen vor zusätzlicher Bebauung.

Die Freiflächen zwischen den Stadtteilen besitzen eine positive bioklimatische und lufthygienische Bedeutung und ihre Funktion sollte weiterhin gesichert werden. Die Flächen sollten insofern geschützt werden, dass über die angegebenen Bebauungsgrenzen hinaus möglichst nicht weiter gebaut wird, um ihren Charakter weitgehend zu erhalten.

Zum Schutz der regional bedeutsamen Ausgleichsräume, zum Erhalt von unbebauten Verbindungen zwischen den Frischlufteinzugsgebieten und den dicht bebauten Stadtteilen sowie zum Erhalt innerstädtischen Park-, Freizeit- und Sportanlagen sollte die Bebauung einiger Bereiche nicht weiter ausgedehnt werden. Nur auf diese Weise kann ihre Kaltluftversorgung bzw. ihre kleinklimatische Oasenfunktion erhalten bleiben.

Zum Schutz der innerhalb der Bebauungsstrukturen liegenden Frei- und Grünflächen, die durch ihre Verbindung zum unbebauten Umland eine besondere Stellung innerhalb der städtischen Grünzüge einnehmen, sind in der Planungshinweiskarte auch Flächen dargestellt, die von möglichst von weiterer Bebauung freizuhalten sind. Hierdurch soll die Funktion dieser Flächen als potentielle Kaltluftentstehungsgebiete und Kaltluftabflusszonen.

Die Kategorie "keine weitere Bebauung wünschenswert" wurde in der Regel in den Außenbereichen vergeben. Hier sollen zusätzliche Versiegelungen nicht kategorisch ausgeschlossen werden. Als Beispiele für eine zusätzliche Bebauung im nördlichen Stadtgebiet sind die Nordseite der Frauenzellstraße oder die Nordwestseite der Chamer Straße im Stadtteil Wutzlhofen zu nennen. Im Westen der Stadt ist eine moderate Erweiterung der Wohnbebauung im Bereich Kager vertretbar, in erster Linie nach Westen, weniger großflächig nach Osten hin. Im Süden ist eine Weiterentwicklung von dem jetzigen Charakter angepasster Wohnbebauung im Stadtteil Leoprechting aus fachlicher Sicht unbedenklich. In Burgweinting sollte aus fachlicher Sicht nur noch eine sehr kleinräumige Ausweisung von weiteren Versiegelungsflächen erfolgen, dies ist z.B. noch westlich der Römerstraße möglich.

Die Flächen der Kategorie "keine weitere Bebauung zulassen" sollten möglichst umfassend ihre heutigen Nutzungsformen behalten. In vielen Fällen wird dies aus stadtplanerischer Sicht unumstritten sein, da es sich um ausgewiesene Erholungsflächen handelt. Die Klimafunktion der meisten Flächen dieser Kategorie

wurde bereits im Zusammenhang mit den lokal wichtigen thermischen Ausgleichsflächen beschrieben, hier wird ergänzend deutlich gemacht, dass sich aus stadtmeteorologischer Sicht eine Umnutzung in bebaute Flächen verbietet.

9.2.2 Lasträume

Im folgenden werden die in der Planungshinweiskarte als Lasträume charakterisierten Flächen beschrieben, beginnend mit dem Flächentyp der aktuell geringsten Laststufe.

Lasträume mit geringer thermischer Belastung

Aufgrund der aufgelockerten Bauweise und dem hohen Anteil an Grünstrukturen ist in Kategorie "bebaute Gebiete ohne oder mit geringer thermischer Belastung" von nur einer geringen Änderung der Klimatelemente gegenüber dem Freiland auszugehen. Daher sind lufthygienische und bioklimatische Probleme in diesen Bereichen nicht anzutreffen. In diesem aus klimatischer Sicht schwach belasteten Raum ist planerisches Handeln im Wesentlichen als Optimierung der bestehenden günstigen Situation zu verstehen. Um die lufthygienisch und klimatisch günstige Situation in diesem Lastraum zu sichern, sollten die Bebauungsstrukturen innerorts nicht weiter verdichtet werden. Weitere wichtige Entwicklungsziele und Maßnahmen für diese Teilräume sind:

- Erhalt bzw. Verbesserung der Grünausstattung, angereichert mit großkronigen Laubbäumen, um tagsüber schattenspendende Bereiche zu schaffen
- eine maßvolle Nachverdichtung unter Beibehaltung der bestehenden Bebauungsstrukturen,
- Sicherung und Anlage von Grünflächen zur Verbesserung bzw. zum Erhalt der Belüftung,
- Begrenzung der Neuversiegelung sowie Entsiegelung bzw. Belagsänderung oder Rückbau (teilweise überdimensionierter) Erschließungs- und Stellplatzflächen,
- Reduzierung der Emissionen aus Hausbrand.

In Regensburg wurde diese Kategorie für insgesamt knapp 130 Hektar vergeben. Konkret zu benennen sind die Ortslagen Brandlberg, Oberwinzer, Niederwinzer, Irl, Harting, Oberisling, Unterisling, der Süden von Leoprechting sowie die Hofanlage Pürkelgut. Der ebenfalls ländlich geprägte Ortsteil Keilberg fehlt in dieser Aufzählung, da er aufgrund seiner windoffenen und mehrheitlich inversionsfreien Lage zu den "Kuppenbereichen ohne signifikante Klimafunktion" im Regensburger Stadtgebiet gehört.

Lasträume mit mäßig hoher thermischer Belastung

Bei der Kategorie "bebaute Gebiete mit mäßig hoher thermischer Belastung" handelt es sich um meist großflächigere Bereiche mit aufgelockerter Wohnbebauung.

Zu den Flächen der lockeren Bebauung zählen neben reinen Wohngebieten auch aufgelockerte allgemeine Wohngebiete, aufgelockerte Mischgebiete und Kleinsiedlungsgebiete sowie Dorfgebiete, soweit sie nicht im regional bedeutsamen Ausgleichsraum liegen. Kennzeichnend für diese Flächen ist die aufgelockerte und offene Bauweise mit einer guten Durchgrünung. Optimale Geschossflächenzahlen bei diesem Gebäudetyp liegen bei 0,6 bis 1,0 mit Versiegelungsgraden um 40 %.

Dieser Bauflächentyp, der überwiegend den Charakter der Siedlungsflächen im Klimatop "Stadtrand bestimmt, erzeugt einen nur mäßig ausgeprägten Lastrraum. Aufgrund der aufgelockerten Bauweise und dem hohen Anteil an Grünstrukturen ist in diesen Bereichen von nur einer geringen bis mäßigen Änderung der Klimaelemente gegenüber dem Freiland auszugehen. Daher sind lufthygienische und bioklimatische Probleme in diesen Bereichen nur selten anzutreffen. In diesem aus klimatischer Sicht schwach belasteten Raum ist planerisches Handeln im Wesentlichen als Optimierung der noch bestehenden günstigen Situation zu verstehen. Um die lufthygienisch und klimatisch günstige Situation in diesem Lastraum zu sichern, sollten die Bebauungsstrukturen nicht weiter verdichtet und – soweit möglich – Grünvernetzungen mit den damit verbundenen positiven Auswirkungen geschaffen bzw. ausgebaut werden. Die wichtigsten Entwicklungsziele und Maßnahmen für diesen Lastraum sind:

- Erhalt bzw. Verbesserung der Grünausstattung, angereichert mit großkronigen Laubbäumen, -eine maßvolle Nachverdichtung (unter Beibehaltung der bestehenden Bebauungsstrukturen),
- Sicherung und Anlage von Grünflächen zur Verbesserung bzw. zum Erhalt der Belüftung,
- Begrenzung der Neuversiegelung sowie Entsiegelung bzw. Belagsänderung oder Rückbau (überdimensionierter) Erschließungs- und Stellplatzflächen,
- Reduzierung der Emissionen aus Hausbrand.

Flächen, die dem Lastraum der überwiegend mittleren bis locker und offen bebauten Wohngebiete zuzuordnen sind, sind über fast das komplette Stadtgebiet verteilt und haben zusammen einen Flächenanteil an der Gesamtfläche von 684 Hektar, was 8,5% des Regensburger Stadtgebietes entspricht. Lagebedingt haben sie teilweise ausreichend Kontakt zur freien Landschaft, teilweise sind sie aber auch von anderen Lasträumen umgeben. Guten Kontakt zur freien Landschaft hat zum Beispiel der Stadtteil Prüfning. Einerseits besteht die Möglichkeit, dass kühlende Bergwinde aus

dem Naabtal Zugang zu diesem Stadtteil haben, andererseits besteht Kontakt zum regionalen Ausgleichsraum in der Donauniederung; Dies hat positive Einflüsse auf das örtliche Bioklima. Ohne direkten Kontakt zu thermischen Ausgleichsräumen, aber mit einem hohen Anteil Grün sind die Wohngebiete weiter östlich (jenseits der A 93) ausgestattet. Ähnliches gilt für den Bereich Königswiesen und für Teile der Ganghofer-Siedlung. Auch im Norden des Regensburger Stadtgebietes befinden sich größere Siedlungsbereiche, die diesem Typ Lastraum entsprechen. Im Süden gehören Teile des stark expandierenden Stadtteils Burgweinting dazu, dies gilt im besonderen für die Neubaugebiete westlich der Obertraublinger Straße, die zusätzlich zum eigenen hohen Grünflächenanteil auch über eine gute externe Frisch- und Kaltluftversorgung verfügen.

Lasträume mit erhöhter thermischer Belastung

Der Lastraum der Kategorie "bebaute Gebiete mit erhöhter thermischer Belastung" umfasst umfasst die Bereiche, in denen das Stadtrandklimatop und das Stadtklimatop räumlich eng miteinander verzahnt sind. Dieser Lastraum hat einen Flächenanteil am Regensburger Stadtgebiet von 563 Hektar, was knapp 7% der Gesamtfläche entspricht.

Er wird geprägt durch überwiegend dicht bebaute Wohn- und Mischgebiete. Dies führt zu einer deutlichen Veränderung der mikroklimatischen Verhältnisse. Dazu zählen insbesondere eine erhöhte thermische und bioklimatische Belastung sowie verschlechterte Luftaustauschbedingungen. Besonders problematische Verhältnisse entstehen dort, wo bodennahe Emittenten, insbesondere der Kfz-Verkehr, zu einer Schadstoffanreicherung führen. Der Lastraum der verdichteten Bebauung zeigt eine große Variation zwischen klimatisch etwas günstigeren Bereichen und relativ stark belasteten Gebieten. Damit ergibt sich eine große Spannweite der Ziele von Maßnahmen, die über den Erhalt der guten Stadtstruktur bis hin zur Verbesserung der ungünstigen Situation oder der Verhinderung der Ausweitung der Lastraumflächen reicht.

