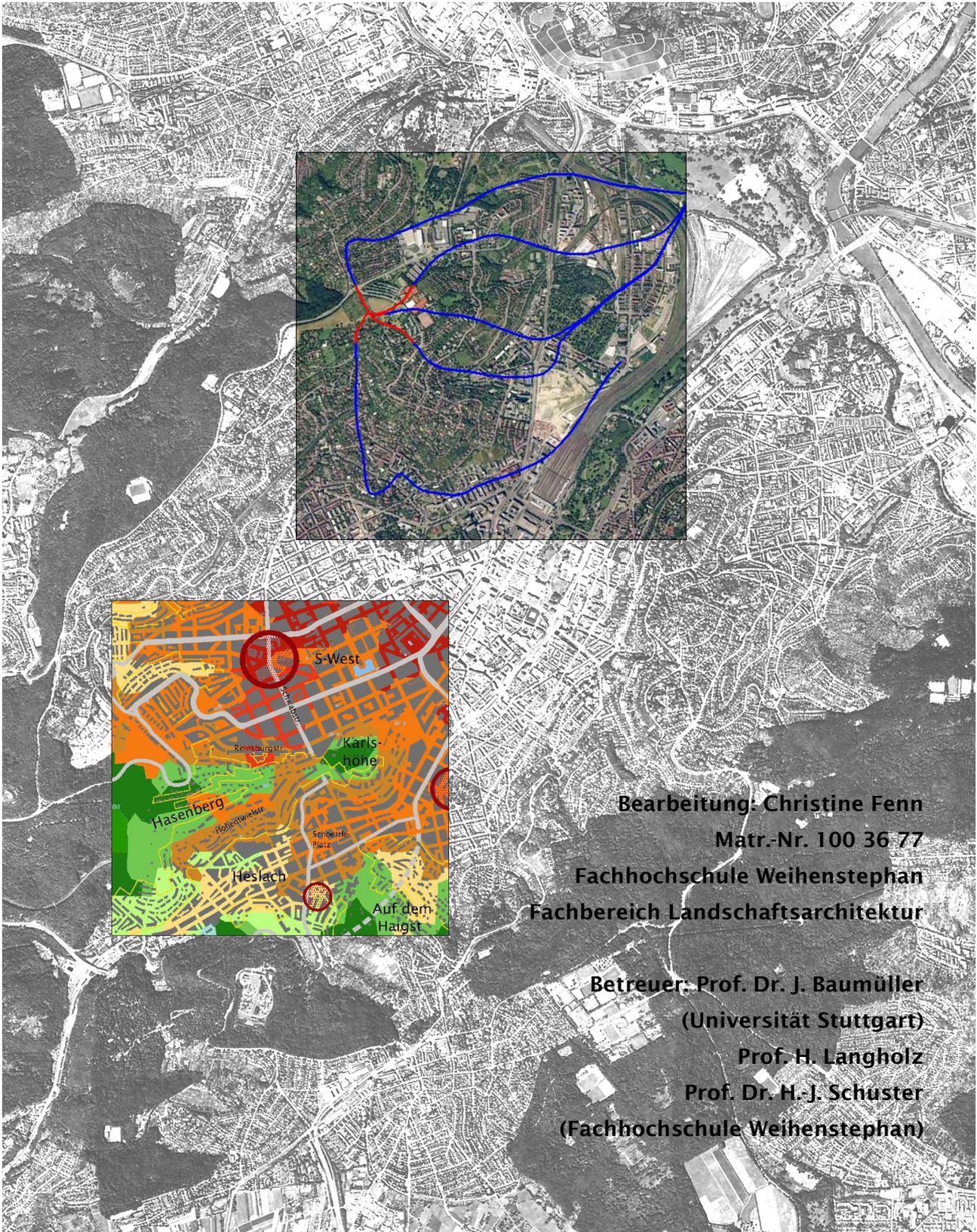


Diplomarbeit

Die Bedeutung der Hanglagen für das Stadtklima in Stuttgart unter besonderer Berücksichtigung der Hangbebauung



Bearbeitung: Christine Fenn
Matr.-Nr. 100 36 77
Fachhochschule Weihenstephan
Fachbereich Landschaftsarchitektur

Betreuer: Prof. Dr. J. Baumüller
(Universität Stuttgart)
Prof. H. Langholz
Prof. Dr. H.-J. Schuster
(Fachhochschule Weihenstephan)

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die an der Erstellung dieser Arbeit beteiligt waren.

An erster Stelle möchte ich mich herzlich bei Prof. Dr. Baumüller und Hr. Hoffmann von der Stadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie und Prof. Langholz von der Fachhochschule Weihenstephan für die Themenfindung, Betreuung und Unterstützung, für Korrekturen und Tipps bei der Erstellung meiner Diplomarbeit bedanken. Für die Weitergabe der vorhandenen Wetter- und Klimadaten, für ihre Unterstützung und ihre Zeit, vielen Dank Hr. Kapp und Hr. Müller vom Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie.

Herzlichen Dank für die Informationen, Daten und Unterlagen über Stuttgart und die Stadtplanung an Hr. Stuckenbrock, Hr. Schmid, Hr. Schulze-Dieckhoff und Hr. Krieger von der Stadt Stuttgart, Stadtplanungsamt.

Ebenso danke ich Hr. Müller vom Verschönerungsverein der Stadt Stuttgart e. V. für seine Informationen, Ausführungen und Unterlagen.

Der Fachschaft Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Stuttgart möchte ich für ihre Unterstützung danken.

Besonderer Dank gilt meinem Freund Thomas und Familie Reeß, meiner Schwester Anja und meiner Familie für die Motivation, Kritik, Denkanstöße, Korrekturen und unermüdliche Unterstützung!

Inhalt

I	Zusammenfassung	8
II	Einleitung und Aufgabenstellung	10
1	Einführung in den Landschaftsraum - abiotische Faktoren als Grundlage des Lokalklimas	12
	1.1 Relief und Geologie	12
	1.2 Bodenverhältnisse und Bodennutzung	16
	1.3 Oberflächengewässer	20
	1.4 Klima	24
2	Siedlungsentwicklung in Stuttgart	80
	2.1 Siedlungsgeschichte	80
	2.2 aktuelle Entwicklungen in der Stadtplanung	88
3	klimarelevante Leitbilder und Zielsetzungen in der Planung	106
	3.1 planungsrelevante Teilräume - Funktionen und Eigenschaften	106
	3.2 planerische Zielsetzungen der einzelnen Teilräume	118
4	rechtliche Möglichkeiten zum Schutz und zur Verbesserung des Klimas	120
	4.1 Bedeutung des Klimas im Baurecht	120
	4.2 Sicherungsinstrumente klimatisch relevanter Flächen	122
5	stadtklimatisch orientierte Planung ausgewählter Städte	136
	5.1 Beispiel Aachen	136
	5.2 Beispiel Bonn	137
	5.3 Beispiel Kaiserslautern	138
	5.4 Beispiel Ulm	138
	5.5 Beispiel Freiburg	139
	5.6 Fazit	140
6	Planungsempfehlungen für die Hangbebauung Stuttgarts	141
	6.1 Übersicht: Bestand und klimatische Funktion im Stadtgebiet	141
	6.2 Zielsetzungen	163
	6.3 Zusammenfassung und Ausblick	164
III	Definitionen der Klimaelemente	166
IV	Literaturverzeichnis	166

Die Bedeutung der Hanglagen für das Stadtklima in Stuttgart unter besonderer Berücksichtigung der Hangbebauung

I Zusammenfassung

Der Landschaftsraum ist prägend für die Lebensverhältnisse der Region Stuttgart. Die geologischen Formationen führen zu großen Höhenunterschieden auf kleinem Raum und einer ausgeprägten Relieferung der Landschaft, die durch die Erosionskräfte der Oberflächengewässer weiter geformt wurde. Die Stuttgarter Innenstadt liegt im Nesenbachtal umgeben von einem fast geschlossenen Höhenkranz der bis zu 240 m über dem Talgrund aufragt.

Die intensive Flächennutzung und die damit verbundene Versiegelung durch den Menschen führt unter anderem zu Wärme- und Schadstoffemissionen.

Das regionale Klima wird durch diese Faktoren beeinflusst: Windarmut und der hohe Anteil versiegelter Flächen im Talkessel der Stuttgarter Innenstadt führen zu einer mangelnden Durchlüftung und damit verbunden zu einer verstärkten Wärmebelastung bis zu austauscharmen Wetterlagen mit hoher Luftbelastung. Bioklimatisch stellt das für die Einwohner der Stadt eine gesundheitlich Beeinträchtigung dar.

Für die Entlastung der klimatischen Situation im bebauten Talkessel sind die, durch das Relief unterstützten, kühleren und häufig lufthygienisch unbelasteten Kaltluftströme von den höher gelegenen unbebauten Flächen notwendig. Die Hauptbelüftung stellt der Talwind des Nesenbachtals dar. Durch die ausgeprägte Überwärmung und die zunehmende Bebauung des Stadtgebiets sind die kleinräumigen Hangabwinde, die Kaltluftabflüsse der Kesselränder, immer wichtiger geworden. Für Stuttgart fungieren die Hänge sowohl als Kaltluftabflussbahnen als auch als Ausgleichsraum, da der Anteil an unversiegelten Freiflächen noch relativ groß ist.

Die Geschichte Stuttgarts zeigt, dass die klimatische Situation bereits im 17. Jahrhundert problematisch war. Die Bebauung und Erschließung der Hänge fand erst ab Ende des 19. Jahrhunderts statt und unterlag besonderen städtebaulichen Grundsätzen. Sie wurde durch die Begrenzung der Bauhöhen, festgelegten Abstands- und Bauverbotsflächen an das Landschaftsbild angepasst und somit der für Stuttgart typische grüne Charakter der Randhöhen bis heute bewahrt.

Auch in der aktuellen Flächennutzungsplanung besteht die Zielsetzung diese Charakteristik der lockeren Einzelhausbebauung zu erhalten und ist im FNP als Kombination aus Wohnnutzung und sonstigen Grünflächen dargestellt. Da die verbindliche Bauleitplanung noch auf die Festsetzungen von 1935 beruht, kommt es heute durch Einzelfallentscheidungen für Bauvorhaben zunehmend zur Nachverdichtung an den Hängen. Damit verbunden sind Beeinträchtigungen für das Stadt- und Landschaftsbild, der Verlust hochwertiger Wohngebiete und innerstädtischer Erholungsflächen, zudem wird die wichtige klimatische Ausgleichsleistung der Hanglagen für den gesamten Talkessel zunehmend de-

zimiert.

Aus rechtlicher Sicht sind für die klimatischen Belange in der Planung einige Sicherungsinstrumente vorgesehen. Eine übergeordnete Betrachtung, die die Auswirkungen planerischer Entscheidungen in Bezug zum gesamten Stadtgebiet darstellt, wird im Baugesetzbuch durch die Strategische Umweltprüfung verlangt. Die zukünftige Entwicklung der Stuttgarter Hanglagen könnte ein Rahmenplan, als informelles Instrument, beinhalten. Detaillierte Festsetzungen für die Optimierung klimatisch beeinträchtigter Bereiche oder den Erhalt wertvoller Bestände auf der Ebene der verbindlichen Bauleitplanung gibt das Baugesetzbuch und das Naturschutzgesetz von Baden-Württemberg vor.

Im Vergleich zu anderen deutschen Städten kann Stuttgart auf ausführliche klimatische Grundlagenuntersuchungen zurückgreifen, die jedoch auch konsequent in der baulichen Entwicklung umgesetzt werden müssen. Die Beispiele Freiburg und Trier zeigen, dass die Sensibilität der Bürger für die klimatischen Belange sehr groß ist. Modellkonzepte für eine klimatisch sensible Nutzung der Hanglagen liegen außer in Form der Passivhaussiedlung in Ulm nicht vor.

Die detaillierte Betrachtung der einzelnen Hangabschnitte im Stuttgarter Talkessel zeigt hauptsächlich die Hangeinschnitte, die Klingen, als kleinräumige Kaltluftabflussbahnen mit thermisch ausgleichender Wirkung für den Hangfuß und den angrenzenden Talgrund. Es werden aber auch die Hanglagen lokalisiert, die durch bereits verdichtete Bebauung und das fehlende Einzugsgebiet an unbebauten Flächen, selbst wärmebelastet sind.

Damit die wichtigen klimatischen Funktionen der Stuttgarter Hanglagen für das gesamte Stadtgebiet aufrecht erhalten werden können, muss die Überwärmung verhindert und der Kaltluftabfluss in den Klingen durch entsprechende Maßnahmen optimiert werden. Dabei gehen die Zielsetzungen im Bereich Stadtklima mit der städtebaulichen Entwicklung der Ortsbausatzung meist Hand in Hand.

Es hat sich gezeigt, dass bei Entscheidungen der baulichen Weiterentwicklung der Hanglagen nicht nur der Einzelfall ausschlaggebend ist, sondern die Summenwirkung unbedingt berücksichtigt werden muss. Durch einen städtebaulichen Rahmenplan für die Hanglagen können die einzelnen Funktionen zusammengeführt und verortet werden und damit die Entwicklungsziele für das gesamte Gebiet formuliert werden.

II Einleitung und Aufgabenstellung

Die spürbaren klimatischen Einwirkungen der letzten Jahre, wie der "Jahrhundertsommer" im August 2003, neue gesetzliche Rahmenbedingungen, wie die Novellierung des Baugesetzbuchs im Juli 2004, die eine Prüfung von Plänen und Programmen der Stadtplanung hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die einzelnen biotischen und abiotischen Schutzgüter (EU-Richtlinie zur Strategischen Umweltprüfung) vorsieht und neue europaweite Grenzwerte für die Luftqualität in Städten, zeigen die Relevanz, die klimatische und lufthygienische Belange in Europa haben.

Besonders Hitzewellen wie im Sommer 2003 lassen uns den Einfluss des Klimas auf den Menschen, aber auch umgekehrt, die Verschärfung der einzelnen Klimatelemente durch die anthropogenen Veränderungen deutlich spüren. Die World Health Organisation (WHO) spricht in dem sogenannten "Jahrhundertsommer" von über 14.800 Toten in Frankreich und über 2.000 in England und Portugal. Studien in Baden-Württemberg zeigen, dass die Sterblichkeit in Korrelation zu den wärmsten Monate im Sommer (Juni, Juli und August) steht, dies ist ein Indikator, dass die Temperaturverhältnisse große Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen haben (WHO 2004, S.26f).

Nur 0,2 % der Erdoberfläche stellen städtische Siedlungen dar, dagegen leben 47 % der Weltbevölkerung und 73 % der Einwohner Europas in Städten. Bereits 2007 wird die Hälfte der Weltbevölkerung, bei Anhalten dieses Trends werden 2025 60 % der Menschen in Städten leben. Trotz der in Europa zu beobachtenden "Stadtflucht" in die stadtnahe, ländliche Umgebung, ist die Zahl der Stadtbevölkerung zwischen 1990 und 1995 um 0,4 % gestiegen. Diese Entwicklungen führen zu einer Ausdehnung der Städte und einer Verschärfung der bekannten klimatischen Veränderungen (WHO 2004, S.66).

Im Anbetracht der nachgewiesenen Ausbildung einer städtischen Wärmeinsel und des prognostizierten Klimawandels durch den Treibhauseffekt mit seinen Auswirkungen auf menschliche Siedlungen gilt es die für viele Landschaftsräume, Regionen und Städte vorhandenen meteorologischen Grundlagen und Gutachten unbedingt in der Planung aufzunehmen und umzusetzen.

Die Landschaftsplanung legt ihr Hauptaugenmerk meist auf die biotischen Faktoren des Artenschutzes und des Schutzes von Lebensräumen, außerdem auf die Erholungsnutzung in der Landschaft durch den Menschen. Eine nachhaltige Betrachtung muss aber die abiotischen Faktoren, die die Rahmenbedingungen für das Potenzial als Lebensraum und die Nutzungsmöglichkeiten der Landschaft vorgeben vorrangig berücksichtigen.

Das Klima hat einerseits Auswirkungen auf die Regionalplanung, von der übergeordnete Bauleitplanung und der verbindlichen Bauleitplanung bis zum einzelnen Gebäude mit der dazugehörigen Freifläche, aber auch umgekehrt haben die Planungen und Entwicklungen Einfluss auf die lokalklimatische Situation. Eine qualifizierte Stadt- und Landschaftspla-

nung beinhaltet Maßnahmen, die die Wärmebelastung der Bevölkerung in Städten und den Wärmeinseleffekt verringern kann (WHO 2004, S.76).

Bis heute wird die mangelnde Kommunikation zwischen Meteorologen und Planern kritisiert, obwohl die klimatischen Belange in der Stadtplanung von Interessen sind, werden die vorhandenen Informationen dazu kaum berücksichtigt (WHO 2004, S.77f). Dennoch ist eine Sensibilisierung der Planer, der politischen Entscheidungsträger und der Bürger für dieses Thema notwendig und im Falle der Landeshauptstadt Stuttgart bereits weit voran geschritten. Dies zeigt die Tatsache, dass eigens eine Abteilung Stadtklimatologie im Amt für Umweltschutz eingerichtet wurde, deren Ursprung in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts liegt, was aber auch die Relevanz und Sensibilität des Themas für diesen Siedlungsraum widerspiegelt.

Die vorliegende Arbeit dient der Verknüpfung der meteorologischen Untersuchungen des Stadtklimas von Stuttgart und ihrer Interpretation für die Stadt- und Landschaftsplanung unter besonderer Berücksichtigung der klimatischen Funktion und der Flächennutzung der Hanglagen Stuttgarts. Sie beschreibt im ersten Kapitel die landschaftlichen Gegebenheiten mit ihren abiotischen Faktoren der Geologie und dem charakteristischen Relief der Stadt, die Bodennutzung und die vorhandenen Oberflächengewässer und beschreibt das großräumige und regionale Klima. Der zweite Abschnitt erläutert kurz die Siedlungsentwicklung Stuttgarts und die derzeitigen stadtplanerischen Zielsetzungen. Kapitel drei verdeutlicht die klimaorientierten Planungsgrundsätze der Raumplanung, die Berücksichtigung des Schutzgutes "Klima" aufgrund gesetzlicher Forderungen zeigt das vierte Kapitel. Nach der beispielhaften Darstellung der klimatischen Belange in der Bauleitplanung anderer Städte werden abschließend unter Punkt 6. die Hanglagen Stuttgarts unter dem Aspekt des Stadtklimas detailliert betrachtet und Planungsempfehlungen formuliert.

1 Einführung in den Landschaftsraum - abiotische Faktoren als Grundlage des Lokalklimas

Die Situation der Stadt Stuttgart ist vor allem in klimatischer Hinsicht auf seine naturräumlichen Gegebenheiten zurückzuführen. Genauere Beurteilungen des lokalen Stadtklimas sind somit nur mit der Kenntnis der abiotischen Faktoren möglich. Im Folgenden Kapitel wird auf Relief und Geologie, Boden und Bodennutzung und die allgemeinen klimatischen Verhältnisse genauer eingegangen.

1.1 Relief und Geologie

1.1.1 Lage im Süddeutschen Schichtstufenland

Stuttgart liegt aus geologischer Sicht im Süddeutschen Schichtstufenland. Das südwestdeutsche Schichtstufenland beginnt mit den bis zu 400 m mächtigen Schichten des Buntsandsteins im nördlichen Schwarzwald. Es setzt sich mit dem Stufenrand des Muschelkalks fort, der den Gäulandschaften vorgelagert ist. Aus den Gäuflächen ragt die nächste Schichtstufe heraus, der Keuper. Hierzu gehören z. B. die Waldenburger Berge und in der Region Stuttgart die Filderlandschaft. Auf den Keuper folgt der Jura, der sich in Schwarzen, Braunen und Weißen Jura gliedert. Der Albanstieg erfolgt im Braunjura, die Schichtstufe, der Albtrauf, wird vom Weißjura gebildet (SWR 2002).

Stuttgart ist geprägt durch seine großräumige Lage im Neckarbecken, abgeschirmt durch den Schwarzwald im Westen, die Schwäbische Alb im Süden, den Schurwald im Osten und das Strom- und Heuchelberggebiet im Nordwesten (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.11).

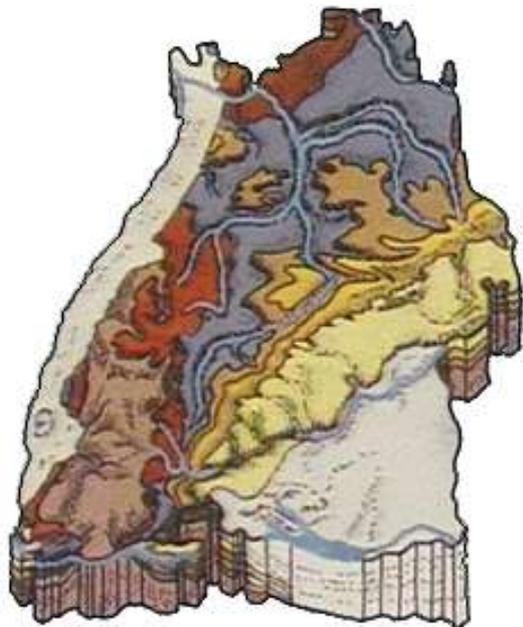


Abbildung 1
Geologische Schichtstufen in Baden-Württemberg

Buntsandstein (rot) - Muschelkalk (blau) -
Keuper (braun) - Jura (gelb)

Quelle: SWR 2002

1.1.2 geologische Landschaftseinheiten der Region Stuttgart

Die Region Stuttgart lässt sich geologisch in drei Landschaftseinheiten einteilen, die sich auf die Schichtstufen begründen.

Von Norden schließt sich die flachwellige **Gäulandschaft**, die dem Ostrand des Schwarzwalds vorgelagert ist an. Der Untergrund des Strohgäu, des Langen Feld und des Schmiedener Feld, das das Stadtgebiet umschließt, besteht hier aus den Kalken des Oberen Muschelkalks, der meist noch von Keuperschichten überdeckt ist. Die wenigen Flüsse haben sich tief in den Muschelkalk eingeschnitten. Die Täler sind eng und windungsreich. Steil ragen die Talhänge auf und schließen oben mit scharfer Kante ab. Nach der naturräumlichen Gliederung gehört die Gäulandschaft in der Region zum Neckarbecken.

Nach Süden folgt das **Keuperbergland**, eine Stufe des Südwestdeutschen Schichtstufenlandes, die vom Gäu zu den Fildern hinaufführt, an dieser Stufe, im Kessel der durch den Nesenbaches ausgeräumt wurde, liegt die Stadt Stuttgart. Der Talkessel bildet den Naturraum der Stuttgarter Bucht, deren Anstieg gliedert sich in einzelne Schichten (s. Schnitt). Unter anderem bildet sich über Lettenkeuper und dem Unteren Gipskeuper der Schilfsandstein aus, der deutliche Terrassen an den Hängen ausbildet. Darüber liegen die Bunten Mergel auf die der harte Kieselsandstein in einer wenig mächtigen Schicht folgt. Trotzdem bildet er wegen seiner großen Härte an den Hängen vorspringende Nasen und Leisten. Der kalkig-kieselige Stubensandstein bildet die mächtigste Schicht der Keuperstufe, sie sind deutlich gebankt, damit sind sie landschaftlich durch Steilhänge mit örtlich breiten Verebnungen, wie beispielsweise im westlichen Teil des Stuttgarter Stadtgebietes, gekennzeichnet. Der letzte Anstieg der Keuperberge vor der Filderebene bildet der Knollenmergel, dessen rotbraune Mergeln einst durch den Wind angewehrte Kalkknollen enthält. Die Mergel kommen in Hanglagen häufig zum Rutschen. Teilweise wird die Schichtenfolge mit dem Rät abgeschlossen. Im Osten des Talkessels der Stadt bildet der Knollenmergel gemeinsam mit der Stufe des Stubensandsteins steile Hänge. Der Keuperstufenrand zieht in der Region von Nordosten in großen Windungen mit vielgliedrigen Taleinschnitten nach Westen. Die seitlichen Randhöhen des Keupers, die die Stuttgarter Bucht im Südwesten begrenzen werden vom Naturraum Glemswald und Schönbuch gebildet.

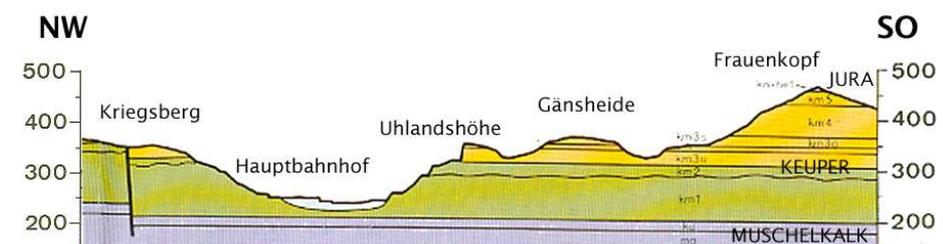


Abbildung 2 Schnitt durch die golog. Schichten des Stuttgarter Talkessels

Quelle: BONGARTZ 1985, verändert

An die Steilhänge des Keupers schließt weiter südlich der Naturraum der **Filderebene** an, sie hat große Ähnlichkeit mit der im Norden liegenden Gäulandschaft. Das Grundgestein wird von den Ablagerungen des Schwarzen Jura, auch Lias genannt, gebildet. Die Jura-Platte tritt auf den Fildern nur selten an die Oberfläche, da sie von Löß und Lehm überdeckt ist.

Das Landschaftsbild wird weithin vom Neckar beherrscht, der sich tief in das Stufenland eingeschnitten hat und bildet die Verbindung der drei Landschaftseinheiten Gäu, Keuper und Filder. Zwischen Nürtingen und Plochingen fließt der Neckar im harten Gestein des Lias, unterhalb Plochingen bildet er eine breite Talauie in den weichen Keuperschichten. Die Talauie erweitert sich auf der Höhe Bad Cannstatts zu einer breiten Bucht. In der Gäuebene fließt er in weit ausholenden Mäandern durch die widerstandsfähigen Muschelkalke (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.11 ff und 21 ff).

1.1.3 der Stuttgarter Talkessel

Der Stuttgarter Talkessel ist in das Keuperbergland eingetieft, dessen Nordrand sich vom Engelberg bei Leonberg bis zum Burgholzhof erstreckt. Auch der Lemberg zwischen Weilimdorf und Feuerbach gehört zum Keuperbergland, diese Erhebung ist aber vom geschlossenen Keuperbereich durch die Taleinschnitte des Feuerbachs, mit seinen Nebenbächen und dem Lindenschbach abgetrennt. Die Randhöhen westlich des Birkenkopfs Glemswald und Schönbuch werden auch vom Keuper gebildet. Zum Keuperbergland im Osten jenseits des Neckartals, zählt die Buocher Höhe, den Berglen nördlich des Remstals, südlich davon die Randberge des Schurwaldes, der Kappelberg, Württemberg, Katharinenlinde und Kernen (BONGARTZ et al. 1985).

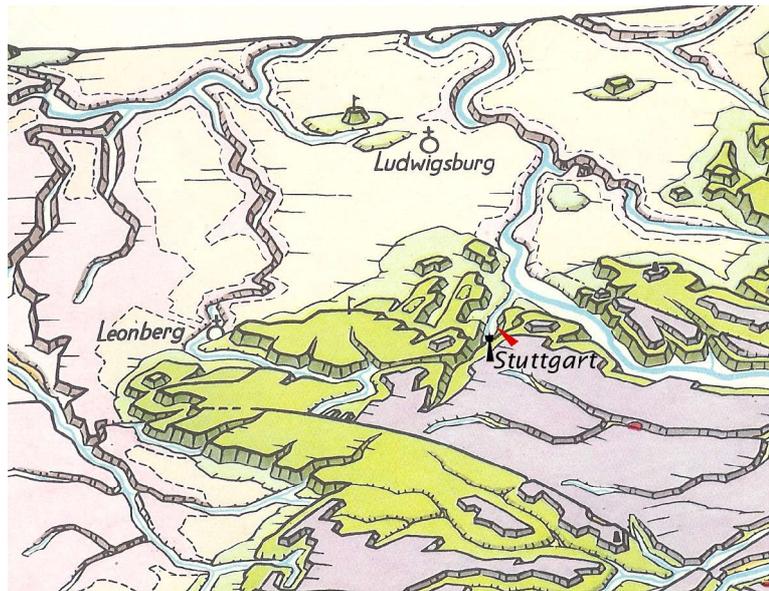


Abbildung 3 geologisches Blockbild der Region Stuttgart (Blick von Südosten)

Quelle: KOCH & WAGNER 1961, verändert

Von den flachwelligen, meist mit Feldern bedeckten Flächen der Keuperhochfläche im Süden der Stadt, bricht das Gelände nach einem waldbestandenen Übergang steil in das Becken von Stuttgart ab. Im Norden und Nordwesten des Beckens ist die Hochfläche nur noch als schmaler unbewaldeter, zum Neckar hin an Höhe abnehmender Sporn erhalten (Kräherwald). Die Abgrenzung des Beckens und damit auch das Siedlungskerngebiet Stuttgarts, ist dadurch natürlich vorgezeichnet: die Ränder der Hochfläche bilden eine deutliche morphologische Grenze. "Nur wenige Städte Deutschlands erfreuen sich einer solchen markanten Grenze, die allerdings für eine Großstadt gleichzeitig auch erhebliche Schwierigkeiten schafft." (WEVER 1924, S.2f)

GRADMANN schreibt 1956, Stuttgart, die Hauptstadt Württembergs "überrascht durch seine, für eine Großstadt unerhörte Lage". In einem kleinen verkehrsentlegenen Seitental des Neckars hat die durch Bruchspalten unterstützte Ausräumungsarbeit mehrerer hier sich vereinigender Bäche, zeitweise auch durch den Neckar, im weichen Keupermergel eine kesselförmige Erweiterung geschaffen, über 200 m hohe Wände senken sich in unregelmäßigen Terrassen in die schmale Talsohle herab. Oben steil, unten etwas sanfter, verlaufen schief zum Haupttal kleine Talfurchen in Rücken zerschnitten, die ein sehr bewegtes Gelände erzeugen. Trotz des schwierigen, unebenen, teils sumpfigen Baugeländes und den ungünstigen Verkehrsbedingungen, hat sich die Stadt Stuttgart angesiedelt und zu einer Großstadt entwickelt. Sie dehnt sich nach allen Richtungen an den Hängen hinauf und bildet mit dem "umrahmenden Reben- und Waldkranz eines der eigenartigsten und anzie-

hendsten Städtebilder Deutschlands" (GRADMANN 1956, S.211).