Zu den Entwicklungszielen in den dicht bebauten Wohn- und Mischgebieten zählen vorzugsweise:

- Erhöhung des Begrünungsanteils mit dem Schwerpunkt der Anpflanzung höherer Vegetation und großkroniger Bäume,
- Rückbau und Begrünung von Straßenräumen,
- Herabsetzung des Versiegelungsgrades,
- Verkehrsreduzierung und Minimierung des Hausbrands,
- Aufwertung der Blockinnenhöfe durch Begrünung und Öffnung in einen begrüntem

Straßenraum.

Aufgrund der vielseitigen Bebauungsstrukturen auf diesen Flächen, die unterschiedliche Formen geschlossener und dichter Bebauung, wie Zeilen- und Blockrandbebauung sowie dichte Mischungen von Einzelkomplexen und sehr dichte Reihenhausbebauung umfassen, kann auch eine Vielzahl von Maßnahmen als Planungshinweise genannt werden. Der Anteil an Vegetationsstrukturen schwankt, da die Nutzungsstrukturen in diesem Lastraumtyp stark variabel sind. Die Nutzung der Innenhöfe reicht von kleingewerblicher Nutzung über Garagen bis zur Gartennutzung.

Als Maßnahmen zur Verbesserung der klimatischen und der lufthygienischen Situation in den Lasträumen der verdichteten Bebauung sind die Auflockerung der vorhandenen Bebauungsstrukturen sowie ein Ausschluss von weiteren massiven Gebäudekomplexen zu nennen. Insbesondere bei innenstadtnahen Wohn- und Mischgebieten ist es sinnvoll, zum Schutz der Außenbereiche - zumindest in einzelnen Gebieten - eine möglichst hohe bauliche Dichte anzustreben ohne Verdichtung der Bebauungsstrukturen. Hierbei sind jedoch auch die klimatischen und lufthygienischen Bedingungen zu verbessern. So sind als Richtwerte Geschossflächenzahlen zwischen 1,2 und 2,4 bei einem maximalen Versiegelungsgrad von 60 % anzustreben. Auf diese Weise lässt sich eine 3 – 4 geschossige Bebauung auf einer zu 40 – 60 % überbauten Fläche realisieren. Zusätzlich sollten vorhandene Grün- und Freiflächen erhalten bzw. neue geschaffen werden, um mikroklimatische Belastungen abzumildern. In den Straßenzügen kann dies durch die Anpflanzung von Laubbäumen geschehen. Hierbei ist es bei schmalen Straßen sinnvoller, einseitig kleinkronige Bäume anzupflanzen, um eine ausreichende Belüftung zu gewährleisten. Bei breiteren Straßen bzw. Straßen mit einem geringen Emittentenanteil ist die alleearartige Anpflanzung großkroniger Bäume empfehlenswert. Eine weitere Maßnahme, die zu einer mikroklimatischen Verbesserung führen kann, ist die Begrünung von Innenhöfen sowie anderen, auch privaten Kleinflächen. Um das Bestandsklima der Innenhöfe in den dicht bebauten Bereichen zu verbessern, bietet es sich an, bei ausreichender Größe der Innenhöfe, locker stehende Baumbestände anzulegen. Nicht alle Innenhöfe lassen sich entkernen und als Grünflächen nutzbar machen. Einzelne, der Stadtversorgung dienende Gewerbebetriebe, sollten erhalten bleiben, was den Bestrebungen zur Minimierung des Flächenverbrauchs in den Außenbereichen zugute kommt und somit indirekt positive Wirkungen auf das gesamte Stadtklima hat. Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit, mit Hilfe von Dach- und Fassadenbegrünungen eine Verbesserung der stadtklimatischen Bedingungen zu erzielen.

Zu diesen Lastflächen gehört im Norden des Regensburger Stadtgebietes der Kernbereich von Wutzlhofen, wo in den letzten Jahren eine massive Verdichtung der Bebauung stattgefunden hat. Innerhalb dieser verdichteten Bebauung wurden an der

Station am evangelischen Kindergarten relativ milde Nächte und auch relative hohe Temperaturmaxima gemessen. Neben der relativ stark verdichteten Bebauung kommt hinzu, dass die topographische Lage (oberer Hangbereich) die schlechte nächtliche Abkühlung unterstützt. Weitgehend ohne externe Frisch- und Kaltluftversorgung sind auch die Lasträume zwischen den Straßenzügen Nordgaustraße/Illerstraße/Brandlberger Straße und der B8. Ähnliche Eigenschaften haben auch viele Wohnbereiche südlich der Donau, denen der Kontakt zu Ausgleichsräumen fehlt und die häufig von großräumigen Industrie- und Gewerbegebieten umgeben sind. Auch im Stadtteil Burgweinting erfüllen einige Teilbereiche die Kriterien für Lasträume mit erhöhter thermischer Belastung, so vor allem die hohe blockartige Bebauung östlich der Obertraublinger Straße.

Lasträume mit sehr hoher thermischer Belastung

Die extrem dichte und hohe Blockbebauung, der hohe Versiegelungsgrad von 75 – 100 %, der sehr niedrige Durchgrünungsgrad der Blöcke und des Straßenraums, die Innenhofsituationen mit hohem Bebauungsgrad, teilweise starkes Verkehrsaufkommen mit häufigem Stopp-and-Go-Verkehr und mehrfach anzutreffende enge Straßenschluchten, in denen die Gebäudehöhe deutlich die Straßenbreite übertrifft, machen den hoch verdichteten Altstadtbereich, der zusammen mit dem dichtversiegelten Bereich im Stadtteil Unterer Wöhrd eine Größe von 70 Hektar hat, zu einem ausgeprägten klimatischen Lastraum. Dies wurde durch die Messungen am Dachauplatz und am Haidplatz deutlich. Dies macht sich in erster Linie in erhöhten Lufttemperaturen insbesondere in den Sommermonaten in Form von bioklimatisch ungünstigen Verhältnisse (Hitzestress) vor allem während der Abend- und Nachtstunden bemerkbar. Verschlechterte Belüftungsverhältnisse sowie hohe lufthygienische Belastungen sind ebenso die Folge der starken anthropogenen Überformung. Daher ist es wichtig, durch Begrünungsmaßnahmen im Altstadtbereich auf die Milderung des Stadtklimas hinzuwirken.

Aus stadtklimatischer Sicht wesentliche Entwicklungsziele des innerstädtischen Lastraums sind daher:

- Stabilisierung der Nutzungsmischung,
- Entwicklung von beschatteten Freiflächen,
- Erhöhung des Grünanteils,
- Nutzung von Entsiegelungspotential, um einen Versiegelungsgrad von maximal 70–80 % zu erreichen,
- Reduktionen von Emissionen aus Hausbrand,

- Sicherung und Verbesserung der Durchlüftung (durch Öffnen von Belüftungsschneisen zur Donau und zu den südlich liegenden Parkanlagen)

Der innerstädtische Lastraum umfasst Gebiete mit einer hohen Flächenkonkurrenz. Dadurch sind in diesen Bereichen enge Grenzen für Maßnahmen zur klimatischen Optimierung gesetzt. Somit können hier bioklimatische und lufthygienische Extreme nur abgemildert werden. Es ist im Hinblick auf die gesamtstädtische Entwicklung darauf zu achten, dass sich die Flächen dieses Lastraums nicht weiter im Stadtgebiet ausweiten. Die Flächenversiegelung greift außerdem entscheidend in den natürlichen Wasserkreislauf ein: Zum einen ist die Infiltration des Niederschlagswassers bei hohem Versiegelungsgrad niedrig, zum anderen erhöht sich der Anteil des oberirdischen Abflusses. Ziel der innerstädtischen Planung sollte sein, dass sowohl beim Gebäude - als auch beim Verkehrswegebau eine flächensparende Bauweise gewählt wird. Bodenversiegelungen können durch den Einsatz von durchlässigen Oberflächenbefestigungen reduziert werden und zwar vor allem dann, wenn die Nutzungsform der Flächen nicht unbedingt hochresistente Beläge wie Beton oder Asphalt voraussetzt. Geeignete durchlässige Materialien zur Befestigung von Oberflächen (Schotterrasen, Rasengittersteine, Kunststoffrasengitter, Rasenfugenpflaster, Betonpflastersteine, Kies-/Splittabdeckung u.a.) sind mittlerweile für viele Anwendungsbereiche verfügbar. Für Hofflächen, öffentliche Plätze, Innenhöfe, Radwege, Gehwege und Zufahrtswege sind wasserdurchlässige Befestigungen geeignet, sofern keine Grundwassergefährdungen zu erwarten sind.

Eine Erhöhung des Grünanteils im sehr hoch verdichteten Lastraum der Altstadt ist nur unter der Berücksichtigung der Belüftung, die durch die Maßnahme nicht eingeschränkt werden darf, anzustreben. Für Baumpflanzungen bieten sich besonders größere Plätze und Stellplatzbereiche an. Hierbei steigern insbesondere großkronige Laubbäume durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität. Aufgrund des geringen bis fehlenden Platzangebotes für die Neuanlage von Grünflächen können ergänzend Fassaden- und Dachbegrünungen zur Verbesserung des Mikroklimas durchgeführt werden. Begrünte Dächer stellen die kleinsten Grünflächen im Stadtgebiet dar. Sie haben positive Auswirkungen auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Erst in einem größeren Verbund können sich auch Auswirkungen auf das Mikroklima eines Stadtviertels ergeben. Die thermischen Effekte von Dachbegrünungen liegen hauptsächlich in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf durch Verminderung der Aufheizung der Dachfläche im Sommer und des Wärmeverlustes des Hauses im Winter. Dies führt zu einer ausgeglicheneren Klimatisierung der darunter liegenden Räume. Ein weiterer positiver Effekt von Dachbegrünungen ist die Auswirkung auf den Wasserhaushalt. 70 % bis 100 % der Niederschläge werden in der Vegetationsschicht aufgefangen und durch Verdunstung

wieder an die Stadtluft abgegeben. Dies reduziert den Feuchtemangel und trägt zur Abkühlung der Luft in versiegelten Stadtteilen bei. Starkniederschläge werden zeitverzögert an die Kanalisation abgegeben, wodurch das Stadtentwässerungsnetz entlastet wird. Die Begrünung von Hausfassaden wirkt sich ähnlich wie die Dachbegrünung positiv auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes aus. Fassadenbegrünungen verbessern in erster Linie die mikroklimatischen Verhältnisse an und vor den Gebäuden selbst, ohne eine nennenswerte Fernwirkung zu erzielen. Neben diesen klimatischen Effekten können Fassadenbegrünungen auch positiv auf die lufthygienische Situation im Innenstadtbereich wirken, da sie Luftverunreinigungen – vor allem Feinstaub - herausfiltern. Insbesondere in engen Straßenschluchten, ohne Platz für andere Begrünungsmaßnahmen, stellen diese die einzig wirkungsvolle Alternative dar.