Die Stuttgarter Bucht besteht aus drei gesonderten Becken, dem Trichter des Neckars, auf dessen Gebiet sich der Stuttgarter Hafen und der Cannstatter Wasen befinden, der eigentliche Stuttgarter Talkessel und der kleineren Talweitung des Feuerbachs in der der Stadtteil Feuerbach liegt. Der Stuttgarter Talkessel verläuft in einer langgestreckten Form von Südwest nach Nordost, ist etwa 6 km lang und 3 km breit (HAMM 1969, S.3).

Der Talkessels bildet eine Verengung bei der Mündung ins Neckartal (bei Berg), während der Kessel eine Breite bis zu 3000 m aufweist, schieben sich an der Mündung die Bergrücken soweit zusammen, dass in der Talsohle nur noch eine Breite von ca. 200 m verbleibt (KÖLLE in STADTSCHULDHEISSENAMT STUTTGART 1901, S.7). Die Südwestlichen Hänge des Tals sind erheblich steiler und durch mehrere Klingen gegliedert als die nordwestliche Seite, die flacher und weniger gegliedert ansteigt (KÖLLE in STADTSCHULDHEISSENAMT STUTTGART 1901, S.10).

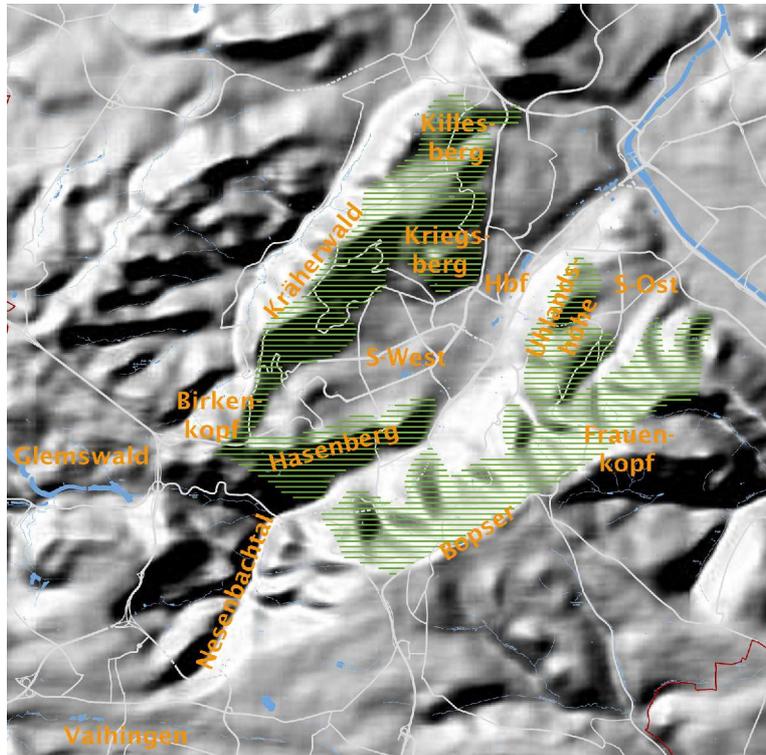


Abbildung 4 Topographie der Stuttgarter Bucht und ihre Randhöhen

Quelle: BAUMÜLLER 2004, verändert

Die umgebenden Höhen bilden die morphologische Grenze des Kessels, sie erheben sich mit einer Hangneigung von 5-10° um 100 bis 240 m über den Beckenboden (HAMM 1969, S.5).

1.1.4 geographische Daten

Die geographische Lage der Stiftskirche liegt auf 48° 46' 39" nördliche Breite und 9° 10' 43" östliche Länge von Greenwich. Besonders prägend für des Stadtgebiet Stuttgarts, ist der große Höhenunterschied zwischen dem Marktplatz im Stadtkern (245 m ü.N.N.) und den umliegenden Randhöhen des Kessels, (511 m ü.N.N. Birkenkopf). Die Differenz zwischen Stuttgarter Marktplatz und den umgebenden Randhöhen (Hoher Bopser ca. 485 m ü.N.N.) beträgt ca. 240 m. Der tiefste Punkt der Stadt, der Neckaraustritt an der Stadtkreisgrenze liegt auf 207 m ü.N.N., der höchste Punkt auf 549 m ü.N.N., die Bernhartshöhe am Autobahnkreuz Stuttgart (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004b, S.4).

1.2 Bodenverhältnisse und Bodennutzung

1.2.1 Bodenarten und mögliche Bodennutzung der Naturräume

Gestein und Klima prägen die Landschaft der Region Stuttgart, nach der naturräumlichen Gliederung, lassen sich entsprechende Bodenarten und -eigenschaften zuordnen:

Auf den Hochflächen der **Filder** und den höchsten Verebnungen von **Schönbuch und Glemswald** und dem **Schurwald**, werden die fruchtbaren Böden zum größten Teil ackerbaulich genutzt.

Auf großen Teilen der Liasplatte (Schwarz-Jura) hat sich im Pleistozän, dem Eiszeitalter, feinsten Mineralstaub alpiner Gesteine abgelagert. Diese Ablagerungen von Löß bilden heute den so genannten "Filderlehm", eine fruchtbare Parabraunerde.

An den exponierten Gehängekanten zu den tief eingeschnittenen Tälern ist die Filderlehm-Decke völlig abgetragen. Das Grundgestein Lias und der Knollenmergel bilden tonig-steinige mittelgründige Böden, die mit Obstbaumwiesen und Wald bestanden sind. Grundwasseraustritte sind besonders an diesen Taleinschnitten zu verzeichnen, dort treten häufig Rutschungen auf, die auf den Knollenmergel zurückzuführen sind (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.124f).

Die Randhöhen der **Stuttgarter Bucht** werden unterhalb des Knollenmergel von gebankten Sandsteinen mit örtlich breiten Verebnungen gebildet. Die Böden des Sandsteinkeupers variieren von durchlässigen trockenem Grobsand bis zum schweren, vernässenden Ton. Die ärmeren Böden auf Sand sind meist waldbestanden, fruchtbarere, feinsandige Löße am Rotenberg und Uhlbach werden wegen ihrer leichten Erwärmbarkeit noch landwirtschaftlich, oft durch Sonderkulturen genutzt.

Bodentypen und Standorte treten im Keuperbergland in einem kleinflächigen Mosaik auf, wodurch jede forstliche und landwirtschaftliche Planung im Sandsteinkeuper erschwert wird. Aus der Landschaftsgeschichte kann man erkennen, dass z. B. Die "Berglen" oder die Gehänge zu den tief eingeschnittenen Schurwaldtälern junge, d. h. weniger ausgelaugte und vernässte Böden als die älteren, flachen Höhenlandschaften wie sie im Schönbuch und Glemswald (z. B. am Oberlauf der Glems im Wildpark) aufweisen (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.125f).

Die Sonnenhänge des Keuperstufenrandes, die von Natur aus mit holzarmen, schütterten Steppenheidewäldern bewachsen waren, in der Vergangenheit zum größten Teil mit Reben-, Obst- und Beerengärten überzogen, mussten zunehmend der expandierenden Siedlungsfläche der Stadt weichen. Die verbliebenen Weinberge am "Kriegsberg" und die Wälder in den Klingen um den "Hohen Bopser" zeugen noch von der vormaligen Landnutzung (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.127f).

Das **Neckarbecken**, das die untere Gäulandschaft bildet und die **Obere Gäue** westlich der

Stuttgarter Bucht, ist durch feinsandige Lehme und Lößlehme geprägt, die meist mit Obstwiesen bestanden sind. Flachgründige Gehängekanten sind dem Wald überlassen. Hänge mit nährstoffreichen, schweren Böden sind vielfach Weinberge, die Tone des unten anschließenden Hangfußes sind zunehmend mit lößreichem Hangschutt bedeckt, diese vernässen und rutschen im Gegensatz zu den anderen Keupermergeln, an den flachen Hängen nur selten. Der Hangfuß geht in ein flachmuldiges, feuchtes Wiesengelände über. Hier erstreckte sich vor der künstlichen Entwässerung eine Kette von Niedermooren von der Herrenberger Gegend über Leonberg und Korntal bis in den Stuttgarter Talkessel. Diese Lagen mit Sumpfton sind auf Grund ihrer Sulfat-Ionen, besonders aggressiv gegen gusseiserne Rohre und Beton (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.129f).

Charakteristisch für das nördlich der Stadt liegende Gäu sind die lößbedeckten Lettenkeuperflächen. An geschützten Teilen der flachen Landschaft ist das Ausgangsgestein teils mit bis zu 8 m dicken Lößablagerungen bedeckt. Diese nährstoffreichen Parabraunerden (teilweise Paraschwarzerden) z. B. auf dem Schmiedener und dem Langen Feld werden seit alters her landwirtschaftlich genutzt. An exponierteren Stellen, wo die Schichten des Lettenkeupers an der Oberfläche liegen, werden diese ärmeren Böden als Obstwiesen genutzt (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.131f).

Die Muschelkalktäler sind in die flachwellige Gäulandschaft meist steil eingeschnitten, sie sind beispielsweise an den Prallhängen des Neckars und der Rems zu finden. Der Muschelkalk tritt besonders an den stärker abgetragenen, sonnenseitigen Hängen zutage. Die Steilhänge sind meist sehr trocken und mit Trockenrasen bestanden, nur in den besten Lagen hat sich der Weinbau bis heute erhalten. Die steinigen Böden sind gut durchlüftet und erwärmen sich stärker als die Keuperhänge, in solchen Lagen wird der "Cannstatter Zuckerle" gebaut. Die schattseitigen Hänge sind meist von strauchreichen Wäldern, wie beispielsweise das Hofener "Scilla-Wäldchen" bedeckt (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.133f).

Die **Talauen** dienen heute in der hügeligen Stuttgarter Landschaft weitgehend als Verkehrsadern und sind größtenteils überbaut. Der Neckar ist kanalisiert, seine Talau künstlich festgelegt. Der über Flußgeschieben lagernde grobe Kies und der feinsandige Auelehm der bei Hochwasser abgelagert wird, ist kaum noch zu finden. Am Remsdurchbruch unterhalb von Waiblingen findet man noch Erlen-Eschenwälder, auch Glems, Körsch, Aich und Siebenmühlental haben noch kleine Bachstrecken mit naturnahen Auwäldern und versumpften Wiesen. Die steileren Bachstrecken in Klingen und Schluchten sind meist völlig ausgeräumt und schneiden in das anstehende Gestein ein (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.134f).

1.2.2 Daten der heutigen Bodennutzung im Stadtkreis Stuttgart

Der Stadtkreis Stuttgart umfasst 207 km², davon sind 42,2 % der Fläche überbaut, einschließlich der Flächen für Straßen, Plätze, Wege, Eisenbahnen.

Die unbebauten Flächen unterteilen sich in 7,4 % öffentliche Grünanlagen, Friedhöfe, Sport- und Spielfläche und Gewässer; 14,9 % Gartenland, Obstgärten und Wiesen; 1,9 % Rebland; 9,6 % Ackerland; 23,6 % Wald und 0,4 % Ödland.

6,6 % (1.360 ha) der gesamten Stadtkreisfläche sind als Naturschutzgebiet, 31,9 % als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004b, S.4).

Im Vergleich zu 1993 nimmt die Siedlungs- und Verkehrsflächen bis in das Jahr 2001 trotz sinkender Einwohnerzahlen (1992: 599.415 EW und 2001: 587.152 EW) von 47,9 % (9.935 ha) auf 49,9 % (10.340 ha) erwartungsgemäß zu, wobei die Flächen für den Verkehr relativ konstant sind. Der Anteil der landwirtschaftlichen Flächen geht zurück, der Waldbestand ist gleichbleibend (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. Vergleich 2001, 1993).

1.2.3 Waldflächen

Vor allem auf der Filderebene und im Gäu herrscht die landwirtschaftliche Bodennutzung auf Grund der hohen Bonität der Böden vor. Die steileren Keuperhänge sind meist bewaldet, im Westen der Stadt liegt Stuttgarts größtes Waldgebiet, der Glemswald. Doch in den letzten 100 Jahren hat sich hier die Bebauung immer mehr in die Waldflächen hinein gefressen.

Die Kiefer (Forche) prägt als Charakterbaumart die Stuttgarter Höhen und den Kesselrand, sie ist hauptsächlich auf den trockenen Stubensandsteinterrassen (z. B. Raichberg, Gerokruhe, Wernhalde, Waldfriedhof, Dachswald, Hasenberg) vertreten. Die Forche tritt in Stuttgart meist in einer Waldgesellschaft mit Eichen und Rotbuchen auf.

Besonders in einem derart dicht besiedelten Ballungsraum wie der Region Stuttgart spielt der Wald, neben der Holzproduktion eine große Rolle für den klimatischen und lufthygienischen Ausgleich zu den bebauten Flächen.

Der Wald dient als Wasserspeicher und Filter für das versickernde Niederschlagswasser, so sind laut dem Statistischen Landesamt 2002 im Stadtkreis Stuttgart drei Wasserschutzgebiete mit insgesamt 1260 ha ausgewiesen.

Besonders an den rutschgefährdeten Knollenmergelhängen verhindert der Baumbestand den Bodenabtrag. Der Waldboden dient als Wasserspeicher, es versickert und dient der Grundwasserneubildung oder fließt erst nach den Abflussspitzen aus den versiegelten Wohn- und Verkehrsflächen in den Vorfluter, was das Kanalnetz der Stadt wesentlich entlastet (BONGARTZ et al. 1985, S.74ff).



Abbildung 5 Blick auf die bewaldeten Randhöhen in S-West

Außerdem dienen die vorhandenen Waldflächen als wichtiger stadtnaher Erholungsraum. Laut Statistischem Landesamt (2003) stehen jedem Einwohner der Stadt fast 19 m² Erholungsfläche, zum größten Teil in den die Stadt umgebenden Waldflächen zur Verfügung.

1.2.4 landwirtschaftliche Flächen und Rebflächen

2003 werden 2471 ha des Stuttgarter Stadtkreises landwirtschaftlich genutzt, was einen Rückgang um ca. 20 % gegenüber 1979 bedeutet (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 2003). Von dieser Fläche sind 1514 ha Ackerland, 464 ha Dauergrünland, 86 ha Obstanlagen und 370 ha Rebland (incl. Rebbrache). Der Anteil der Obstanlagen an der landwirtschaftlichen Fläche ist deutlich rückläufig, der Anteil an Rebland ist leicht zunehmend.

Wie sich bereits aus der geologischen Situation, dem Relief und den daraus resultierenden Bodenverhältnissen ableiten lässt, sind die landwirtschaftlichen Flächen hauptsächlich auf den Fildern und im Gäu zu verorten. Die Rebflächen sind zudem an den steilen Neckarhängen und an wenigen Stellen des Stuttgarter Talkessels auf den Sonnenhängen des Keupers zu finden.

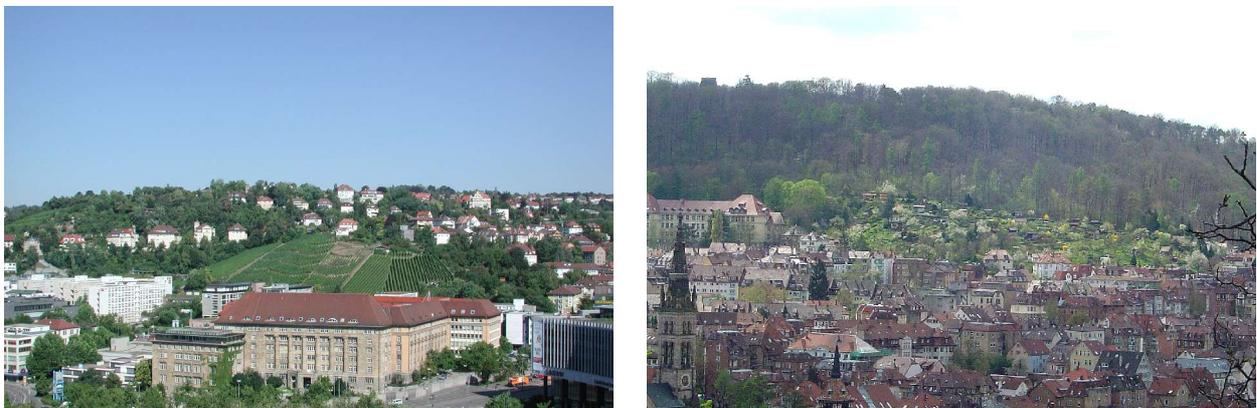


Abbildung 6 Innerstädtische Rebflächen am Kriegsberg (li) und Stuttgarter "Güttele" am Hasenberg oberhalb Heselach

1.2.5 Naturschutz- und Landschaftsschutzgebiete

Sieben Naturschutzgebiete, mit einer Gesamtfläche von 1.360 ha reichen in den Stadtkreis Stuttgart, außerdem 27 Landschaftsschutzgebiete, mit einer Fläche von rund 6.600 ha (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 2002).

Das Naturschutzgebiet Rotwildpark mit ca. 830 ha im Westen von Stuttgart soll als Beispiel eines durch die landwirtschaftliche Nutzung entstandenen Weidewalds erhalten bleiben und dient zum großen Teil den Erholungssuchenden Stuttgarts. Das Büsnauer Wiesental ist mit ca. 28 ha unter Schutz gestellt. Es ist eine vielfältig strukturierte Wiesenslandschaft und Lebensraum für zahlreiche im Ballungsraum stark gefährdete Pflanzen- und Tierarten. Beide Gebiete gehören zum Naturraum Glemswald und Schönbuch.

Das Naturschutzgebiet Eichenhain, ebenfalls ein ehemaliger Weidewald, zwischen Reidenberg, Sillenbuch und dem Kleinhohenheimer Bach zählt zum Naturraum der Filder, es wurde wegen seiner landschaftlichen Schönheit und Lage am Südhang mit ca. 34 ha unter Schutz gestellt. Auf den Fildern liegt außerdem der Häslachwald, der mit 45 ha auf der Gemarkung Stuttgarts als Naturschutzgebiet ausgewiesen ist. Der Häslachwald stellt ein Mosaik unterschiedlicher Lebensräume dar: Wald mit artenreicher Krautschicht, Ufergehölz

der Körsch als Rest eines Auwaldes und Streuobstwiese inmitten intensiv genutzter Landschaft.

Im Norden Stuttgarts, zwischen Weilimdorf und Zuffenhausen, liegt das Naturschutzgebiet Greutterwald, das ein Beispiel einer althergebrachten landwirtschaftlichen Nutzung, dem Streuobstbau darstellt. Es liegt im Naturraum der Stuttgarter Bucht, der Kreis Stuttgart zählt den größten Anteil des Gebietes mit knapp 150 ha.

Im Neckarbecken bei Zazenhausen ist das untere Feuerbachtal mit seinen Hangwäldern und Umgebung geschützt. Die 47,5 ha umfassen Bach und Aue des unteren Feuerbachtals mit feuchtigkeitsliebenden Arten, Wälder mit besonderer Flora an Frühlingsblühern und einer Reihe seltener Tierarten; Wiesen, Streuwiesen, Hecken, Wassergräben, Quellen und einen Steinbruch (LfU 2004).

Die 27 Landschaftsschutzgebiete sind über das gesamte Stadtgebiet verteilt, schwerpunktmäßig in den noch unbebauten Tälchen und Hänge der Keuperstufe, des Muschelkalks und der Filderbachläufe. Oftmals grenzen die Flächen unmittelbar an Baugebiete an, umschließen sie oder reichen weit in die Ortslagen hinein. Pufferzonen zwischen Siedlungsrandern und Landschaftsschutzgebieten gibt es kaum, die enge Verzahnung mit den Siedlungen ist kennzeichnend für die Stuttgarter Landschaft und ihre Schutzgebiete (BONGARTZ et al. 1984, S.114ff).

Siedlungsnaher Freiraum mit Erholungsfunktion, die Sicherung von Grünzäsuren zwischen den wachsenden Ortsrändern und der städtebauliche Ausgleichsraum zu den Bauflächen des Ballungsraums spricht für den zwingenden Erhalt dieser Gebiete. Neben diesen genannten Funktionen sind vor allem in Stuttgart unbebaute Flächen wie Naturschutzgebiete und Landschaftsschutzgebiete von großer stadthygienischer Bedeutung. Die Wirkung dieser siedlungsnahen Freiräume wird in vielen Fällen verstärkt durch unmittelbar anschließende innerstädtische Grünzüge, die sich bis in die Siedlungszentren fortsetzen (z. B. Hasenberg-Karlshöhe-Silberburg) (BONGARTZ et al. 1984, S.114ff).

1.3 Oberflächengewässer

Die geologischen Verhältnisse, das Relief ist die Grundlage für den Gewässerverlauf und das Einzugsgebiet der Oberflächengewässer. Durch die bewegte Orographie der Region Stuttgart gibt es neben den großen, das Landschaftsbild bestimmenden Gewässer auch viele kleine Bäche und eine Vielzahl kleinerer Seen und Wasserflächen im Stadtgebiet (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004c, S.5).

Die Wechsellagerung von Sandsteinschichten und Mergelbänken hat zur Folge, dass sich das in den Klüften des Sandsteins versickernde Regenwasser unterirdisch auf dem Mergel staut und in zahlreichen Quellen zu Tage tritt. Das Wasser hat den Stuttgarter Raum insoweit geprägt, als das sich diese Quellen von ihrer Austrittsstelle allmählich in das Gelände

zurückschneiden. Hinzu kommt, dass der Mergel bei starker Durchfeuchtung quillt und leicht rutscht. Auch das führt zu einer Zurückverlegung der Hänge, insbesondere im Bereich der Quellen. Damit schneiden sich die Wasserläufe allmählich immer weiter rückwärts ein, so dass sich steile Klingen und allmählich weit zurückgeschnittene Täler bilden. Der Keuperstufenrand ist deshalb stark gegliedert (HAGEL 2001, S.69f).

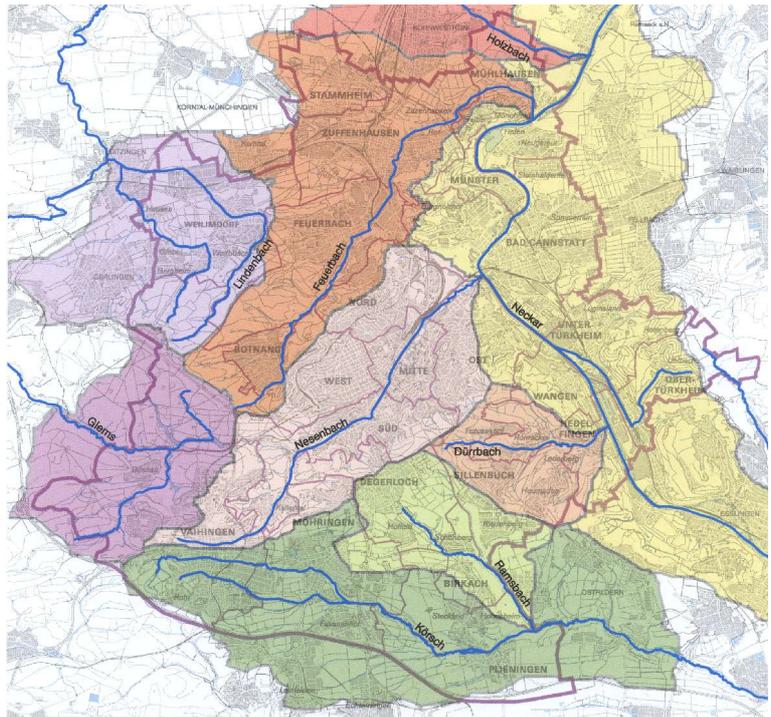


Abbildung 7 Einzugsgebiete der größten Stuttgarter Gewässer

Quelle: LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004c

Auf Stuttgarter Gemarkung liegen rund 170 km Fluss- und Bachläufe

und über 63 ha Seenfläche, im Zuge der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurden alle Fließgewässer mit Einzugsgebieten größer als 10 km² und alle Seen mit einer Wasserfläche größer als 0,5 km² in die Bestandsaufnahme und das Monitoring einbezogen. Die Einzugsgebiete der größten Stuttgarter Gewässer zeigt Abbildung 7 (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004c, S.27).

1.3.1 Nesenbach und Neckar im Stadtgebiet

Der Nesenbach, der die Gestalt der Stuttgarter Bucht maßgeblich mitbestimmt, bildet mit seinem Einzugsgebiet von 37 km² eine Ausnahme von den Vorgaben der WRRL. Er wurde als Gewässer entwidmet, da er seit langem nur noch die Funktion eines Abwasserkanals besitzt, er ist nahezu vollständig verdolt, sein Einzugsgebiet ist flächendeckend überbaut und damit wird das Niederschlagswasser der Kanalisation zugeführt (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004c, S.27).

Die Geschichte des Nesenbachs spiegelt jedoch die Entwicklung seines gesamten Einzugsgebiets vor allem aber der Stuttgarter Bucht wider. Der Oberlauf des Nesenbachs bei Vaihingen ist ein alter Körsch-Quellarm. Sein Quellgebiet in den "Honigwiesen" westlich Vaihingen ist eine typische Filder-Hochfläche mit einer kaum merklichen Talmulde. Aber schon beim Viadukt in Vaihingen hat der Nesenbach eine tiefe Schlucht eingerissen. Das Gefälle steigt von 8,8 Promille auf 44 Promille. Seine rückschreitende Erosion reicht heute bis über den Standort des Vaihinger Rathauses hinaus (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.177f).

Im Stuttgarter Talkessel war ursprünglich, ähnlich wie in Botnang, ein enges Netz kleiner, tief eingeschnittener Bäche angelegt. Nach Abtragung der widerstandsfähigen Keuper-

Sandsteine konnte im Gipskeuper eine flächenhafte Ausräumung erfolgen. Die weichen Geländeformen am Fuß der Hänge sind durch periglaziales Bodenfließen entstanden. Der Unterlauf des Nesenbaches wurde tektonisch durch die junge Hebung des Degerlocher Sattels und durch Aufschotterung des Neckars bei Bad Cannstatt gestaut. Dadurch wurde das Gefälle des unteren Nesenbachs so gering, dass der Schutt nicht mehr vollständig weggeschafft werden konnte. So verläuft der Nesenbach nach Südwesten hin in einem engen Tal und an den Hängen des Talkessels lagern noch mächtige eiszeitliche Schuttmassen. Vor allem alte Talrinnen sind fast restlos mit Blockschutt, Mergelschutt und Hanglehm ausgefüllt worden. Durch diese Talplombierungen wurden die Geländeformen des Talkessels immer mehr ausgeglichen. Aber auch die Erosion der Bäche war in Teilbereichen noch wirksam und hat durch Unterschneiden der Hänge gelegentlich zum Abrutschen ganzer Keuperschollen geführt. Im Zusammenspiel von Gestein, Schichtlagerung und Abtragung ist schließlich die heutige Landschaft entstanden (GEOLOGISCHES LANDESAMT 1959, S.183).

Durch wasserbauliche Maßnahmen vom 16. bis 19. Jahrhunderts wurde das Einzugsgebiet des Nesenbachs künstlich erweitert, die Flächen um die Parkseen südwestlich von Stuttgart, die bisher in die Glerns entwässert wurden dem Nesenbach und damit der Stuttgarter Bucht zugeleitet (GOHL 2002, S.10).

Heute kann der Nesenbach durch die Verdohlung neben seiner ökologischen Funktion und der charakteristischen Prägung des Stuttgarter Stadtbildes auch keine klimatischen Funktionen mehr wahrnehmen (s. Kapitel 1.4.4.3).

Dennoch ist die Abgrenzung der Einzugsgebiete der Fließgewässer auch klimatisch relevant, vor allem entspricht dies in etwa dem Kaltlufteinzug, wie es in Kapitel 1.4.1.4.3 erläutert wird und für die Abgrenzung und Zuordnung des Ausgleichsraums zu den einzelnen belasteten Wirkungsräume (s. Kapitel 3.1.1).

Nur im Nordosten im Verlauf des Nesenbaches besteht eine Öffnung des Stuttgarter Kessels zum Neckartal wo er heute verdolt in Cannstatt zwischen König-Karls- und Eisenbahnbrücke in den Neckar mündet (GOHL 2002, S. 83).

Der Neckar bestimmt als übergeordnetes Fließgewässer das Bild der gesamten Region im Gegensatz zum Esslinger Neckartal konnte sich sein Bett auf Höhe Bad Cannstatt im weichen Gipskeuper erheblich verbreitern. Hier entstanden vor dem Ausbau des Neckars als Verkehrsweg durch seinen bewegten Lauf einst zahlreiche Altwasserarme, deren Schlickfüllungen heute bei Baugründungen erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Bei Münster tritt der Neckar in den harten Muschelkalk über, die Talverengung beginnt allerdings schon weiter oberhalb, bei der Einmündung des Nesenbachs (BONGARTZ et al. 1985, S.189ff).

Das Neckartal ist durch die expansive Siedlungsflächenentwicklung im 20. Jahrhundert geprägt. Zwischen den mit Wald und Weinbergen überzogenen Hängen und dem Neckar hat sich ein "Flickenteppich" aus Industrieflächen, Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur entwi-

ckelt. Die belastete ökologische Situation, die sich in einem Grünflächenanteil im Talgrund von nur 10 Prozent darstellt, hat ihre Ursachen in den landschaftsräumlichen Gegebenheiten, unter anderem durch die Topographie und Windarmut des engen Neckartals, andererseits aber auch im hohen Nutzungsdruck wie z. B. durch Versiegelung, Schadstoffemissionen und Lärmbelastung. So dient das Neckartal heute mehr als Gewerbegebiet und Verkehrsverbindung mit den entsprechenden ökologischen Folgen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d, S.117).

1.3.2 Klingen und Nebenbäche des Nesenbachs

Die Hänge des Stuttgarter Kessels werden durch Klingen in denen teilweise kleinere Nebenbäche des Nesenbachs fließen unterteilt. Am Oberlauf, am nördlichen Ortsausgang von Kaltental kommt aus der Gegend südlich von Sonnenberg, der Kohlbach. Auf selber Höhe nähert sich von Westen, allerdings verdolt, der Eisenbach, wenige Meter weiter wird der Nesenbach durch einen namenlosen Bach aus der Schwäblesklinge, aus einem renaturierten Bachabschnitt nördlich von Sonnenberg gespeist. Am Südwestende von Heslach münden, auf den letzten Metern unterirdisch fließend, der Bach aus der Zwickenbergklinge und der aus der Heidenklinge, der durch die künstlichen Stollen aus dem Pfaffensee kommt. Die Zuflüsse im mittleren Abschnitt lassen sich heute nur noch erahnen. Aus der Wernhalde kam von rechts der Fangelsbach, der Dobelbach, der aus dem Bereich der Sonnenbergstraße kommend beim Charlottenplatz mündete. Der Westkessel wurde vom Vogelsangbach geprägt, dieser entsprang westlich des Birkenkopfs und floss unterhalb des Lustgartens von Westen in den Nesenbach. Im breiteren Talbereich mündeten nur meist namenlose Rinnsale, außer dem unterhalb des Rosensteins fließenden Störzbach, der sich beim Berger Zollhaus in den Nesenbach ergoss (GROHE 2002, S.24f).