Für den gesamten Bereich der Regensburger Altstadt erscheint eine komplette Überplanung aus kleinklimatischer Sicht dringend erforderlich, bevor die Aufenthaltsqualität im Freien aufgrund der extremen Überwärmung, die bezüglich Intensität und Andauer schnell zunimmt, weiter sinkt und ein angenehmes Wohnen in der Altstadt ohne eine Klimatisierung nicht mehr möglich ist. Schon heute wird der Straßenraum in vielen Bereichen der Altstadt mit der Abluft aus klimatisierten Geschäftsräumen zusätzlich aufgeheizt.

Gewerbe- und Industriebereiche mit erhöhter Belastung

Im Stadtgebiet von Regensburg existieren zahlreiche große zusammenhängende Gebiete, die dem Lastraum der Gewerbe- und Industrieflächen zugeordnet werden. Sie haben in der Planungshinweiskarte für Regensburg eine Flächengröße von insgesamt 1.323 Hektar und beherrschen somit 16,4% des gesamten Stadtgebietes. Dieser extrem hohe Anteil an der Gesamtfläche erfordert es, sich diesen Lastflächen mit hoher Intensität anzunehmen, um zu versuchen, ihre negativen Auswirkungen auf die anderen Nutzungsformen zu begrenzen. Besonders problematisch sind die unmittelbar an Lasträume der Wohnbebauung angrenzenden Industrie- und Gewerbekomplexe, die einerseits für die benachbarte mittlere bis lockere Wohnbebauung erhebliche stadtklimatologische Nachteile mit sich bringen und andererseits im Zusammenwachsen mit der dichten Wohnbebauung den Wärmeinseleffekt erheblich ausdehnen. Zusammenhängende Gewerbe- und Industriegebiete sind häufig durch ein enges Nebeneinander locker und dicht bebauter Flächen, Betriebe und Anlagen charakterisiert. Neben unversiegelten Lagerflächen und ungenutzten Restflächen ist jedoch eine deutliche Tendenz zu überwiegend hohen bis sehr hohen Versiegelungsgraden zwischen 70 und 100 % festzustellen.

Insbesondere die dicht bebauten Gewerbe-, Industrie- und Sondergebiete sind aus bioklimatischer, wie auch lufthygienischer Sicht als ausgeprägte Lasträume zu bezeichnen. Sie werden in der Klimabestandskarte als gesonderte Klimatope behandelt. Zu den stadtklimatischen Auswirkungen der Industrie- und Gewerbeflächen zählen eine hohe thermische Belastung und eine schlechte Belüftungssituation. Die Durchlüftung kann lokal durch breite Verkehrsbänder sowie große Außenlagerflächen und Stellplatzanlagen begünstigt werden. Langgezogene Hallenbauten können je nach Stellung im Windfeld die bodennahe Ventilation behindern. Daran gekoppelt ist aufgrund der hohen Emissionen eine deutliche Verschlechterung der lufthygienischen Situation, wobei zwischen Emissionen mit lokaler und Emissionen mit regionaler Bedeutung unterschieden werden muss. Emittenten mit lokaler Bedeutung zeichnen sich durch niedrige Schornsteinhöhen aus, so dass insbesondere im Umfeld dieser die Schadstoffbelastungen hoch sind. Quellen mit regionaler Bedeutung weisen dagegen höhere Schornsteine auf, wodurch die mit Schadstoffen angereicherten Luftmassen weiter transportiert werden und sich erst in größerer Entfernung auswirken.

- Zu den Entwicklungszielen für die Industrie- und Gewerbeflächen zählen:
- die Reduzierung nachteiliger klimatischer Wirkungen auf die Umgebung,
- die Optimierung der lufthygienischen Situation im Sinne des Vorsorgeprinzips,
- die Vermeidung der Ausbildung großflächiger Wärmeinseln,
- die Entwicklung von akzeptablen Aufenthaltsqualitäten im Gewerbeumfeld tagsüber.

Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der Situation in den Lasträumen der Gewerbe- und Industrieflächen führen, bestehen in erster Linie in der Entsiegelung und dem Erhalt sowie der Erweiterung von Grün- und Brachflächen. Die Erfordernisse gewerblich-industrieller Nutzungen bestimmen maßgeblich die Gestaltung der Gewerbe-, Industrie- und Sondergebiete und schränken somit auch den Rahmen für klimaverbessernde Maßnahmen ein. Es entstehen Zielkonflikte zwischen einer anzustrebenden Verbesserung der Grünstruktur und Verringerung des Versiegelungsgrades einerseits und einer notwendigen Vollversiegelung betrieblicher Funktionsbereiche zum Schutz des Grundwassers andererseits. Lösungsmöglichkeiten sind in diesem Fall in einer ausreichenden Gliederung von hochversiegelten Bauflächen und betrieblichen Funktionsbereichen wie Lager- und Freiflächen durch breite Pflanzstreifen und Grünzüge zu suchen. Darüber hinaus bieten sich oft Stellplatzanlagen, Randsituationen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungen an. Weitere sinnvolle Maßnahmen sind die Begrünung von Fassaden und Dächern. Neben den genannten Maßnahmen, die der Verbesserung der klimatischen Situation in den Gewerbe- und Industrieflächen dienen, sind für verdichtete, mehrgeschossig bebaute Gewerbe- und Industriegebiete Versiegelungsgrade bis zu 70 % hinzunehmen. Um den Kern der

Gewerbe- und Industriezonen sollte ein bepflanzter Freiraum von 30 – 50 % der Gebietsausdehnung als Puffer zu angrenzenden Flächen eingehalten werden, um eine Reduzierung von nachteiligen klimatischen Wirkungen auf die Umgebung zu erreichen.

Für die Gestaltung von neuen Gewerbe-, Industrie- und Sonderflächen, deren Maß sich in Regensburger wegen des schon hohen Flächenanteils auf Minimalziele beschränken sollte, sind als weitere geeignete Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der klimatischen Situation beitragen, die folgenden anzuwenden:

- Wahl eines geeigneten Standortes zur Sicherung einer hinreichenden Be- und Entlüftung,
- Verringerung verkehrlicher Emissionen,
- Flächensparendes Bauen und Flächenrecycling,
- Rückbau und Entsiegelung betrieblich nicht mehr genutzter Flächen und deren Begrünung,
- Sicherung und Erweiterung von Grünflächen zur Optimierung der Aufenthaltsqualität,
- Soweit möglich Reduzierung produktionsbedingter Emissionen auf ein unvermeidbares Minimum,
- Abwärmenutzung von Industrieanlagen,
- Begrünung von Fassaden und Dächern,
- Anlage eines begrünten Übergangsbereichs zwischen den Gewerbe- und Industrieflächen und der angrenzenden (Wohn-)Bebauung.

Bei Neuplanungen von Gewerbe- und Industriegebieten ist darauf zu achten, in den jeweiligen Planungsstufen die Belange von Klima und Lufthygiene zu berücksichtigen. Zu nennen sind insbesondere die Rahmenplanung, die Flächennutzungsplanung, die Bebauungsplanung, die Vorhaben- und Erschließungsplanung sowie das Baugenehmigungsverfahren. Klimawirksame Maßnahmen lassen sich insbesondere in der Bauleitplanung für neue und zu erweiternde Standorte umsetzen. So ist im Rahmen der Eingriffsregelung darauf zu achten, soweit möglich, die Kompensationsmaßnahmen auf dem Gelände selbst durchzuführen, um für eine Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Bedingungen vor Ort zu sorgen. Mit Hilfe geeigneter Festsetzungen ist im Bebauungsplan eine Begrenzung der Flächeninanspruchnahme sowie eine ausreichende Grünausstattung zu sichern. Weiterhin ist durch eine geeignete Baukörperanordnung und die Beschränkung bestimmter Bauhöhen eine optimale Durchlüftung zu gewährleisten.

Wie beim Lastraum Altstadt sollten zukünftig auch die großflächigen Lasträume der

Gewerbe- und Industrieflächen nach kleinklimatischen Optimierungsmöglichkeiten untersucht werden, und das insbesondere dort, wo Kontakt zu größeren Wohnquartieren besteht.

9.2.3 Flächen ohne konkrete Planungshinweise

Teilraum Straße

Autobahnen, Hauptverkehrs-, die meisten Erschließungsstraßen sowie einige Nebenstraßen werden in der Planungshinweiskarte dargestellt, da sie als linienhafte Emissionsquellen einen wesentlichen Belastungsfaktor auch in den ansonsten klimatisch weniger stark belasteten Räumen darstellen. Größere Straßenbänder treten klimatisch sowohl tagsüber als auch in der Nacht durch eine starke Überwärmung in Erscheinung. Aufgrund der geringen Oberflächenrauigkeit erfüllen sie gleichzeitig eine Funktion als Belüftungsschneisen, die jedoch durch hohe Emissions- und Immissionsbelastungen gekennzeichnet sind. Darüber hinaus zeichnen sie sich durch hohe Lärmbelastungen für den Straßenraum und die angrenzende Umgebung aus. Während hohe lufthygienische Belastungen durch verkehrliche Emissionen in den Innenstadtbereichen gehäuft auf Abschnitten des Hauptverkehrsstraßennetzes auftreten, so sind es in den gering verdichteten Siedlungsbereichen eher vereinzelt anzutreffende Straßenabschnitte.

Im Regensburger Stadtgebiet sind neben den durch das Stadtgebiet führenden Autobahnen A 3 und A93 die stark befahrenen Bundesstraßen B 8, B 15 und B 16 zu den Hauptverkehrsstraßen zu rechnen. Daneben existieren im Stadtgebiet zahlreiche stark befahrene Straßen, ohne dass diese hier im einzelnen benannt werden. Dort, wo Lärmschutzwände existieren, konzentrieren sich die Schadstoffe weitgehend auf den Straßenquerschnitt und nehmen im angrenzenden Raum rasch ab. Bei freier Lage allerdings können die Emissionen bis mehrere hundert Meter in die Umgebung hinein nachgewiesen werden. Zusätzlich führen hohe Lärmemissionen zu starken Umweltbelastungen in den angrenzenden Bereichen.

Teilraum Bahn

Bahntrassen können als Luftleitbahn wirksam sein. Während sich die Luftmassen tagsüber über den Bahnanlagen stark erwärmen, kühlen sie sich nachts rasch wieder ab. Da es sich um Bereiche mit geringen Emissionen handelt, zählen Bahnanlagen zu den Entlastungsräumen in einem Stadtgebiet. In Regensburg sind die in West-Ost-Richtung verlaufenden Gleisanlagen von der Donau bis zum Regensburger Hauptbahnhof als Luftleitbahn ausgewiesen. Entlang dieser Leitbahn können

insbesondere bei in Regensburg vorherrschenden Winden aus westlichen Richtungen kühle Luftmassen in Richtung Kernstadt transportiert werden. Da die Bebauung teilweise schon jetzt zum Teil sehr dicht an diese Luftleitbahn heranreicht, kann eine weitere Bautätigkeit im Umfeld der Leitbahn sowie auf vorhandenen Brachflächen die Funktionalität einschränken. Es ist bei weiteren Planungen darauf zu achten, dass die randliche Bebauung möglichst keine Riegelwirkung erzeugt.

Steinbruch- und Abgrabungsbereiche

Diese Sonderflächen haben in Regensburg eine Größe von zusammen 122 Hektar; daran beteiligt sind mit rund 105 Hektar der Steinbruchbereich im Nordosten sowie der ehemalige Braunkohletagebau sowie der noch aktive Tonabbau im Stadtteil Dechbetten mit rund 17 Hektar. Der genannte Steinbruchbereich hat aufgrund der Reliefverhältnisse kaum Kontakt zum Umland. Teilweise rekultivierte Bereiche befinden sich neben aktiven Bruchflächen, so dass das Kleinklima dort in ständiger Veränderung ist. Im Gegensatz dazu stehen die Flächen in Dechbetten zumindest teilweise in Kontakt mit der sich nach Nordosten anschließenden Wohnbebauung. Gemeinsam mit den ebenfalls an den Tagebau angrenzenden Offenlandflächen könnten sich abendliche Hangabwinde mit kühlender Wirkung einstellen. Für genauere Aussagen müssten weitere Informationen über die aktuelle Nutzung des Geländes vorliegen und der Bereich kleinklimatisch untersucht werden.

Kuppenbereiche mit reduzierter Klimafunktion

Wie aufgrund der Relieflage zu erwarten ist und wie es durch die Messungen der Lufttemperatur im Stadtgebiet Regensburg bestätigt wurde, baut sich im Donautal auch im Hochsommer häufig eine Inversionswetterlage auf. In den Sommermonaten ist der zeitliche Rahmen in der Regel auf die Nachtstunden beschränkt, im Frühjahr und im Herbst halten sich solche Temperaturumkehrschichten häufig bis in den Vormittag hinein und können sogar ganztägig bzw. über mehrere Tage hinweg andauern. Winterliche Hochdruckwetterlagen führen nicht selten zu mehrtägigen Inversionswetterlagen, was im Donautal zu Hochnebel mit Frost und in den höheren Lagen zu Sonnenschein und milden Temperaturen führt. Selbst eine Stadt von der Größe Regensburgs ist nicht in der Lage, diese Inversion durch ihre eigenen Wärmequellen aufzubrechen. Ähnliche Phänomene sind aus Stuttgart bekannt, wo der dicht bebaute Talkessel tagelang in einer solchen Temperaturinversion verharren kann. Stets zeigen sich dann niedrige Temperaturen in den Tallagen und höhere Werte in den oberen Hangbereichen und in den Kuppenlagen. Für die Regensburger Planungshinweiskarte wurde die 400 Meter-Isolinie als mittlere Obergrenze für solche

Temperaturinversionen angenommen. Basis dafür war im Norden des Stadtgebietes die Station Keilberg, im Süden der Standort Ziegetsdorf. Die Folgen für das jeweilige Kleinklima sind groß. Im Sommer bleibt es in den Bereichen oberhalb der Inversion in Strahlungsnächten sehr mild. Thermische Belastungssituationen können hier auftreten, werden aber durch die vorhandene lockere Bebauung nicht wesentlich verstärkt. Gegenmaßnahmen gibt es keine. Gleichzeitig fehlen die oberen Hangbereiche als Kaltluftproduktionsflächen für tiefer gelegene Lasträume. Dies gilt im Norden der Stadt Regensburg für die Kuppenbereiche von Mühlberg und Sallerberg, insbesondere für deren Südseiten, da diese Bereiche in Richtung Regental sowie in Richtung Galingkofen und Wutzlhofen orientiert sind. Im Süden sind die höhergelegenen Wohnbereiche des Stadtteiles Ziegetsdorf betroffen. In Verbindung mit der teilweise verdichteten Bebauung werden die nächtlichen Abkühlungsleistungen bei entsprechenden Inversionslagen beeinträchtigt, so dass die Überwärmung hier stärker ausfällt als in ähnlichen Situationen in den tiefer gelegenen Baugebieten der Stadt. Deshalb sollte die Bebauung nicht weiter nach Süden in Richtung A3 ausgeweitet werden. Südlich der A3 liegt der westliche Bereich des Stadtteiles Graß im ausgewiesenen inversionsfreien Bereich. Die lockere Bebauung wird hier aber nicht zu bioklimatisch ungünstigen Bedingungen führen. Auf dem sich nach Süden anschließenden Offenlandbereich wird die Kaltluftbildung von der Inversionsobergrenze beeinflusst. Die angenommene Höhenlage von 400 Metern verringert die Kaltluftproduktion in den Flurbezeichnungen Löhel und Gschwand, die östlich davon verbleibenden Flächen sind aber groß genug, um eine ausreichende Kaltluftbildung und den daraus resultierenden Kaltluftabfluss zu generieren.

10. Hinweise zu möglichen Zusammenarbeitsstrukturen

Zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Rahmen von Planungsverfahren ist die Ressortzusammenarbeit ein entscheidender und Ergebnis beeinflussender Faktor. Besondere Bedeutung kommt dabei der Berücksichtigung von Klimabelangen im Rahmen der frühzeitigen Behördenbeteiligung zu. Diese ist seit Juli 2004 neben der bisherigen Behördenbeteiligung im BauGB vorgeschrieben, insbesondere um die Behörden aufzufordern sich zum erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad der Umweltprüfung nach §2 Abs. 4 BauGB zu äußern (vgl. §4 Abs. 1 Satz 1 BauGB). Mit dieser Novellierung wurde die Notwendigkeit der frühzeitigen Zusammenarbeit verschiedener Ressorts vor allem im Hinblick auf die Umweltbelange betont. Um diese jedoch wirksam in Bauleitplanverfahren einzubringen, reicht die formale Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Behördenbeteiligung nicht aus. Problematisch ist zudem, dass die eingebrachten Umweltbelange oftmals von den Planungsressorts zunächst als das Bauleitplanverfahren behindernde Belange angesehen werden. Fachpolitische Ziele anderer Ressorts werden in Bauleitplanverfahren nur selten aufgegriffen und im Rahmen der planungsrechtlichen Möglichkeiten umgesetzt.

In den Kommunen ist der Klimawandel als eigenständiger Themen- und Handlungsbe- reich vielfach noch nicht etabliert. Die Unterscheidung zwischen Klimaschutz und -an- passung und zwischen auf diese Ziele gerichtete Maßnahmen ist bislang unzureichend. In einigen Städten und Gemeinden erfolgt eine Berücksichtigung der Belange des Kli- mawandels im Rahmen der Verantwortlichkeiten für das Themenfeld Klimaschutz, die vorrangig bei den Umweltressorts liegen. Da es allerdings keine feste Zuordnung der Zuständigkeiten für Klimabelange zu einer bestimmten Behörde oder Stelle als Träger öffentlicher Belange gibt, können über die Umweltressorts hinaus weitere am Bauleit- planverfahren Beteiligte diesen Belang in ihren Stellungnahmen vertreten. In den Kom- munen werden zunehmend auch bestehende Zusammenarbeitsstrukturen wie z. B. Ar- beitsgruppen zum Klimaschutz genutzt, um den Klimawandel zu etablieren. Zwar wer- den klimatische Belange schon seit geraumer Zeit im Rahmen von Bauleitplanverfahren eingebracht, in der Umsetzung werden diese Belange jedoch häufig über Darstellungen und Festsetzungen transportiert, die vordergründig einer anderen planerischen Zielset- zung dienen. Diese Form von Synergieeffekten ist zwar zunächst erfreulich, im Hinblick auf die Klimawandelanpassung jedoch nicht steuerbar. Neben der erforderlichen Stär- kung der formellen Planungsinstrumente könnte auch eine verbesserte Form der res- sortübergreifenden Zusammenarbeit und Verständigung zu einer verstärkten Einbrin- gung von Anpassungsmaßnahmen beitragen.

Ressortübergreifende Abstimmungsrunden, die vor der formalen Einleitung von Bauleit- planverfahren tagen, sind in den meisten Städten inzwischen etabliert. An diesen Run- den, die in der Regel der frühzeitigen Machbarkeitsüberprüfung der Planungen dienen,

sind aber nicht immer alle relevanten Akteure beteiligt. Insbesondere die Gesundheitsressorts, aber auch der Bereich Grünflächen sind mit ihren Belangen nur selten in diesen Abstimmungsrunden präsent. Oftmals liegt die Federführung der Abstimmungsrunden bei den Stadtplanungsressorts und die Beteiligung ist vorrangig auf die Bereiche Stadtentwicklung, Immobilienwirtschaft und -management sowie Bauordnung konzentriert. In einigen Städten wurden – meistens unter der Federführung des Umweltressorts – verwaltungsinterne ressortübergreifende Arbeitsgruppen zum Klimaschutz eingerichtet. Einzelne Bebauungspläne stehen hier in der Regel nur selten auf der Tagesordnung, sondern vielmehr städtische Aktivitäten und Maßnahmen zum Klimaschutz. Viele Kommunen nutzen diese gut etablierten Arbeitsgruppen, um das Thema Klimawandel zu platzieren. Eigenständige Arbeitsgruppen, die sich mit der Anpassung an den Klimawandel und die Erarbeitung eigener Anpassungsstrategien an den Klimawandel befassen, sind in einzelnen Kommunen in Planung. Des Weiteren gibt es in manchen Städten Abstimmungsrunden zu verwandten Themen, wie z. B. zur „Luftreinhaltung“ oder zur „Gesunden Stadtentwicklung“ und projektbezogene ressortübergreifende Abstimmungsrunden.

Bei der Zusammenarbeit verschiedener Ressorts im Rahmen der Bauleitplanung existieren weitere Hemmnisse, die im Hinblick auf die Klimafolgenanpassung von schwerwiegender Bedeutung sein können. Nachfolgend sind die wichtigsten Hemmnisse genannt:

- mangelnde Kenntnisse über Klimaschutz und Anpassungsstrategien bei den planaufstellenden Behörden und den (politischen) Entscheidungsträgern,
- mangelnde Kenntnisse über Verfahrensabläufe und Instrumente,
- Kompetenz- und Einflusskonkurrenzen zwischen den Ressorts,
- Interessen- und Zielkonflikte zwischen den Ressorts,
- Überforderung der Planungsressorts bei der fachlichen Beurteilung und Gesamtbeurteilung der Umweltauswirkungen ohne fachliche Unterstützung,
- Zeitmangel bei der Erstellung und Bearbeitung von Stellungnahmen aufgrund anderer Prioritäten.