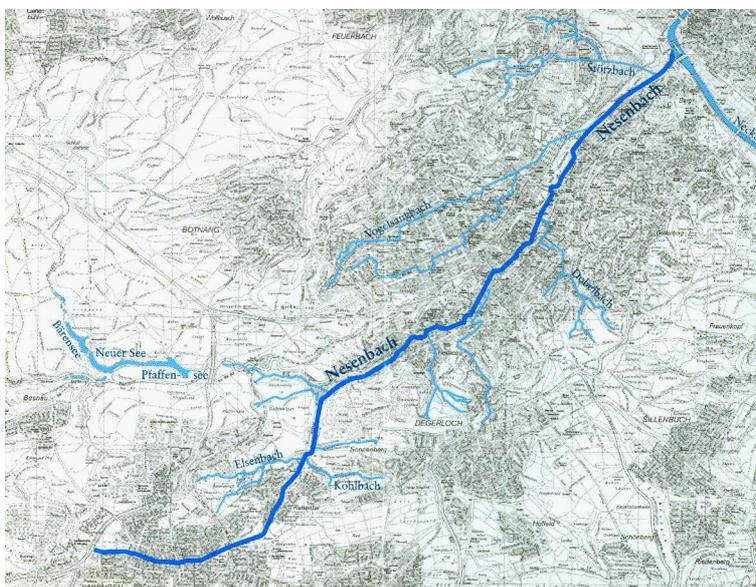


Abbildung 8 Fließgewässer im Stuttgarter Talkessel

Quelle: GROHE 2002

Der Großteil der Quellen der Nebenbäche ist heute gefasst und in ihrem Verlauf meist vollständig verdolt. Nur einige Bachabschnitte im Oberlauf des Nesenbachs werden aus ästhetischen Gründen wieder an der Oberfläche geführt oder in Teilen auch renaturiert. Die Klingen und Einschnitte der Hänge die ein feingliedriges System an Oberflächengewässern bilden, sind charakteristisch für den Stuttgarter Talkessel. Sie sind nicht nur besonders prägend für das Landschaftsbild und damit für die Stadtentwicklung und die

Hangbebauung relevant, sondern bilden durch ihre natürlichen Einschnitte an den Hängen klimatisch relevante Luftleitbahnen für den nächtlichen Kaltluftfluss, was unter anderem das Kapitel 1.4 erläutert.

1.4 Klima

Das Klima ist der mittlere Zustand der atmosphärischen Witterungsbedingungen eines Ortes. Es wird beschrieben durch die Klimaelemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Bewölkung und Strahlung.

Die lokalen klimatischen Verhältnisse von Stuttgart lassen sich zum größten Teil auf die geographische Lage, die landschaftlichen Gegebenheiten der Stadt und die Bodennutzung, also die menschliche Siedlungstätigkeit zurückführen oder werden durch diese in ihren Auswirkungen verstärkt. Auch die regionale klimatische Prägung des Stuttgarter Raums ist durch seine geographische Lage im Neckarbecken, abgeschirmt von den Ausläufern des Schwarzwaldes im Osten, der Filderebene und anschließend der Schwäbischen Alb im Südwesten, der Erhebung des Schurwaldes im Nordosten und der Gäulandschaft mit dem Strom- und Heuchelberggebiet im Nordwesten und die ausgeprägte Nutzung durch den Menschen zu erklären (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

1.4.1 Klimaelemente in Stuttgart -

großklimatische Einordnung und stadtklimatische Ausprägungen

Für die lokalklimatische Analyse und Bewertung der Hangbereiche des Stadtgebiets von Stuttgart sollen im Folgenden die grundlegenden großklimatischen Verhältnisse der Region dargestellt werden. Nach KÖPPEN (in MÜHR 2004) gehört Deutschland zu den warm-gemäßigten Klimazonen und den feucht-gemäßigten Klimatypen (Cf), in denen alle Monate humid sind. Stuttgart gehört zum Klimauntertyp mit warmen Sommern.

Großräumig betrachtet bestimmt die allgemeine atmosphärische Zirkulation, die durch den unterschiedlichen Strahlungsgenuss der Erdoberfläche, die Erdrotation und die Verteilung von Land und Meer entsteht, das Klima Deutschlands. Das Bundesgebiet liegt im Einflussbereich des in dieser geographischen Breite die gesamte Erde umspannenden Westwindgürtels. In diese zonalen Strömung sind Hoch- und Tiefdruckgebiete eingelagert. Vertikale Mächtigkeit, Temperaturschichtung und Feuchtegehalt der überwiegend vom Atlantischen Ozean herangeführten Luftmassen bewirken einen von Westen nach Osten schwächer werdenden maritimen Charakter des Klimas. Gleichzeitig nimmt die Wirkung des Kontinents von Norden nach Süden zu, wie es vor allem der Jahresgang der Temperatur nachweist.

In der Bundesrepublik lassen sich klimatisch grob drei Gebiete abgrenzen:

Die **norddeutsche Tiefebene**, die typisch maritime Züge aufweist, mit hohen Windgeschwindigkeiten und allgemein gedämpften Jahresgängen der Temperaturen.

Im **Mittelgebirgsraum** beeinflussen das bewegte Relief und die unterschiedlichen Höhenlagen die Klimaelemente und bewirken deutliche Luv- und Lee-Erscheinungen. Während die Lufttemperatur mit der Höhe abnimmt, steigen die Niederschlagshöhen an. In den höheren Lagen werden größere Windgeschwindigkeiten gemessen, während in den Beckenlagen oft Windarmut bis zu Windstillen herrschen, so dass dort durch die schlechten Austauschbedingungen Luftverschmutzungsprobleme eine besondere Rolle spielen.

In den kühleren Jahreszeiten bilden sich bei entsprechender nächtlicher Ausstrahlung Talnebel aus, die sich oft tagelang nicht auflösen, während in den Gebieten oberhalb des Nebels gute Fernsicht und deutlich höhere Lufttemperaturen herrschen.

Alpen und Alpenvorland werden durch intensive Stauerscheinungen, die vor allem im Sommer zu hohen Niederschlägen führen geprägt. Hier treten im Winter die niedrigsten Temperaturen Deutschlands auf, im Sommer werden aber, trotz der Höhenlage relativ hohe Temperaturen erreicht, was auf den kontinentalen Charakter des Klimas hinweist (KALB & SCHIRMER 1992, S.5f).

Stuttgart gehört nach dieser Einteilung zum Mittelgebirgsraum, dessen Klimaelemente hauptsächlich durch die Lage zwischen den größeren Höhenzügen des Schwarzwalds und der Schwäbischen Alb geprägt sind, dies schlägt sich in den Temperaturen, den Niederschlägen, in Windrichtung und -geschwindigkeit nieder und wird im Folgenden genauer erläutert.

Die Grafik (Abb. 9) vergleicht den Jahresgang der Temperaturen des Stuttgarter Neckartals mit den Temperaturen der Wetterstation Stuttgart Schnarrenberg und die Temperaturen auf den Fildern zeigt die Kurve für Stuttgart-Echterdingen.

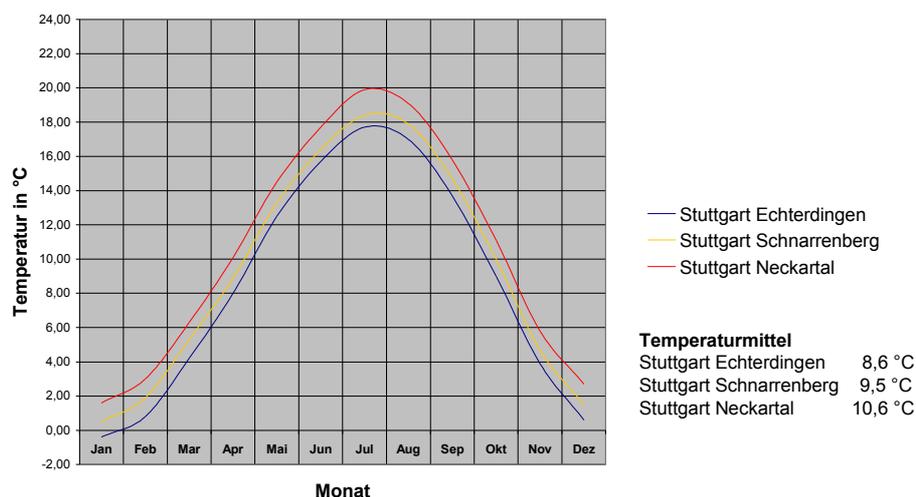


Abbildung 9 Jahresgang der Temperaturen einzelner Klimastationen in Stuttgart (1961-90)

Quelle: MÜHR 2004, verändert

Der Vergleich der Diagramme zeigt, dass sich zwischen den dicht bebauten, städtischen Siedlungsstrukturen im Stuttgarter Neckartal ein eigenes Bestandsklima, das Stadtklima ausbildet, das sich messbar auf die einzelnen Klimaelemente auswirkt. Die World Meteorological Organisation (WMO) definiert das Stadtklima als das durch urbane Bebauung

veränderte Klima, einschließlich der Abwärme und Emission von Luftschadstoffen. Das Stadtklima wird durch natürliche und anthropogene Klimafaktoren geprägt. Zu den natürlichen Faktoren gehören neben der geographischen Lage, dem Relief und der Höhenlage auch der Anteil der noch bestehenden naturnahen Oberfläche innerhalb des Stadtgebietes. Zu den anthropogenen Faktoren zählen Art und Dichte der Bebauung, das Wärmespeichervermögen der Baustoffe und der Versiegelungsgrad des Bodens, durch die der Strahlungs- und Wärmehaushalt beeinflusst wird. Aus lufthygienischer Sicht müssen außerdem Art und Zahl der Emittenten, wie Industriefeuerung, Haushalte und Kraftfahrzeugverkehr im Stadtgebiet berücksichtigt werden. Das Stadtklima wird durch bodennahe und bodenferne Abgase, Stäube und Abwärme beeinflusst. Das Zusammenwirken dieser anthropogener und natürlicher Faktoren bestimmt die jeweilige Ausprägung des Stadtklimas, somit existiert dieses nicht einheitlich. Die Differenzen in den einzelnen Faktoren führen zudem auch zu Unterschieden in einzelnen Stadtgebieten (WIKIPEDIA 2004).

Im einzelnen wirkt sich das Stadtklima auf folgende Elemente aus:

Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber dem nicht bebauten Umland	Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber dem nicht bebauten Umland
Strahlung Globalstrahlung (horizontale Fläche)	bis -10 %	Dauer der Frostperiode	bis -30 %
		Wind - Geschwindigkeit - Richtungsböigkeit - Geschwindigkeitsböigkeit	bis -25 % stark variierend erhöht
Gegenstrahlung	bis +10 %	Absolute Luftfeuchtigkeit - tags - nachts	weniger (mehr)
UV-Strahlung im Winter im Sommer	bis -90 % bis -30 %	Nebel - Großstadt - Kleinstadt	weniger mehr
Sonnenscheindauer im Winter im Sommer	bis -10 % bis -8 %	Niederschlag - Regen - Schnee - Tauabsatz	mehr (leeseitig) weniger weniger
Fühlbarer Wärmestrom	bis +50 %	Bioklima Vegetationsperiode Thermischer Wirkungskomplex	bis zu 10 Tage länger Wärmebelastung im Sommer; größere Anzahl an „Biergartentagen“ bzw. „Grillpartytagen“ ($T_{L, 21\text{Uhr}} \geq 20 \text{ °C}$); geringere Anzahl an Heizgradtagen
Bodenwärmestrom	bis +40 %		
Lufttemperatur - Jahresmittel - Winterminima - in Einzelfällen	~ +2 K bis +10 K bis +15 K	Luftverunreinigungen - CO, NO _x , AVOC ^{*)} , PAN ^{**}) - Ozon	mehr weniger (Spitzen höher)

*) AVOC = anthropogene Kohlenwasserstoffe

**) PAN = Peroxiacetylnitrat

Abbildung 10 Charakteristik des Stadtklimas in den mittleren Breiten

Quelle: VDI 2002

1.4.1.2 Wetterlagen

Die Klimaökologie unterscheidet generell austauschintensivere und austauschschwächere Wetterlagen. Allgemein liegt eine austauschschwache Wetterlage vor, wenn die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe 1,5 m/s unterschreitet, wie es beispielsweise bei ausgeprägten Hochdruckwetterlagen auftritt. Für die Bildung örtlicher Ausgleichsströmungen ist neben der schwachen Grundströmung in der Atmosphäre auch eine hohe Ausstrahlung durch einen bewölkungsarmen Himmel erforderlich. Bei Windgeschwindigkeiten von < 2,5 m/s und einem Bewölkungsgrad von < 4/8 sind die Bedingungen für eine verstärkte nächtliche Ausstrahlung, sprich eine Strahlungsnacht gegeben. In diesem atmosphärischen Zustand steigt das lufthygienisch-bioklimatische Belastungspotenzial, und die gleichzeitig entstehenden autochthonen Luftaustauschprozesse entwickeln sich zu wirksamen bodennahen Strömungen, es entsteht Kaltluftabfluss (MOSIMANN et al. 1999, S.209).

Das Verhältnis austauschstarker und austauschschwacher Wetterlagen bestimmt damit die Häufigkeit und die Ausprägung von

- Immissionsbelastungen in Bereichen höherer Emissionen und Bereichen mit eingeschränkter Durchlüftung (Kessellagen, dicht bebaute Siedlungsbereiche etc.);
- bioklimatische Belastungen (Wärmebelastung, "Schwüle", Kältestress, Windstress)
- thermischen und/oder Relief bedingten Luftaustauschströmungen und
- Kaltluftansammlungen und Nebel.

(MOSIMANN et al. 1999, S.210)

Das bedeutet, dass bei austauscharmen Wetterlagen die stadtklimatischen Ausprägungen der Klimatelemente besonders deutlich auftreten, sich aber auch ausgleichende Luftströmungen wie beispielsweise Kaltluftabflüsse entwickeln.

Für den Stuttgarter Talkessel liegen keine Angaben über die Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen vor, dennoch kann man mit dem Auftreten von Strahlungsnächten nach der Windstatistik in ca. 40 % aller Nächte rechnen. Bodennahe Inversionen (bis ca. 200 m) treten zu 10 % tagsüber und zu 70 % nachts auf und lassen damit ebenfalls auf eine Austauscharmut schließen. Diese Phänomene sind in Stuttgart im Sommer häufiger, im Winter bildet sich dabei Hochnebel aus. Die lufthygienische und die thermische Belastung sind dann im Stadtgebiet besonders ausgeprägt, die durch den kühlenden Effekte und die Zufuhr von Frischluft, durch die Bildung und den Abfluss von Kaltluft gemildert werden können. Die Ansammlung der Kaltluft und Nebelbildung ist durch den Wärmeinseleffekt der Siedlung im Talkessel kaum ein Problem.

1.4.1.3 Temperatur

Wie die Klimadiagramme aus Abb. 9 darstellen, liegen die Temperaturen im Neckartal bei einem Jahresmittel von 10,6 °C, die Randhöhen auf den Fildern erreichen 8,6 °C. Ein Vergleich mit anderen deutschen Städten im langjährigen Mittel (1961-1990) zeigt folgende Tabelle (MÜHR 2004):

Lufttemperatur in °C	Jahresmittel	Januar	Juli
Stuttgart Echterdingen (397 m ü. NN)	8,6	-0,4	17,7
Stuttgart Neckartal (223 m ü. NN)	10,6	1,6	19,9
Freiburg Wetteramt (269 m ü. NN)	9,1	1,8	19,9
Heilbronn (167 m ü. NN)	9,8	1,0	18,9
Ulm (522 m ü. NN)	7,9	-1,7	17,4
München Stadt (515 m ü. NN)	9,2	-0,4	18,8
Hannover Langenhagen (55 m ü. NN)	8,9	0,6	17,7

Die Statistik der Sommertage (Höchsttemperatur mind. 25 °C) im Jahresdurchschnitt (Jahresmittel 1961 - 1990) spiegelt den kontinentalen und maritimen Einfluss in den einzelnen Regionen Deutschlands wieder. Der Osten und Südosten Deutschlands weist regional 35 - 45 Sommertage auf, der Oberrheingraben ist mit 45 bis mehr als 50 Tagen die wärmste Region Deutschlands, was sich mit 35 - 45 Sommertagen auch auf die Gäulandschaft und die Stuttgarter Bucht auswirkt, der Norden Deutschlands ist im Sommer kühler. Im Winter zeigt die Verteilung der Frosttage (Temperaturminimum unter 0 °C), die mildernde Wirkung auf die Temperaturen durch die maritimen Luftmassen im Norden Deutschlands. Im Südosten wirkt sich die kontinentale Kaltluft deutlich temperatursenkend aus. Die Kölner Bucht stellt mit weniger als 50 Frosttagen das mildeste Klima, Alpen, Schwarzwald und Bayerischer Wald mit einem Jahresdurchschnitt von mehr als 150 Frosttage die kältesten Gebiete. Stuttgart zeigt auch hier mildere Klimawerte mit 60 - 80 Frost-

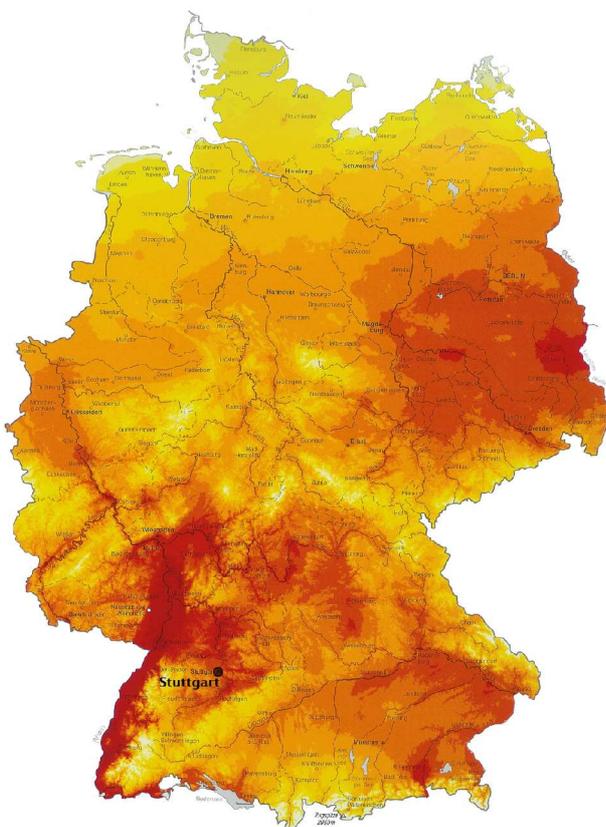


Abbildung 11 Anzahl der Sommertage in Deutschland
dunkelrot >50 - orange 25-30 - gelb 10-15 Tage

Quelle: LENTZ et al. 2003

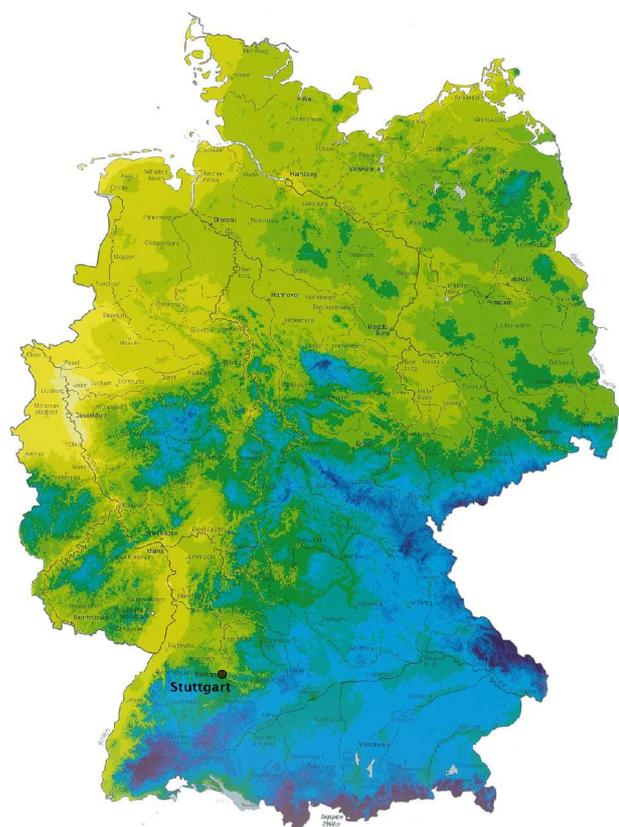


Abbildung 12 Anzahl der Frosttage in Deutschland
dunkelblau >150 - dunkelgrün 80-100 - gelb 50-60 Tage

Quelle: LENTZ et al. 2003

tagen im Jahr, vergleichbar mit Heilbronn. Karlsruhe ist mit 60 - 70 Frosttagen etwas wärmer, Ulm mit bis zu 110 Tagen deutlich kälter.

Phänologisch setzt der Vollfrühling im Neckartal der Region Stuttgart nach dem langjährigen Mittel des Deutschen Wetterdienst von 1961-1990 zwischen dem 23. und 29. April ein, auf den Fildern erst zwischen dem 30. April und dem 6. Mai. Vergleichbar ist diese frühe Apfelblüte Stuttgarts mit Karlsruhe, nur im Oberrheingraben beginnt sie bereits vor dem 23. April. Dennoch wirken sich das milde Klima und die hohen Temperaturen auch negativ aus. Die Stuttgarter Bucht, die Gäulandschaft aber vor allem der Oberrheingraben sind in Baden-Württemberg mit 22 bis mehr als 26 Tagen die Gebiete mit der größten Wärmebelastung, umgekehrt ist dort die Zahl der Tage mit Kältestress am geringsten (ALEXANDER in LENTZ et al. 2003).

Bereits GRADMANN (1956, S.194) hat das langjährige Mittel der Luftwärme für den Bezugszeitraum von 1881 bis 1910 im Neckarland wie folgt interpretiert: Die wärmsten Landesteile sind die tiefgelegenen um den unteren Neckar und die Unterläufe von Enz, Rems, Kocher und Jagst; sie stehen hinter der Oberrheinischen Tiefebene kaum zurück. Heilbronn ist ebenso warm wie Darmstadt, Straßburg und Mühlhausen; Stuttgart ist trotz seiner höheren Lage sogar noch etwas wärmer und kommt Karlsruhe und Speyer gleich. Auf die Meeresfläche umgerechnet ergibt sich für Stuttgart ein Wärmemittel von 11,2 °C, ähnlich wie für die Umgebung des Kaiserstuhls; es ist so warm, wie wenn es zwei Breitengrade südlicher oder 150 m tiefer läge. Es handelt sich dabei nicht bloß um die bekannten Großstadteinflüsse. Der Wärmeüberschuss wurde schon beobachtet, als Stuttgart noch keine Großstadt war; er beträgt schon für die Periode 1826-75 +1,0 ° gegenüber der berechneten Normaltemperatur. Ob die nahe liegende Erklärung aus der windgeschützten Kessellage genügt, ist fraglich; sicher aber ist, dass die Windstille die Wärme noch stärker fühlbar macht, angenehm im Frühjahr und Herbst, lästig im Hochsommer, besonders in den oft drückend schwülen Nächten.

1.4.1.3.1 Wärmeinsel

Zusätzlich führt das Aufheizen des dicht bebauten Stadtkerns im Kessel, deren Faktoren im Folgenden beschrieben werden, zur Ausbildung einer, für das Stadtklima charakteristischen, Wärmeinsel. Die Temperaturen liegen hier durchschnittlich 1-3 K höher als im Umland. Die Überwärmung der Stadt ist dabei einem Tagesgang unterworfen, an wind-schwachen Abenden kann die Differenz zum Umland bis zu 10 K betragen. Vergleicht man die gemessenen Temperaturen in der Stuttgarter Innenstadt, auf 250 m ü. NN (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004, Messstation Schwabenzentrum, Amt für Umweltschutz Abteilung Stadtklimatologie) mit dem Umland auf den Fildern auf 420 m ü. NN (UNIVERSITÄT HOHENHEIM 2004, Messstation Hohenheim, Institut für Physik und Meteorologie), kommt man zu folgendem Ergebnis (aufgrund des vorliegenden Datenmaterials kann nur der Zeitraum von 1997 - 2004 zwischen Hohenheim und Stuttgart-Stadtmitte verglichen

werden):

In Stuttgart Hohenheim liegen die Mittelwerte der Temperaturen im Vergleichszeitraum von 1997 - 2004 bei 10,2 °C, in der Stuttgarter Innenstadt bei 11,8 °C. Die Höchsttemperatur wurde in diesem Zeitraum in Hohenheim mit 36,8 °C erreicht, im Stadtgebiet lag diese bei 38,8 °C (August 2003). Sommertage wurden in Hohenheim 47,6 registriert, heiße Tage 7,9. Das Stadtgebiet verzeichnete 54,4 Sommertage und 21,1 heiße Tage (Definitionen der Klimaelemente s. Anhang).

Der Stadtklimaeffekt ist an den Temperaturextremen, und den Sommertagen und heißen Tagen erkennbar, die deutlich vom Umland in Hohenheim differieren, dennoch muss hier auch der Höhenunterschied der beiden Wetterstationen berücksichtigt werden. Außerdem zeigen die Zahlen, dass sich die hohen Temperaturen der vorangegangenen Sommer (2003, 2000 und 1994 waren bisher die heißesten Jahre seit Beginn der Temperaturlaufzeichnung in Hohenheim 1878), in Verbindung mit der städtischen Wärmeinsel zu einem immer dringlicheren Problem entwickeln.

1.4.1.3.2 Strahlungsbilanz

Die erhöhten Temperaturen in der Stadt lassen sich, neben den natürlichen Faktoren mit einer veränderten Strahlungsbilanz erklären. Großräumig gehört Stuttgart zur der strahlungsbegünstigten Regionen des Südens Deutschlands. Maximalwerte werden im Bundesgebiet im Süden Bayerns und in der Region Freiburg mit bis zu 1150 kWh/m² erreicht, in Stuttgart liegt der Strahlungsgenuss bei bis zu 1125 kWh/m² (ANHUF et al. in LENTZ et al. 2003).

Die mittleren Sonneneinstrahlung lag in Hohenheim im Zeitraum von 1997 - 2004 bei 132,9 W/m², in der Stuttgarter Innenstadt bei 128,3 W/m².

In einem Stadtgebiet ist die Globalstrahlung auf Grund der stärkeren Bewölkung und der erhöhten Luftverschmutzung im allgemeinen bis zu 20 % reduziert, die Sonneneinstrahlung ist damit nicht die Ursache auf die der Wärmeinseleffekt zurückzuführen wäre.

Dagegen ist die atmosphärische Gegenstrahlung, sprich die langwellige Strahlung durch die höhere Lufttemperatur innerhalb und oberhalb der Stadt, des größeren Aerosolgehaltes und der häufigeren Bewölkung erheblich verstärkt (HÄCKEL 1999, S.329). Diese Gegenstrahlung verringert somit z. B. eine nächtliche Abkühlung.

Abbildung 13 zeigt die Strahlungsbilanz mit den Einflussgrößen des städtischen Wärmehaushalts. Die Wärmeabstrahlung vom Boden wird in der Stadt durch die Oberflächen und Materialien bestimmt, durch das Wärmespeichervermögen der Baumassen kommt es tagsüber zu einer starken Erwärmung v. a. der Dachflächen und nachts zu einer verstärkten Abstrahlung von Wärme. Wolken und Dunst z. B. aus Staub, CO₂ und Wasserdampf über der Stadt absorbieren die Wärmeabstrahlung, strahlen diese zurück und reduzieren damit die nächtliche Abkühlung. Im Gegensatz zum Umland liegen die Temperaturen in einer Sommernacht durch die Dunstschicht der Aerosole nach VISKANTA u. DANIEL 1980, (in FEZNER 1994, S.59) um 0,6 K, im Winter um 0,8 K höher.

Zusätzlich führt die Überhöhung des Horizonts der Städte durch ihre Bauten zu einer Verstärkung der Zustrahlung von den warmen Häuserwänden. An Hausmauern können Differenzen von 15 K zur Umgebungstemperatur gemessen werden. Diese Zustrahlung und die der aufgeheizten, versiegelten Grundflächen hält nachts noch recht lange an, sie verringert die effektive Ausstrahlung und trägt so zu den hohen Nachttemperaturen bei (HÄCKEL 1999, S.329).

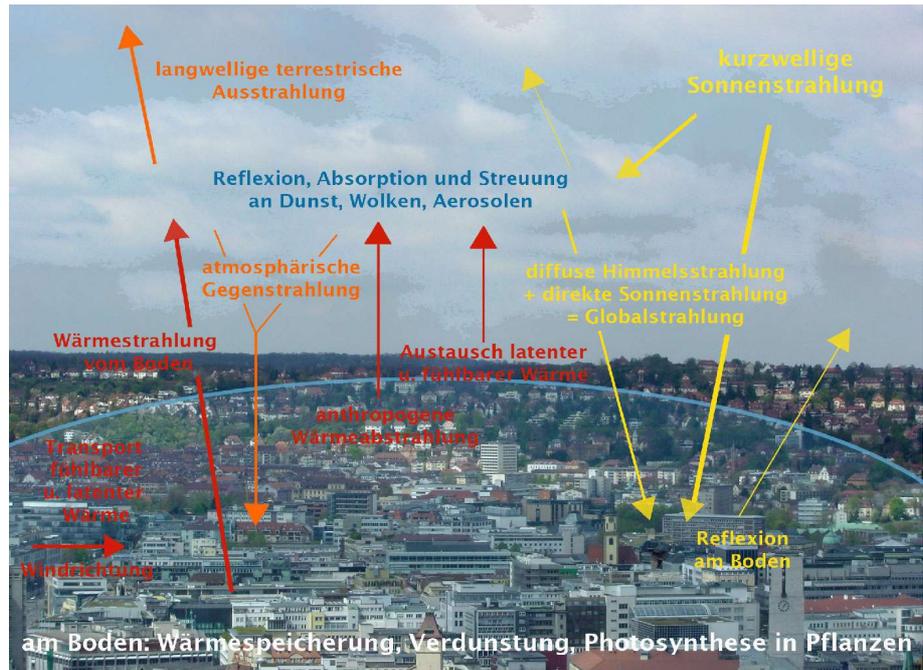


Abbildung 13 Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts
kuzwellige Strahlung (gelb) -
langwellige Strahlung der Erdoberfläche (rot) und der Atmosphäre (orange)
Quelle: LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004 und HÄCKEL 1999, verändert

Daneben ist die anthropogene Wärmeerzeugung, wie die Abwärme von Industrie und Hausbrand, der Verbrauch von elektrischem Strom und der Kraftfahrzeugverkehr eine nicht unerhebliche Energiequelle, die zur Überwärmung beiträgt (HÄCKEL 1999, S.329).