Diese Hemmnisse verhindern oder erschweren häufig eine effektive und integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche und somit oftmals die unmittelbare Berücksichtigung klimatischer Belange in Bauleitplänen.

Bezug nehmend auf die genannte übergreifende Anpassungslösung "Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche“ können folgende Empfehlungen gege-

ben werden:

- Umweltressorts und damit die Belange der Klimawandelanpassung so früh wie möglich in das Planungsverfahren einbinden,
- regelmäßige Ressortbesprechungen, projektbezogene ressortübergreifende Arbeitsgruppen oder projektbezogene Besprechungen ergänzend zur schriftlichen Abfrage von Stellungnahmen einführen, wie z. B. einen Jour fix, möglichst unter Beteiligung der politischen Entscheidungsebene,
- verschiedene fachliche Stellungnahmen, die den Klimawandel thematisieren, abstimmen und bündeln und erst anschließend in das Planungsverfahren einbringen,
- erstellen des Umweltberichts von einer fachlich kompetenten Stelle,
- Informationen verbessern, kontinuierliche Fort- und Weiterbildung der involvierten Verwaltungsmitarbeiter/innen.

Hemmnisse und Synergieeffekte

Bereits im Vorfeld konkreter kommunaler Planungen hemmen verschiedene Faktoren die Erarbeitung und Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Ein grundsätzliches Hemmnis ist das geringe Bewusstsein für die Folgen des Klimawandels in Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit. Eine mögliche Lösung können hier gezielte Informationsveranstaltungen, insbesondere für Entscheidungsträger, bieten. Aufgrund der Haushaltslage vieler Kommunen sind ihre planerischen Handlungsspielräume jedoch oftmals stark eingeschränkt und damit die Abhängigkeiten von Investorenplanungen hoch. Investoreninteressen lassen sich nur selten mit den Zielen der Klimawandelanpassung vereinbaren. Auch sind die Grundstückspreise im Innenstadtbereich in der Regel zu hoch für Freiflächennutzungen. Nicht zuletzt entsteht durch die Konkurrenz zu benachbarten Kommunen oftmals ein Handlungsdruck dahingehend, dass beispielsweise das Freihalten einer Fläche als Grünfläche oder Parkanlage einer Gewerbeansiedlung weichen muss.

Bei der Durchführung von Planungsverfahren zeigen sich eine Reihe weiterer Hemmnisse und Zielkonflikte, die eine Festsetzung oder Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erschweren.

Folgende Hemmnisse werden beispielhaft angeführt:

- Festsetzungen zur Dach- und Fassadenbegrünung werden in Bebauungsplänen bisher nur selten getroffen, da Eigentümer bzw. Bauherren nicht bereit oder in der Lage dazu sind, die erforderlichen Investitionen aufzubringen. Die Umsetzung von

Dachbegrünungen scheitert zudem regelmäßig an den Dachneigungen und der technischen Machbarkeit. Im baulichen Bestand lässt die Gebäudestatik vor allem bei gewerblich genutzten Gebäuden mit gut geeigneten großen Flachdächern eine Dachbegrünung häufig nicht zu und im Neubau verhindern hohe Kosten für die notwendige Statik oftmals die Umsetzung der Begrünung. Dennoch in Bebauungsplänen festgesetzte Dach- und Fassadenbegrünungen werden, um Anreize zu schaffen, nicht selten auf den Ausgleich angerechnet. Wenn die Begrünung vom Eigentümer wieder entfernt wird, was nach einigen Jahren sehr häufig geschieht, müsste der Ausgleich im Grunde ersatzlos entfallen. Die regelmäßige Kontrolle der Begrünungen durch die Bauaufsicht ist allerdings problematisch.

- Im beschleunigten Bebauungsplanverfahren, das der Wiedernutzbarmachung von Flächen, der Nachverdichtung und anderer Maßnahmen der Innenentwicklung dient (vgl. §13a BauGB), werden „Bebauungspläne der Innenentwicklung“ ohne Umweltprüfung sowie Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen aufgestellt. Dies schränkt die Einflussmöglichkeiten der Umweltressorts und die Einbringung von Anpassungsmaßnahmen in das Verfahren erheblich ein.

Zielkonflikte ergeben sich vor allem aus konkurrierenden Flächen- und Raumnutzungsansprüchen. Eine Identifikation von Hemmnissen und Zielkonflikten reicht allein sicherlich nicht aus, um Klimabelange im Rahmen von Bauleitplanverfahren stärker als bisher zu berücksichtigen. Da keinem Belang im Rahmen der Abwägung grundsätzlich Vorrang gegeben werden kann und konkurrierende Raumnutzungsansprüche gerade in hoch verdichteten Räumen nicht zu vermeiden sind, lassen sich die dargestellten Hemmnisse und Zielkonflikte auch zukünftig nicht vollständig ausräumen. Doch ist dies ein erster, notwendiger Schritt zur Bewusstseinsbildung und Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, auch wenn diese sich häufig nur umsetzen lassen, wenn keine anderen Interessen dem entgegenstehen. Die Umsetzung ist hingegen wesentlich einfacher, wenn eine Doppelfunktion und ein sichtbarer Nutzen vorliegen. Folglich hat die Nutzung von Synergieeffekten eine große Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen.

Synergieeffekte sollte sich die Stadtplanung zu Nutze machen, um die Belange des Klimas effektiver als bisher in ihren formellen und informellen Plänen zu berücksichtigen und für eine Stärkung der formellen Instrumente einzutreten.

Zielkonflikte und Synergien von Maßnahmen

Bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel im Rahmen

der Stadtplanung und -entwicklung können sich sowohl Zielkonflikte als auch Synergien mit anderen städtebaulichen Maßnahmen ergeben. Mögliche Zielkonflikte sollten frühzeitig durch eine integrierte Planung mit ressortübergreifender Zusammenarbeit entschärft werden. Selbstverständlich geht es bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel letztendlich auch darum, unterschiedliche Belange und Ziele gegeneinander abzuwägen und Entscheidungen nach dem Grundsatz einer nachhaltigen Stadtplanung und -entwicklung zu treffen. Da insbesondere Synergieeffekte zwischen unterschiedlichen Handlungsfeldern die erfolgreiche Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen fördern können, sollten diese bereits im Vorfeld konkreter kommunaler Planungen aufgedeckt und genutzt werden.

Im Folgenden werden einige grundsätzliche Zielkonflikte und Synergien genannt, die sich zwischen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und anderen Zielen der Stadtentwicklung ergeben können.

Zielkonflikte

Zielkonflikte zwischen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und anderen politischen Zielen in der Freiraumplanung ergeben sich vor allem aufgrund konkurrierender Flächen- und Raumnutzungsansprüche:

Klimaschutz: Bei der Freiraumplanung zeigt sich insbesondere ein Zielkonflikt von Anpassungsmaßnahmen mit den Strategien zum Klimaschutz. So ist es ein wichtiges Ziel der Klimaanpassung, Wärmeinseleffekte in Städten zu verringern und so den Hitzestress für die Bevölkerung zu minimieren. Hierfür sind eine möglichst lockere Bebauung mit einem ausreichend hohen Freiflächenanteil und genügend Frischluftschneisen erforderlich. Darüber hinaus werden Freiflächen im Rahmen der Klimaanpassung auch als Rückhalteräume im Falle von Starkregenereignissen und Hochwasser benötigt. Auf der anderen Seite gelten gerade kompakte Siedlungsstrukturen als besonders verkehrs- und energiesparend und sind somit im Sinne des Klimaschutzes anzustreben. Auch entsteht ein nicht unerheblicher interner Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung, wenn eine technische Verringerung von Hitzestress durch Klimaanlage vorgenommen würde. Die Nutzung konventioneller Klimaanlage ließe den Energieverbrauch im Sommer stark ansteigen, würde einen CO₂-Mehrausstoß verursachen und steht damit deutlich im Konflikt zu den Zielen des Klimaschutzes. Der Einsatz regenerativer Energien für Klimaanlage und vor allem die Passivkühlung sind daher sinnvollere Maßnahmen zur Verringerung des Hitzestresses.

Lärmschutz: Die Steigerung des innerstädtischen Freiflächenanteils und die Schaffung von Frischluftschneisen widersprechen auch dem Ziel einer möglichst geschlossenen Randbebauung. Ein solcher Lückenschluss bei Baublöcken ist insbesondere wichtig für

den Lärmschutz, da hierüber für die dahinterliegende Bebauung erhebliche Lärminderungspotenziale ausgeschöpft werden können.

Direkte Nutzungskonkurrenzen: Baumpflanzungen mit tief wurzelnden Baumarten können existierende Leitungstrassen und Kanäle beschädigen. Maßnahmen zur Straßenbegrünung sollten daher im Zuge von Kanalerneuerungsvorhaben von vorneherein berücksichtigt werden. Die angestrebte hohe Baumpflanzungsdichte sowie ein hoher Grünflächenanteil stehen darüber hinaus im direkten Zielkonflikt mit anderen Flächennutzungen, etwa der notwendigen Schaffung von Parkraum für Fahrzeuge im Straßenraum.

Prinzip des Umlegungsverfahrens: Eine lockere Bebauung mit hohem Freiflächenanteil widerspricht schließlich auch dem Ziel, im Rahmen eines Umlegungsverfahrens bebaubare Grundstücke zu erhalten (vgl. §45 Satz 1 BauGB).

Auch bei Begrünungsmaßnahmen können verschiedene Zielkonflikte vor allem im Zusammenhang mit der Belüftungssituation im städtischen Raum auftreten:

Baumvegetation im Straßenraum: Bäume ermöglichen durch Beschattung und Verdunstung ein behagliches Bioklima und können als Spurenstofffilter dienen. Kommt es allerdings zum Kronenschluss, kann hierdurch die Durchlüftung im Straßenraum beeinträchtigt werden. Unter einem geschlossenen Baumkronendach kann es insbesondere bei einer hohen Verkehrsdichte zur Anreicherung von Luftschadstoffen kommen. Ein dichter Baumbestand kann darüber hinaus zur Verschattung von Photovoltaikanlagen führen und so deren Effizienz schmälern.

Baumvegetation in Frischluftbahnen: In Frischluftbahnen kann die Durchlüftungsfunktion beeinträchtigt werden, wenn Baumreihen oder dichtes Gehölz ein Strömungshindernis bilden.

Bewässerungsmanagement von (öffentlichen) Grünflächen: Begrünte Flächen, die über zu wenig Grundwasser oder Bodenfeuchtigkeit verfügen, müssen während Trockenperioden künstlich bewässert werden. Das kann insbesondere im Sommer Konflikte mit der Sicherung der Wasserversorgung verursachen. Für den Fall der Flächenbegrünung auf sommertrockenen Standorten sind ggf. einheimische Arten durch trockenresistente Arten zu ersetzen.