Durch die Überlagerung der Morgen- und Abendaufnahme der Infrarot-Thermalkartierung werden die Stadtgebiete mit ihrer Strahlungstemperatur der Oberflächen und der nächtlichen Abkühlungsrate in der Thermalcharakteristik dargestellt. Die Innenstadtgebiete im Talkessel zeigen die für das Stadtklima typische Überwärmung, mit einer starken Erwärmung tagsüber und geringer nächtlicher Abkühlung (dunkelrot). Die Hanglagen fallen in die Kategorie einer mäßigen bis starken Erwärmung mit ausreichend nächtlicher Abkühlung.

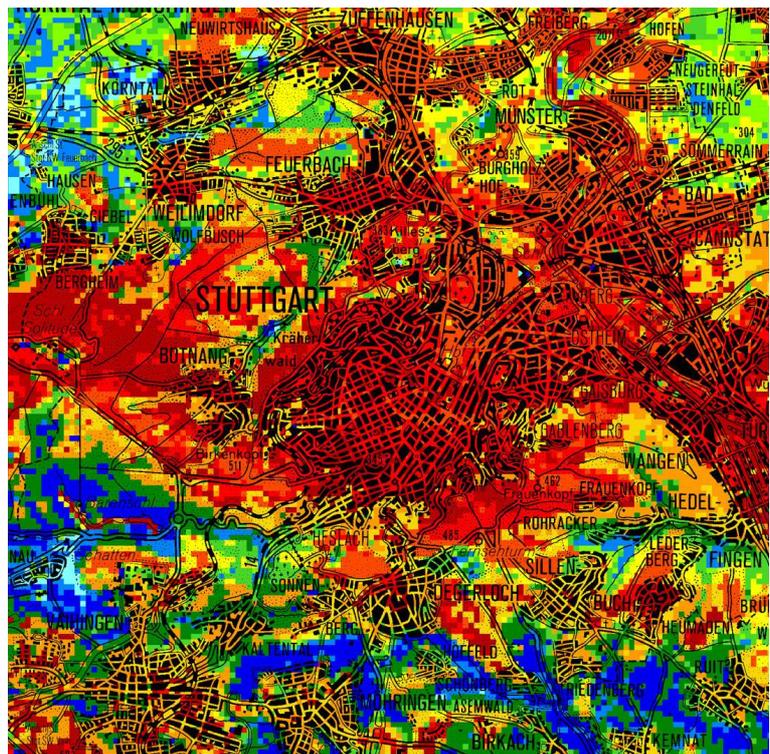


Abbildung 14 Thermalcharakteristik Stuttgart
Quelle: BAUMÜLLER 2004

Blaue Flächen unterliegen der geringsten Erwärmung und einer starken nächtlichen Auskühlung. Die Gebiete mit einer geringen Abkühlungsrate gilt es hinsichtlich des Wohlbefindens des Menschen als Wohnstandort und als Ausgleichsraum für die Stadt besonders zu berücksichtigen (BAUMÜLLER 2004). Die Strahlungsbilanz und die Untersuchungen der Strahlungsoberflächentemperaturen zeigen, dass die Wahl der Oberflächenmaterialien der Baumassen und der Anteil an unversiegelten Flächen in der Stadt für den Wärmehaushalt ausschlaggebend sind (s. a. 1.4.4 klimatische Eigenschaften bestimmter Flächennutzungen).

1.4.1.4 Niederschlag

Die Karte (Abb. 15) zeigt die Niederschlagsverteilung im langjährigen Jahresmittel von 1961-1990 für Deutschland. Die höchsten Niederschlagsmengen der Bundesrepublik mit bis zu 2000 mm (dunkelblau) verzeichnet die Alpennordseite und der Nordschwarzwald. Gebiete mit 600 - 800 mm pro Jahr, zu denen auch Stuttgart zählt, gehören zum Durchschnitt Deutschlands, die ostdeutschen Gebiete an der Unteren Oder und der Magdeburger Börde und das Alzeuyer Hügelland im nördlichen Oberrheingraben sind mit weniger als 500 mm (orange) Jahresniederschlag deutlich trockener. Im Allgemeinen liegt das Niederschlagsmaximum im Sommer. Der Niederschlag ist im Durchschnitt in allen Gebieten höher als die Verdunstung, damit gilt das Klima als humid.

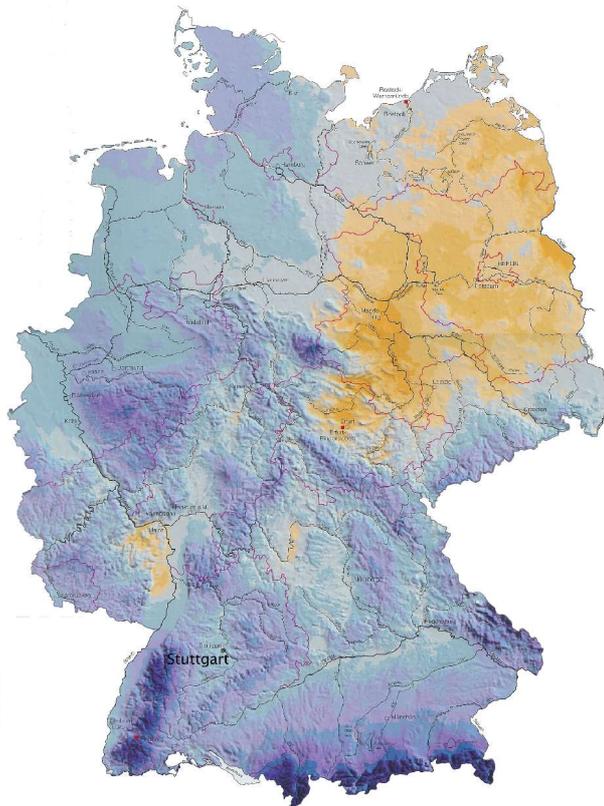


Abbildung 15 jährl. Niederschlagsverteilung in Deutschland (1961-1990)

Quelle: LENTZ et al. 2003

Die Niederschlagsmengen sind mit einem Jahresdurchschnitt von 679 mm in der Stadtmitte relativ gering, bezogen auf Baden-Württemberg gehört Stuttgart damit zu den niederschlagsärmeren Regionen, trockener ist es im Oberrheingraben nördlich von Karlsruhe und in Teilen des Maintals (KLEIN & MENZ in LENTZ et al. 2003).

Auch der Klimafaktor Niederschlag ist in Städten verändert. Bei den mittleren Jahreswerten der Niederschlagshöhe ist, abhängig von den lokalen Bedingungen eine Zunahme von 5 - 10 % gegenüber dem Umland zu verzeichnen. Die Zahl der Ereignistage an Schauern ist gegenüber dem Umland um 10 - 15 % erhöht, die Zahl der Gewittertage um 10 - 25 % größer. Als Folge der höheren Lufttemperaturen über der Stadt verringert sich der Anteil des Schneefalls deutlich, geht als Schneeregen und Regen nieder oder bleibt ganz aus (HELBIG 1999, S.118f).

Im Allgemeinen sind laut FEZER (1995, S.77f) folgende vier Faktoren für den vermehrten Niederschlag verantwortlich:

- Die raue Oberfläche der bebauten Stadtlandschaft zwingt die regenbringenden Winde zum Aufstieg. Dadurch sinkt die Lufttemperatur, der Taupunkt wird früher erreicht. Außerdem wird die Strömung turbulenter.
- Über der Wärmeinsel beginnt am Vormittag die Konvektion früher, sie reicht höher hinauf als über dem Freiland. Dies führt Nachmittags zu einer vermehrten Bewölkung und mehr Niederschlägen.
- Die Kondensationskerne sind über Großstädten 10 bis 100fach erhöht.
- Die Stadtluft ist großräumig trockener, aber punktuell steigen große Mengen an anthropogen erzeugtem Wasserdampf in die Höhe.

Eine Verschiebung der Regenseite leewärts, die normalerweise in Städten zu beobachten ist, trifft für Stuttgart auf Grund seiner orographischen Lage weniger zu, dafür zeigt die Verteilungen der Niederschläge, dass die geschützte, windärmere Kessellage des Stadtkerns eine geringere Niederschlagshöhe bedingt. Eine Zunahme ist erst wieder im Osten am Anstieg des Schurwaldes und südlich auf der höher gelegenen Filderebene erkennbar.

Für den Bezugsraum 1961 - 1990 sind 697,6 mm in Hohenheim und 666 mm in Stuttgart auf dem Schnarrenberg gemessen worden.

Ausschlaggebend für diese Unterschiede ist in erster Linie die Höhendifferenz zwischen der Wetterstation Hohenheim und Stuttgart Schnarrenberg, die ca. 100 Meter beträgt.

Die Kartierung der Starkregenereignisse (> 50 mm/ Tag) von MÜHR (Bezugszeitraum 1961 - 1990) zeigt Stuttgart mit 10 Starkregentagen, die hauptsächlich im Sommerhalbjahr auftreten. Diese sind im Städtebau vor allem bei der Dimensionierung des Abflusses zu berücksichtigen. In Wohnvierteln laufen 30 - 50 %, in stärker versiegelten Geschäftsvierteln sogar 70 - 95 % des Niederschlags durch das kommunale Kanalnetz ab (FEZER 1995, S.79). Der Rückhalt des Niederschlagswassers kann in technischer Form oder durch die Nutzung von geeigneten Grünstrukturen, z. B. Wald- und Grünflächen oder Dachbegrü-

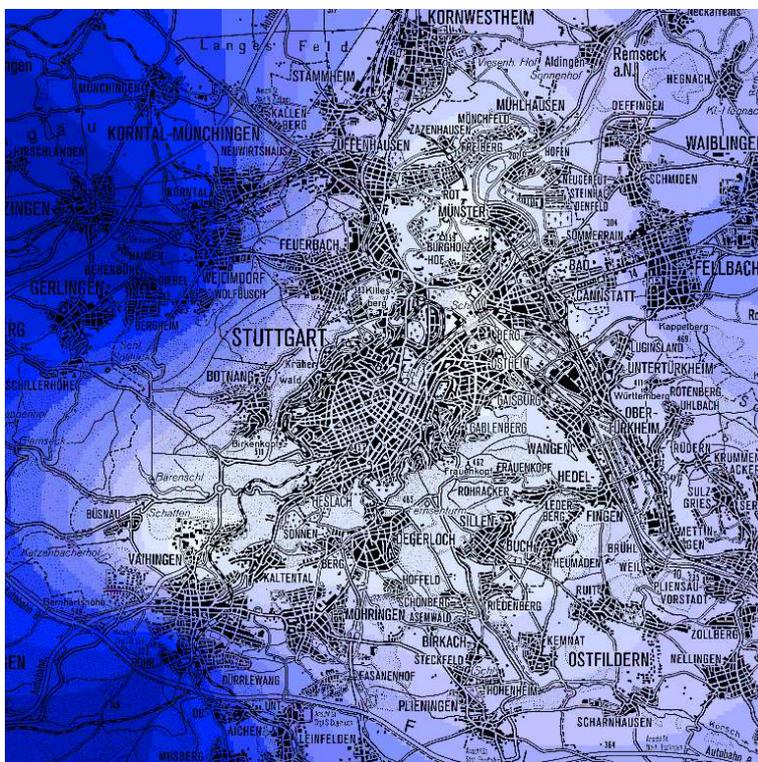


Abbildung 16 Niederschlagsverteilung in der Region Stuttgart von >670 mm (hellblau) bis >790 mm (dunkelblau)

Quelle: BAUMÜLLER 2004

nungen erzielt werden. Durch die Verdunstung von Niederschlagswasser auf den Blattoberflächen von Grünanlagen können lokal geringere Temperaturen im Siedlungsgebiet nachgewiesen werden (s. 1.4.4.2 Innerstädtische Grünflächen).

In Stuttgart Hohenheim (langjährige Mittel 1971 - 2000) hat die Zahl der Tage mit Niederschlag mit 16,9 Tagen im Mai und Dezember ihr Maximum und mit 12,9 Tagen im September ihr Minimum, die Regentage sind damit relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. Dennoch liegt das Maximum der Niederschlagshöhe mit über 92,5 mm im Juni, das Minimum mit weniger als 38,2 mm im Februar. Dies spiegelt den normalen Niederschlagsverlauf der feucht-gemäßigten Klimatypen wieder.

Die Niederschlagsverteilung spielt für das Bioklima in Stuttgart im Vergleich zum Umland und damit auch für planerische Entscheidungen eine eher untergeordnete Rolle, kleinräumig ist aber der Rückhalt des Oberflächenwassers und eine Erhöhung der Verdunstung zur Verringerung des Wärmeinseleffekts eine notwendige Maßnahme.

1.4.1.5 Wind

Großklimatisch gehört Deutschland zur außertropischen Westwindzone. Tiefdruckgebiete durchziehen Deutschland meist von Südwest nach Nordost und bilden damit die Hauptwindrichtung. Aufgrund der Strömungen bei Hochdruckwetterlagen aus den Hochdruckgebieten über Mitteleuropa, zeigen viele Stationen Deutschlands neben der Hauptwindrichtung Südwest ein sekundäres Windrichtungsmaximum aus nordöstlicher bis östlicher Richtung. Die regionalen Unterschiede in der Orographie, beispielsweise der Lage im Lee der Mittelgebirge führen zu einer regionalen Verteilung der Windrichtungen. Durch die maritime Prägung des Klimas werden im Norden Deutschlands generell höhere Windgeschwindigkeiten als im Süden gemessen. In Süddeutschland kommen die Luftmassen auf Grund der Luftdruckverteilung durch die Einflüsse des Azorenhochs häufiger zur Ruhe. Die Region Stuttgart gehört mit einer Windgeschwindigkeit von < 3 m/s, neben dem Raum Ingolstadt und dem bayerischen Rott- und Inntal zu den windschwächsten Gebieten Deutschlands. In Stuttgart lässt sich dies, neben der Lage in Süddeutschland wiederum auf die Abschattung durch die umliegenden Höhenzüge zurückführen (BÜRGER in LENTZ et al. 2003 und HAMM 1969, S.7). Die Wetterstation Stuttgart Echterdingen hat für die Filderho-

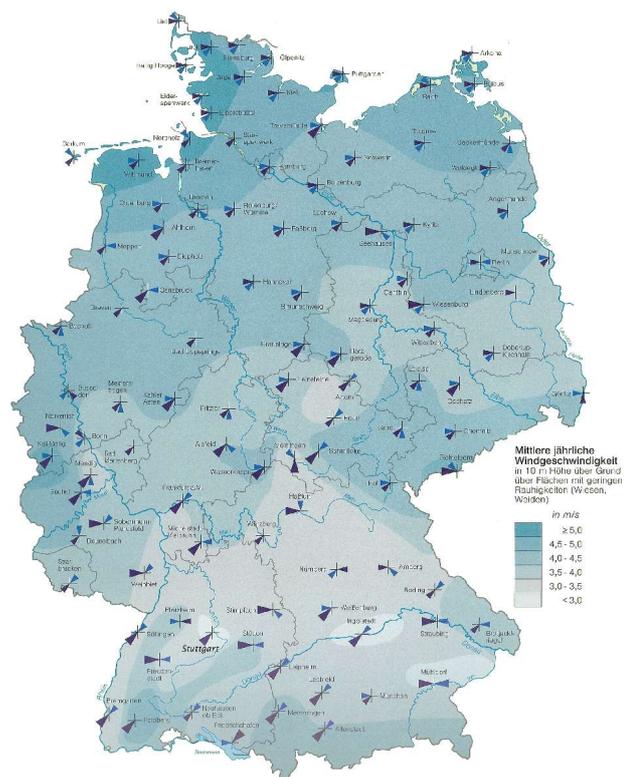


Abbildung 17 Bodennahes Windfeld in Deutschland

Quelle: LENTZ et al. 2003

chebene eine Windgeschwindigkeit von 2,0 m/s registriert (ROBEL et al. 1978, S.10). In der stark gegliederten Landschaft der Region Stuttgart bilden sich lokale Winde mit unterschiedlicher Stärke und Richtung aus. Durch die Kessellage ist das Stadtgebiet vor den ohnehin schwachen Winden der Region zusätzlich geschützt, es herrschen nur geringe Windgeschwindigkeiten vor, was die Kartierung der Schwachwindhäufigkeit im Stadtgebiet zeigt (s. Abb. 18).