Dachbegrünung: Auch zwischen der Begrünung von Dächern und einer möglichen Installation von Solarkollektoren bzw. Photovoltaikanlagen kann bei einer ungenügenden Gebäudestatik ein Zielkonflikt entstehen. Auf der anderen Seite kann aber die Effizienz von Photovoltaikanlagen durch den kühlenden Effekt einer darunter liegenden Dachbegrünung gesteigert werden.

Synergien

Die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ist wesentlich einfacher, wenn eine Doppelfunktion und ein sichtbarer Zusatznutzen vorliegen. Ein solcher Zusatznutzen liegt beispielsweise bei Begrünungsmaßnahmen, bei Maßnahmen zur Flächenentsiegelung oder zur Regenrückhaltung vor. Folglich hat die Aufdeckung von Synergieeffekten eine große Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Synergieeffekte sollte sich die Stadtplanung zu Nutze machen, um die Belange des Klimas effektiver als bisher in ihren formellen und informellen Plänen zu berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit Begrünungsmaßnahmen können folgende Synergieeffekte auftreten:

- Pflanzmaßnahmen führen sowohl zu Kühlungseffekten in den Innenstädten als auch zum Regenrückhalt und tragen somit zur Minimierung des Überschwemmungsrisikos bei. Zugleich verringert innerstädtische Begrünung die Windböigkeit und verhindert so im Winter eine zu starke Auskühlung der Gebäude, was wiederum den Heizenergieverbrauch senkt.
- Ein höherer Vegetationsanteil im Innenstadtbereich führt zu einer Steigerung der Aufenthalts- und Lebensqualität sowie zu einer Verbesserung der lufthygienischen Situation. Parkanlagen und Grünflächen ermöglichen darüber hinaus ein verbessertes thermisches Niveau und eine Spurenstofffilterung der Außenluft.
- Fassaden- und Dachbegrünung dient als Puffer für Niederschlagwasser, so dass Niederschlagsspitzenabflüsse reduziert werden können. Gleichzeitig können hierüber Flächen für die Regenrückhaltung auf dem Grundstück eingespart werden. Durch die Verdunstungseffekte kann darüber hinaus das thermische Niveau im Außenbereich gesenkt werden.
- Fassaden- und Dachbegrünung vermindern im Sommer eine Aufwärmung des Gebäudes und sorgen im Winter für eine zusätzliche Dämmung. So tragen sie zu einer Verbesserung des Innenraumklimas bei und führen zu Energieeinsparungen im Gebäude, die gleichzeitig dem Klimaschutz dienen.

Auch Maßnahmen zur Flächenentsiegelung und zum Regenrückhalt können verschiedene Synergien aufweisen:

- Die Flächenentsiegelung (etwa in Form von Begrünungsmaßnahmen) ermöglicht nicht nur eine bessere Versickerung des Niederschlags bzw. den schnellen Abfluss von Spitzenniederschlägen, wodurch Überschwemmungen vermieden werden, sondern sie trägt über die großflächige Verdunstung auch zur Minderung von Wärme-

belastungen bei.

- Maßnahmen zur Regenrückhaltung steigern die Freiraumqualität und verringern die Hitzebelastung. In Form offener Wasserflächen führen sie darüber hinaus zu ausgeglicheneren Temperaturen und tragen schließlich auch zum Freizeitwert einer Stadt bei.

Viele Maßnahmen beim Hausbau, die eigentlich der Energieeinsparung und damit dem Klimaschutz dienen, haben auch einen positiven Effekt auf die Klimaanpassung. Eine gute Wärmedämmung gegen Energieverluste im Winter wirkt auch als Hitzeschutz gegen eine übermäßige Aufheizung der Wohnungswände im Sommer. Allgemein führt eine Wärmedämmung an Gebäuden zu einer Verringerung der Wärmeabgabe und damit zu einer Verringerung des Wärmeinseleffektes und gleichzeitig zu Synergien mit dem Schallschutz. Auch Passivhäuser mit einem hohen Potential an Energieeinsparung sind im Sommer aufgrund des serienmäßigen Lüftungssystems angenehm kühl.

Auch Stadterneuerungsprozesse können genutzt werden, um Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel umzusetzen. Bei der Ausnutzung von Schrumpfungsprozessen aufgrund des demographischen Wandels kann eine Entwicklung städtischer Freiräume klimawirksam und zur Steigerung der Umwelt- und Lebensqualität stattfinden. Rückbaumaßnahmen im Rahmen des Stadtumbaus können genutzt werden, um ungenutzte bauliche Strukturen einer Grünflächennutzung zuzuführen.

11. Zusammenfassung

Für das Stadtgebiet von Regensburg wird mit diesem Gutachten eine Datenbasis geschaffen, mit der Politik und Verwaltung die zukünftige Stadtplanung und -entwicklung klimagerechter gestalten können. Messungen während der Sommermonate lassen die Messungen Aussagen erwarten, mit welcher Intensität von Überwärmungen im Regensburger Stadtgebiet zu erwarten sind. Kapitel 1 gibt außerdem erste Hinweise auf gesetzliche Grundlagen, mit denen das Stadtklima in die Umweltplanung integriert werden kann.

Im Kapitel 2 werden in knapper Form die Inhalte und Methoden der angewandten Stadtklimatologie vorgestellt, vertiefende Informationen dazu liefern aktuelle Grundlagenstudien sowie zahlreiche Stadtklimaanalysen, die bundesweit zwischen Hamburg und Freiburg erstellt wurden bzw. gerade in Bearbeitung sind.

Kapitel 3 widmet sich der Auswertung langjähriger Klimareihen Für die Amtliche Wetterstation Regensburg steht eine 50 jährige Periode zur Verfügung. Die der Amtlichen Wetterstation bestätigen eindeutig den Trend zu steigenden Lufttemperaturen. Die Jahresmitteltemperatur ist innerhalb von 50 Jahren um ca. 1,5°C angestiegen, Extremwerte wie die Sommertage haben sich innerhalb dieses Zeitraumes von durchschnittlich 30 Tagen im Jahr auf 60 Tage verdoppelt. Da ähnliche Entwicklungen auch an anderen deutschen Orten registriert werden, spiegelt sich anhand der Regensburger Wetterdaten die globale Erwärmung wieder. Hingegen hat sich die Niederschlagssumme kaum verändert, sie liegt im Jahresmittel weiterhin bei ca. 650mm. Bei der Betrachtung der Zahlenwerte muss erwähnt werden, dass sich die Wetterstation abseits der Kernstadt von Regensburg befindet. Somit wird hiermit nicht das Klima der Innenstadt abgebildet, sondern die mittleren Bedingungen im Randbereich der Stadt. Das zwanzig Jahre umfassende Datenkollektiv der Station Dachauplatz liefert einen Einblick in die kleinklimatischen Bedingungen der Regensburger Altstadt, die sich signifikant für denen am Standort der Amtlichen Wetterstation unterscheiden. Durchschnittlich 47 Sommertagen an der Wetterdienststation stehen 96 Tage mit Maxima über 25°C gegenüber, bei den heißen Tagen (Maxima >30°C) ist das Verhältnis Amtlicher Wetterstation und Dachauplatz sogar 9 Tage zu 45 Tage. Negative Temperaturen sind am Dachauplatz ebenfalls deutlich seltener, hier werden durchschnittlich 67 Tage mit Werten unter dem Gefrierpunkt gemessen, an der Wetterdienststation sind es im Mittel immerhin 99 Frosttage. Die Wetterstation Dachauplatz liefert auch Informationen zum Windvektor, von dem die stadtklimatisch interessante Komponente der Windrichtung ausgewertet wurde. Die Windrosen zeigen zu allen Jahreszeiten in der Tag-Nacht-Statistik deutliche Unterschiede, was für die Existenz für örtlich beeinflussten Windsystemen spricht. Die Windrose zeigt vor allem von Frühjahr bis Herbst nachts vermehrt Anströmungen aus nördlichen Richtungen, was als thermisch induzierte Bergwinde aus dem Regental in-

terpretiert wird. Ob auch das Richtungsmaximum tagsüber im Sektor Südost lokale Ursachen hat, bleibt zumindest fraglich, da die dann aufgrund der Thermik stärkere vertikale Durchmischung für andere Phänomene sorgen kann.

Nachdem im Kapitel 3 die langjährigen Datenreihen im Vordergrund standen, geht es im Kapitel 4 um den flächenhaften Vergleich der Messwerte während der Monate August und September 2012, in denen im Regensburger Stadtgebiet Sondermessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte stattfanden. Basis für diese Auswertungen sind die Messergebnisse der Amtlichen Wetterstation, mit denen auch eine Anbindung an die langjährigen Daten möglich ist. Der Vergleich ergab, dass der August 2012 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt um $2,2^{\circ}\text{C}$ zu warm war, der September fiel hingegen durchschnittlich aus. Somit stellt das Datenkollektiv aus dem August 2012 durchaus eine Situation dar, wie sie in den Folgejahren aufgrund der weiteren globalen Erwärmung zum "Normalfall" hinsichtlich der thermischen Belastung werden kann. Die Auswertung der Monatswerte aus dem Sondermessnetz zeigt eine deutliche Überwärmung der Innenstadt. Auch wenn es sich bei den Stationen Haidplatz und Dachauplatz hinsichtlich der Standortfaktoren für die Temperaturmessungen um Extremstandorte handelt, sind deren Ergebnisse für die intensiv besonnten Bereiche der Altstadt als repräsentativ anzusehen. In engeren Straßenschluchten werden die Temperaturmaxima etwas gedämpfter sein, dafür aber bei der nächtlichen Abkühlung noch größere Defizite hinzunehmen sein. Der Stadtpark erweist sich aufgrund seiner Größe und Struktur im Hochsommer als bioklimatischer Gunstraum. Die Gebiete außerhalb der bebauten Bereiche stellen wertvolle Kaltluftentstehungsbereiche dar. Wesentlich dabei ist, diese kühle Luft über geeignete Ventilationsbahnen in Richtung der Wohnbereiche zu transportieren. Die Daten aus den unterschiedlichen Stadtteilen weisen hinsichtlich der sommerlichen Temperaturverhältnisse sehr ähnliche Strukturen auf. Nur im Detail werden größere Unterschiede deutlich. Eine Tendenz zu höheren Temperaturen besteht im Bereich großflächiger Gewerbegebiete, ablesbar an den Daten der Station Ditthornstraße. Die Luftleitbahn des Donautales fungiert nur in eingeschränkter Form als Kaltlufttransportweg. Am Standort Oberer Wöhrd liegen die abendlichen und nächtlichen Temperaturen auf einem relativ hohen Niveau, was unterstützt wird durch die windoffene Lage und das im Spätsommer relativ warme Wasser der Donau. Niedrige Temperaturen werden hingegen am windgeschützten Standort Unterer Wöhrd gemessen, an dem sich die stark durchgrünte Umgebung positiv auf den gemäßigten Tagesgang der Lufttemperatur auswirkt. Das Regental ist hingegen als wichtige Kaltluftleitbahn zu erkennen. Am Standort unmittelbar im Talbereich als auch am Standort des Deutschen Wetterdienstes ist eine gute nächtliche Abkühlung zu erkennen. Die Auswertungen der Station Dachauplatz für die beiden Monate der Sonderuntersuchungen bestätigen die Tatsache, dass die Temperaturergebnisse dieser Wetterstation als re-

präsentativ für die Regensburger Altstadt zu bezeichnen sind, so dass auch zukünftig im Vergleich Amtliche Wetterstation zur Station Dachauplatz die Überwärmung der Regensburger Altstadt dokumentiert wird. Abschließend werden die Windrosen für die beiden Untersuchungsmonate vorgestellt. Sie bestätigen die Aussagen aus den langen Datenreihen, wobei die häufigen Hochdruckwetterlagen während der Nachtstunden zu einem vermehrten Auftreten von Windstillen führten. Der zwischen Tag und Nacht stattfindende Richtungswechsel ist aber trotzdem gut erkennbar, nachts nimmt demnach der Anteil der Luftzufuhr aus nördlichen Richtungen deutlich zu. Eine schlüssige Erklärung für dieses Phänomens sind die sich über die Donau nach Süden durchsetzenden Bergwinde aus dem Regental.

Die im Kapitel 5 ausgewerteten Tagesgänge der Lufttemperatur geben einen guten Überblick über die thermischen Gegebenheiten im Stadtgebiet während einer hochsommerlichen Witterungsperiode. In Verbindung mit den Ergebnissen aus Kapitel 4 stellen sie eine wichtige Datengrundlage für die Klimabestandskarte dar. Der Standort Keilberg reiht sich für diesen ausgewählten Zeitraum hinter dem Standort Haidplatz und dem Standort Wutzlhofen als drittwärmster Standort im Datenkollektiv ein. Verantwortlich dafür ist die extrem schlechte Abkühlung in den Nächten zum 18.08., 19.98. und 20.08. Zeitweilig war die Station Keilberg sogar der wärmste Standort im gesamten Stationsnetz. Diese Situation ist als klassische Inversionswetterlage zu bezeichnen, bei denen es im Tal kühler ist als auf den Höhen, ihre Entwicklung hat nichts mit dem Stadtklima zu tun. Das bedeutet auch, dass die Freiflächen der Kuppenlagen und der oberen Hangbereiche nicht oder nur unbedeutend an der nächtlichen Kaltluftbildung und seinem Abfluss beteiligt sind. Auch am relativ hoch gelegenen Standort Ziegetsdorf kommt es während der erwähnten Strahlungsnächte zu Störungen bei der nächtlichen Abkühlung. Der nächtliche Temperaturverlauf lässt die Vermutung zu, dass dieser Standort während der Nachtstunden im Grenzbereich der Temperaturinversion lag. Thermische Ausgleichsräume während der Nachtstunden sind die niedrig gelegenen Freiflächen, mit einem thermisch bedeutsamen Bergwind in Richtung Altstadt ist im Regental zu rechnen, auch der Talraum im südlichen Stadtgebiet produziert reichlich Kaltluft, die in Richtung Burgweinting abfließt. Eine hohe nächtliche Abkühlungsleistung findet man auch im Stadtpark; über diese Klimafunktion sollten auch der Dörnbergpark sowie die sich östlich anschließenden Grünanlagen verfügen. Sehr ähnlich sind die nächtlichen Temperaturverhältnisse an den übrigen Standorten. Sie werden einerseits durch die warmen Bebauungsstrukturen in den jeweiligen Stadtquartieren geprägt, andererseits liegen sie innerhalb der Inversionsschicht im Donautal, wodurch ihre Abkühlung begünstigt wird. Während der Erwärmungsphase in den Vormittags- und Mittagsstunden führt die Thermik zu sehr ähnlichen Temperaturen im Stadtgebiet. Eine erhebliche Überwärmung gibt es nur in der Altstadt, wo die Erwärmung wegen der schlechten

nächtlichen Abkühlung auf einem deutlich erhöhten Niveau begann. Am Standort Westenviertel wirkt sich tagsüber vermutlich der hohe Versiegelungsgrad im unmittelbaren Umfeld temperaturerhöhend aus. Die am Standort Dachauplatz gemessenen Windverhältnisse bestätigen die Aussagen aus der Monatsstatistik; da der fünftägige Zeitraum besonders strahlungsreich und außerdem gradientschwach war, traten die lokalen Effekte noch stärker in den Vordergrund, das heißt der Windsprung von tagsüber Südost auf nördliche Richtungen während der Nachtstunden ist noch markanter, was gleichbedeutend mit einer stärkeren Ausprägung des Bergwindes aus dem Regental ist. Die Ergebnisse aus der Septemberperiode bestätigen im Wesentlichen das Bild, das sich aufgrund der hochsommerlichen Situationen im August 2012 abzeichnete. Die fortgeschrittene Jahreszeit mit niedrigerem Sonnenstand und kürzeren Tagen ließ allerdings keine wirkliche thermische Belastung mehr zu. Die gemessenen Temperaturunterschiede bestätigen jedoch, dass die Inhalte der Messungen als Basis für den Klimabestandsplan uneingeschränkt verwendbar sind.

Ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchung ist die im [Kapitel 6](#) vollzogene Erstellung einer Klimatop- oder Klimabestands-Karte, die die lokalklimatischen Gegebenheiten im Stadtgebiet von Regensburg sowie den angrenzenden Bereichen als flächenhafte Übersicht darstellt. Topographische Karten, Stadtkarten zur Versiegelung, Flächennutzungsplan, Realnutzungskartierungen und Luftbildpläne bilden hierzu neben den Ergebnissen des stadtmeteorologischen Messnetzes im Sommer 2012 die wesentlichen Grundlagen. Die Klassifizierung orientiert sich sehr stark an den in der VDI Richtlinie 3784, Blatt 1 gemachten Vorgaben, die mit wenigen Ausnahmen in den heutigen Stadtklimaanalysen angewendet werden. Innerhalb der Stadtklimatope werden fünf Untergruppen unterschieden, beginnend mit dem Dorfklimatop steigert sich die Abweichung vom Offenlandklima mit den Kategorien Stadtrandklimatop, Stadtklimatop bis hin zum Altstadtklimatop (häufig auch als Cityklimatop benannt). Ebenfalls mit zu den Stadtklimatope wird das Gewerbeklimatop gerechnet, wo Gewerbe- und Industriegebiete besonders in Großstädten eigene Stadtquartiere bilden können.

Während bei den Stadtklimatopen eine Rangfolge entsprechend der Zunahme negativer bioklimatischer Eigenschaften möglich war, ist dies bei den Offenlandklimatope ungleich schwieriger, da jedes Klimatop über positive Eigenschaften hinsichtlich klimatischer Ausgleichsräume verfügt. An erster Stelle ist dennoch das Parkklimatop zu nennen. Dieser Klimatoptyp wird in erster Linie für Bereiche vergeben, die unmittelbar an große thermische Lasträume angrenzen und somit von der Bevölkerung besonders häufig und sehr intensiv als thermische Ausgleichsräume wahrgenommen werden. In Regensburg ist dies einerseits der große Grüngürtel, der sich im Westen von der Donau her (Herzogspark) nach Süden (Stadtpark, Dörnbergpark, Grünanlagen am Fürstlichen Schloss) erstreckt und schließlich am Villapark Ostentor erneut die Donau erreicht.

Diese Parkflächen schließen sich unmittelbar an die thermisch besonders stark belasteten Stadtquartiere an. Hier findet die Wohnbevölkerung unter großkronigen Bäumen tagsüber schattige Plätze, abends kühlen sich die Rasen- und Staudenbereiche schnell ab. Aber auch der Donaupark gemeinsam mit dem Inselepark werden gern zur abendlichen Naherholung genutzt. Südlich der Bahnlinie erstreckt sich eine Grünzone von der Friedenstraße nach Süden; zunächst sind es die gut eingewachsenen Friedhöfe, an sie schließen sich lückenlos die Freiflächen rund um die Fachhochschule und den Universitätscampus an. Flächen, die zum Parkklimatop gehören, stellen in der Regel Klimaoasen dar und verfügen nur selten über weitergehende Klimafunktionen. So ist die kleinklimatische Ausgleichsleistung, die von den Grünanlagen südlich der Altstadt ausgeht, vermutlich auf die Parkanlagen beschränkt. Der Grünzug zwischen Bahngleisen und der A3 wird mit hoher Wahrscheinlichkeit zusätzlich zu seinen lokalen thermischen Ausgleichsfunktionen nicht die Funktion einer Luftleitbahn übernehmen können. Im Südteil fehlt die notwendige Unterstützung durch das Relief, das heißt es gibt kaum Gefälle, im Bereich der Friedhöfe wirkt sich der dichte und teilweise hohe Baumbestand in Verbindung mit den hohen Friedhofsmauern negativ auf die Existenz einer Luftleitbahn aus. Bei Freilandklimatopen, also in erster Linie landwirtschaftliche Nutzflächen, steht die Ausgleichsfunktion für angrenzende thermische Lasträume im Vordergrund. Tagsüber verhalten sich diese Bereiche in Bezug auf das Lokalklima weitgehend neutral, ihre thermische Ausgleichsfunktion beginnt ein bis zwei Stunden vor Sonnenuntergang. Dann erlauben die Energieströme innerhalb der bodennahen Luftschicht eine rasche Abkühlung, die Freilandklimatope bilden in großem Maße oberflächennah Kaltluft, die mit Reliefunterstützung zu Hangabwinden werden und sich schließlich in Tälern kanalisiert zu mächtigeren Bergwinden entwickeln. Waldklimatope entwickeln ihre positiven Klimafunktionen an sommerlichen Strahlungstagen vorwiegend tagsüber, wenn sie relativ schattige und somit kühle Luftruheräume darstellen. Ihr Flächenanteil ist im Regensburger Stadtgebiet relativ klein. Über eher wenige kleinklimatische Gunstfaktoren verfügen Gewässerklimatope, die definitionsgemäß zu den Offenlandklimatopen gehören. Dabei wird nicht weiter nach Steh- und Fließgewässern unterschieden. Die beiden großen Fließgewässer im Stadtgebiet sind der Regen und die Donau. Sie dienen insbesondere bei geradem Verlauf als regionale Luftleitbahnen. Für die Donau gilt das im Westen des Stadtgebietes etwa von der Einmündung der Naab an, ab hier dreht die Fließrichtung immer mehr auf eine West-Ost-Richtung, so dass sie die Klimafunktion einer Luftleitbahn übernehmen kann. Der Regen erstreckt sich vom nördlichen Kartenrand bis zu seiner Mündung in die Donau weitgehend in Nord-Süd-Richtung und übernimmt somit durchgängig die Funktion einer Luftleitbahn, die im konkreten allerdings von der thematisch wichtigeren Funktion des nächtlichen Bergwindes überlagert wird. Zum Sonderklimatop Abgrabung gehören außerdem der große Kalksteinbruchbereich im Osten des Stadtgebietes sowie die Abraum- und Steinbruchberei-

che in Dechbetten, da sie von ihren Charakteristika keinem anderen Klimatotyp zugeordnet werden konnten. Während Klimatope flächendeckend für das gesamte Stadtgebiet und die angrenzenden Flächen vergeben, werden für Teilräume zusätzlich spezielle Klimafunktionen vergeben. Ein Flächenthema sind die warmen Kuppen- und Hangzonen. Sie befinden sich im Sommerhalbjahr häufig oberhalb der Talinversion, so dass diese Teilräume keinen oder nur einen geringen Bezug zu den in der Temperaturinversion liegenden Bereiche haben. Die Messungen an den Standorten Keilberg und Ziegelsdorf gaben Hinweise auf das zugrundezulegende Höhenniveau, das konservativ mit 375 Metern angenommen wurde. Lokal und regional bedeutsame Strömungssysteme wurden mit zusätzlichen Pfeilsignaturen hervorgehoben. Kleinräumige Last- und Ausgleichsräume erhielten ergänzend eine plakative Punktsignatur, um ihre besondere stadtklimatische Bedeutung hervorzunehmen. Eher GIS-technische Gründe haben dazu geführt, dass die wesentlichen Verkehrswege im Untersuchungsraum, also Schienen- und Straßen, separat dargestellt werden. Größtenteils mussten auch die die Verkehrsbereiche begleitenden Grünstreifen als eigenes Thema abgebildet werden, da auch sie ein eigenes Thema in der zugrunde liegenden Realnutzungskartierung darstellen.

Kapitel 7 enthält eine Zusammenstellung von allgemeinen Planungshinweisen, die mehreren aktuellen Klimaanalysen entnommen wurden, soweit sie für das Stadtklima von Regensburg relevant sind. Im einzelnen werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen und erläutert:

- Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche
- Überprüfung der technischen Machbarkeit
- Einbeziehung von Modellierungen in die Planung
- Festlegen von Bebauungsgrenzen
- Freiflächen erhalten und schaffen, Flächen entsiegeln
- Parkanlagen schaffen, erhalten und umgestalten
- Begrünung von Straßenzügen
- Dachbegrünung
- Fassadenbegrünung
- Erhalt und Schaffung von Frischluftflächen
- Offene Wasserflächen schaffen
- Gebäudeausrichtung optimieren
- Hauswandverschattung, Wärmedämmung
- Geeignete Baumaterialien verwenden
- Erhalt und Schaffung von Luftleitbahnen
- Hänge von hangparalleler Riegelbebauung freihalten
- Verschattungselemente einbauen
- Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation
- Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten

- Neubau von Verkehrsflächen mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit
- Nutzung von Überschussmengen aus der örtlichen Grundwasserbewirtschaftung
- Aufruf zu wassersparendem Verhalten in Trocken- und Hitzeperioden
- Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht (Durchwurzelung)

Einige der genannten Maßnahmen lassen sich vergleichsweise schnell oder ohne größeren Aufwand umsetzen, viele erfordern Eingriffe in rechtliche Schritte und sind nur mittel- bis langfristig umsetzbar. Vielfach liegen anderenorts entsprechende Erfahrungen vor, so dass es bei einigen Maßnahmenkonzepten lohnenswert ist, nicht nur über interne Arbeitsbereiche hinweg, sondern auch stadtübergreifend zusammenzuarbeiten.

Kapitel 8 fasst die aus der aktuellen Literatur bekannten und erprobten rechtlichen Grundlagen für eine klimagerechte Stadtplanung zusammen. Teilweise ist die Rechtsprechung im Umbruch, teilweise beruhen die Empfehlungen und Hinweise auf gesetzlichen Grundlagen anderer Bundesländer, die in Bayern vermutlich größtenteils in ähnlicher Form in Landesgesetzen verankert sind. In fast allen Studien ist folgender Handlungskatalog enthalten, der auch als Musterliste für andere Kommunen Gültigkeit haben sollte:

- Aufenthaltsqualität insbesondere in hoch verdichteten städtischen Räumen im Hinblick auf thermische Behaglichkeiten verbessern; Wärmeinseln abbauen,
- städtische Durchlüftung (Luftaustausch, Luftleitbahnen) optimieren; Frischluftzufuhr fördern; Frischluft- oder Kaltluftentstehungsgebiete erhalten und schaffen,
- inversionsbedingte Luftstagnation und Barrieren für den Luftaustausch vermeiden,
- Freisetzung von Luftschadstoffen und Treibhausgasen reduzieren,
- existierende oder zu erwartende klimabedingte Belastungen für das gesamte Stadtgebiet identifizieren und sachgerecht bewerten,
- auf Belastungssituationen durch die Anpassung von Plänen und Konzepten sachgerecht reagieren
- Gefahrenpotenziale durch Hochwasser, das durch Extremniederschläge hervorgerufen werden kann, bei der Planung insbesondere in Gebieten nahe Gewässern berücksichtigen.

In einer umfangreichen Tabelle, die einer Studie des Landes NRW leicht modifiziert entnommen wurde, werden Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Bauleitplänen mit dem Schwerpunkt Hitze beschrieben. Insbesondere vor dem Hintergrund der häufig noch negativen Besetzung der angesprochenen Themenfelder erscheint eine Stärkung formeller Planungsinstrumente im Rahmen einer Anpassung des Raumordnungs- und Städtebaurechts an die Herausforderungen des Klimawandels zwingend erforderlich zu sein, denn aufgrund fehlender Rechtsverbindlichkeit sind informelle Instrumente in der Regel un-

geeignet, eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen herbeizuführen. Vor allem bei konkurrierenden Raum- und Flächennutzungsansprüchen mangelt es Anpassungsmaßnahmen häufig an Durchsetzungsfähigkeit.

Kapitel 9 gibt konkrete Planungshinweise für das Stadtgebiet von Regensburg. Wesentliche Basis dafür ist der Klimabestandsplan (vgl. Kap. 6). Im Gegensatz zu vielen anderen Klimaanalysen stellt die Planungshinweiskarte für die Stadt Regensburg nicht nur den Klimabestandsplan mit einem im Legendenbereich veränderten Text dar. Als weiterer wesentlicher Aspekt kommt die Betrachtung der Kaltlufteinzugsgebiete hinzu, die auf ihrerseits auf dem digitalen Höhenmodell basieren. Anhand der Hauptwasserscheiden wurden insgesamt 38 Teilflächen gebildet, aus denen schließlich 15 regionale Kaltlufteinzugsgebiete abgeleitet wurden. Darauf aufbauend wird das Regensburger Stadtgebiet in thermische Last- und Ausgleichsräume untergliedert, für die stadtteilbezogen jeweils konkrete Planungshinweise gegeben werden. Als wesentliche Problemzonen erweisen sich der Altstadtbereich sowie der hohe Anteil von Industrie- und Gewerbeflächen. Als natürliche Klimafaktoren sind neben den anthropogen verursachten Klimamodifikationen auch die häufigen Inversionswetterlagen im Donautal als Planungsfaktor zu berücksichtigen

Kapitel 10 gibt Hinweise zu möglichen Zusammenarbeitsstrukturen für die Bereiche Stadtklima, Klimaanpassung und Klimaschutz. Es werden Konflikte aufgezeigt, die sich bei der Umsetzung der drei teilweise konkurrierenden Themen ergeben können. In diesen Fällen wird versucht, Kompromisse zu finden. Die Hinweise schließen mit dem Appell, Synergien aus den verwandten Bereichen zu nutzen, da die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel wesentlich einfacher ist, wenn eine Doppelfunktion und ein sichtbarer Zusatznutzen vorliegen. Ein solcher Zusatznutzen liegt beispielsweise bei Begrünungsmaßnahmen, bei Maßnahmen zur Flächenentsiegelung oder zur Regenrückhaltung vor. Folglich hat die Aufdeckung von Synergieeffekten eine große Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Synergieeffekte sollte sich die Stadtplanung zu Nutze machen, um die Belange des Klimas effektiver als bisher in ihren formellen und informellen Plänen zu berücksichtigen.

12. Literatur

VDI-Richtlinien:

VDI 3786 Blatt 1 :2013-08

Umweltmeteorologie - Meteorologische Messungen - Grundlagen

Beuth-Verlag 2013

VDI 3786 Blatt 3 :2012-10

Umweltmeteorologie - Meteorologische Messungen - Lufttemperatur

Beuth-Verlag, 2012

VDI 3786 Blatt 4 : 2013-06Umweltmeteorologie - Meteorologische Messungen -
Luftfeuchte

Beuth-Verlag, 2013

VDI 3787 Blatt 1:1997-12

Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen,

Beuth-Verlag, 1997

VDI 3787 Blatt 2:2008-11

Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima
und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima,

Beuth-Verlag 2008

VDI 3787 Blatt 5:2003-12

Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft,

Beuth-Verlag 2003

Grundlegende Literatur:

A. Helbig, J. Baumüller, M.J. Kerschgens: Stadtklima und Luftreinhaltung, Springer
Verlag, 2. Auflage 1999.

W. Kuttler, Klimatologie, UTB Taschenbuch 3099, Schöningh Verlag, 2. Auflage 2013

H. Häckel, Meteorologie, UTB Taschenbuch 1338, Ulmer Verlag, 6. Auflage 2008

M. Latif, Klimawandel und Klimadynamik, UTB Taschenbuch 3178, Ulmer Verlag, 2009

Stadtklimaanalysen und Leitfäden:

A.-B. Barlag: Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage, Westarp Wissenschaften, 1993.

A.-Ch. Fingerhut: Stadtklima - Das modifizierte klima der Städte, Studienarbeit, GRIN-Verlag, 2008.

Städtebauliche Klimafibel online, Version 2012, <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>, Herausgeber :Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg.

Klimaanalyse für die Landeshauptstadt Düsseldorf, Stadt Düsseldorf, 2013.

Anpassung an den Klimawandel: Eine Strategie für NRW, MUNLV NRW, 2009.

Handbuch Stadtklima: Maßnahmen und Handlungskonzepte, MUNLV NRW, 2010.

Bayerns Klima im Wandel - erkennen und handeln: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008.

Klimaanalyse für die Hansestadt Bremen, Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, 2013.

Klimawandelgerechte Metropole Köln, LANUV Fachbericht 50, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2013.