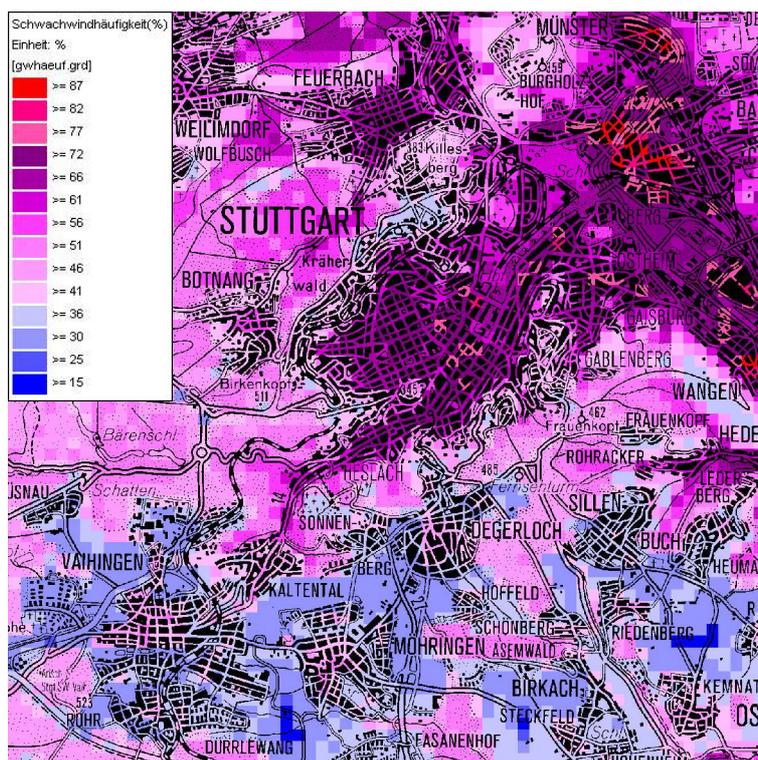


Abbildung 18 Schwachwindhäufigkeit in Stuttgart

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Die Windverhältnisse einer Stadt werden durch die Bebauung hinsichtlich Windrichtung als auch Windgeschwindigkeit verändert. Die Geschwindigkeit ist gegenüber dem Umland um 10 – 30 % reduziert, die Turbulenz der Luftmassen in vertikaler Richtung erhöht. Dies ist auf die erhöhte Rauigkeit, die sich aus den Gebäudehöhen bedingt, zurückzuführen und in locker bebauten, von höheren Vegetationsanteilen durchsetzten Stadtgebieten nicht so stark ausgeprägt (HORBERT 2000, S.43).

Nach Untersuchungen zum Luftreinhalteplan Stuttgart 1990, ergab das Errechnen synthetischer Windrosen für das Innenstadtgebiet südlich bis westliche Windrichtungen und talparallele Richtungen im Neckartal. Die Hochfläche der Fildern zeigen eine relativ einheitliche, der Süddeutschland entsprechenden, südwestliche Richtungsverteilung. Die in LANDESHAUPTSTADT STUTTGART (1996, S.38) berechneten Windfeldmodelle zeigen deutlich höhere Windgeschwindigkeiten in offenen höhergelegenen Gebieten (z. B. Filder) und im Bereich von Bergrücken und Kuppen (z. B. Frauenkopf). Im Gegensatz zu den Tälern wie das Nesenbachtal, das Neckartal oder das Feuerbacher Tal, die zusätzlich noch bebaut sind, in denen niedrigere Windgeschwindigkeiten herrschen. Für die Belüftung des Innenstadtgebiets ist die kanalisierende Wirkung der Täler (v. a. das in Hauptwindrichtung liegende Nesenbachtal) positiv, da sie die Windgeschwindigkeit bei einer Anströmung von weniger als 45 Grad zur Talachse erhöhen. Bei senkrechten Richtungen tritt keine Kanalisierung, sondern eine deutliche Verringerung der Windgeschwindigkeit auf.

In den Berechnungen zur Schwachwindhäufigkeit zeigt die Karte (Abb. 15): Auf den Freiflächen um Vaihingen und Möhringen mit einem Anteil von nur 30 %, im tiefergelegenen Kaltental nehmen die schwachen Windströmungen bereits auf knapp 50 % zu, der Stuttgarter

Talkessel weist mit 70 %, im Maximum mit über 80 % sehr hohe Häufigkeiten auf. Hier zeichnet sich deutlich die Orographie aber auch die Bebauungsdichte der Stadt ab. Im Vergleich dazu treten die weniger dicht besiedelten Hanglagen und die Randhöhen des Kessels mit über 40 % deutlich heraus, hier zeigt sich die Ausbildung lokaler Zirkulationssysteme (s. 1.4.1.4.3 Kaltluft).

Die grundsätzliche Windarmut Stuttgarts wirkt sich negativ auf die Durchmischung der Atmosphäre und der damit verbundenen Verdünnung der Schadstoffkonzentration der Stadtluft aus. Vor allem im Winter bei windschwachen Wetterlagen (z. B. bei anhaltendem Hochdruckeinfluss), wenn der vertikale Luftaustausch stark behindert ist, handelt es sich um eine austauscharme Wetterlage. Zur Frischluftzufuhr sind dann lokale Windsysteme von Bedeutung.

1.4.1.5.1 Konvektion

Freie Konvektion, auch thermische Turbulenz genannt, wird durch Energiezufuhr v. a. in Bodennähe (z. B. Erdboden, erwärmte Baumassen etc.) verursacht. Ein vom (bebauten) Boden ausgehender Strom fühlbarer Wärme bedingt die Erwärmung der darüber liegenden Luftschichten mit dem Resultat von auf- und absteigenden Luftmassen, die einen Luftaustausch bewirken. Diese Art turbulenten Austausches ist direkt von der Aufheizung und Energieabgabe des Erdbodens abhängig (HELBIG et al. 1999, S.57).

Durch die unterschiedlichen Verhältnisse von Ein- und Ausstrahlung, die wiederum abhängig von Bewölkungsart und -dichte sind, weist die Konvektion einen deutlichen Tagesgang auf. In Konvektionszellen organisieren sich die Auf- und Abwärtsbewegungen in einer labilen Atmosphäre: Ein konstanter Strom fühlbarer Wärme erwärmt ein bodennahes Luftpaket, die erwärmte Luft erreicht einen kritischen Auftriebswert und steigt auf, kühlere Luft strömt nach und ersetzt die aufsteigende Luft, der Vorgang wiederholt sich.

In Stadtgebieten gemessene Vertikalgeschwindigkeiten können bei gut ausgeprägter Konvektion Werte im Bereich der Horizontalwindgeschwindigkeit erreichen. Thermische Turbulenz kann durch die damit verursachte starke Vermischung bodennaher Luftmassen mit höherliegenden Luftschichten für die Luftqualität wesentliche Bedeutung bekommen. Der Tagesgang der Luftschadstoffkonzentration zeigt deren Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, da bei starker Turbulenz mittags und nachmittags durch Konvektion, die zu diesem Zeitpunkt am ausgeprägtesten auftritt, geringere Werte verzeichnet werden, als morgens und abends bei der strahlungsbedingten geringeren Turbulenz (HELBIG et al. 1999, S.58f).

1.4.1.5.2 Flurwind

Flurwinde bilden sich durch die unterschiedlichen Temperaturverhältnisse zwischen dem Stadtgebiet und dem unbebauten Umland aus. Durch das Aufsteigen der durch Konvektion erwärmten Luftmassen über der Stadt strömt kühlere, schadstoffärmere Luft aus der Um-

gebung nach, die warme Stadtluft kann sich über den kühleren Flächen des Umlands wieder abkühlen und sinkt ab, es entsteht eine regionale Luftzirkulation (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004). Dieses Phänomen ist hauptsächlich für Stadtgebiete in der Ebene von Bedeutung, mit Zunahme der Reliefenergie treten Tal- und Hangabwindssysteme immer mehr in den Vordergrund, thermische Austauschströmungen nehmen demgegenüber an Bedeutung ab (MOSIMANN et al. 1999, S.254). Die durch den Einfluss der Orographie in gegliedertem Gelände auftretenden lokalen Windsysteme sind dabei wesentlich stärker ausgeprägt als Flurwindssysteme (VDI 2003, S.20).

1.4.1.5.3 Kaltluft

Zu den Windsystemen, die sich auf Grund der Topographie ausbilden, gehören die Hangwinde und Berg- und Talwinde, die vor allem bei Städten in Kessellagen wie Stuttgart von Bedeutung sind. Kleinräumige Vorgänge des Hangabwindes werden als Kaltluftabfluss bezeichnet. Auf Grund des großen Druckgefälles, der Hangneigung und des Höhenunterschieds werden Hangabwinde bis 2,5 m/s hauptsächlich im Gebirge erreicht. Die Kaltluft in Stuttgart strömt mit einer maximalen Geschwindigkeit von ca. 1,4 m/s aufgrund der großen Neigung vom Frauenkopf in den Talkessel (BAUMÜLLER 2004).

Kaltluft bildet sich in einer Strahlungsnacht ($< 4/8$ Bewölkung und einer Windgeschwindigkeit $< 1,5$ m/s) auf schlecht wärmeleitfähigen Oberflächen. Durch den unterbrochenen oder eingeschränkten Bodenwärmestrom kühlt die bodennahe Luftschicht durch die Ausstrahlung ab. Die mangelnde vertikale Durchmischung führt zu einer bodennahen Kaltluftschicht. Im gegliederten Gelände fließt die Kaltluft wegen ihrer höheren Dichte im Vergleich zur wärmeren Luft langsam die Hänge hinunter und sammelt sich in den Tallagen als Kaltluftsee. Bei Geländeerhebungen die oberhalb aus diesem Kaltluftsammlergebiet herausragen, kann es 5 K wärmer sein, als am Grund des Kaltluftsees. Die Frostgefahr ist dort erheblich verringert und wird als warme Hangzone bezeichnet. Diese wird durch kleinräumige Zirkulationen am Hang gebildet, die beim Abfließen der Kaltluft immer wieder warme Luft, die zwischen den Talwänden lagert an den Hang heranzuführen (HÄCKEL 1999, S.315f).

HAMM (1969, S.80) hat diesen Effekt durch nächtliche Messfahrten im Kaltental belegt: Über dem Tal herrschten Temperaturen von 13 °C und weniger, weiter hangabwärts stiegen sie auf 15 °C an, um dann am Talboden auf 13 – 11,5 °C abzusinken.

Der Einfluss der Kaltluft in das Stadtgebiet wird hauptsächlich durch die stark diffe-

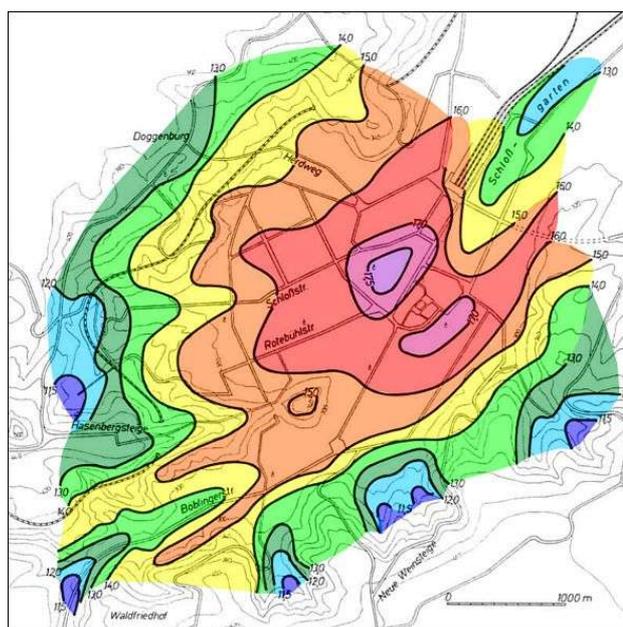


Abbildung 19 Temperaturdifferenzen im Stuttgarter Talkessel im Sommer um 6.00 Uhr

Quelle: HAMM 1969

renzierte Orographie begünstigt. Auf den unbebauten Flächen der Filderebene und den Randhöhen bildet sich Kaltluft, die als Hangabwind eine entscheidende Rolle für die Kühlung und Belüftung der tiefer gelegenen Stuttgarter Innenstadt spielt. Aufgrund der überwärmten Baumassen der Stadt kommt es im Talgrund Stuttgarts nicht zu einem nachteiligen Kaltluftstau, mehr zu einer gewünschten Frischluftversorgung (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

Der hangabwärts fließende Luftstrom kann durch Hindernisse wie Gebäude, Hecken, Mauern, Eisenbahn- und Straßendämme, die quer zur Strömungsrichtung stehen, aufgestaut werden. Nach KING (1973), der Messungen an einem Kaltluftstauzaun durchführte, reichen bereits relativ schmale Durchlässe von 10 m Breite an einem Hindernis um den Durchfluss der aufgestauten Kaltluft zu ermöglichen und sich mehrere Öffnungen günstiger auswirken als eine große Öffnung. Da die Messungen für die Strömungen einer Talsohle durchgeführt wurden, sind sie "mit entsprechender Vorsicht" auf die Hangsituation übertragbar (in BAUMÜLLER 1974, S.48).

Kaltluftentstehungsgebiete werden planerisch aus den Kammlinien der Höhenschichtenkarten abgeleitet. Sie grenzen ähnlich wie die Wasserscheiden für Flusseinzugsgebiete die Kaltlufteinzugsgebiete untereinander ab und zeigt die theoretische Richtung der Kaltluftabflüsse hangabwärts in das tiefer gelegene Gelände (für die Stuttgart Innenstadt s. Karte 1 und 2 im Anhang). In Richtung des Gefälles werden somit auch die auftretenden Lokalwinde (Hang- und Talabwinde) aufgezeigt (SCHIRMER 1996, S.43f). Nach den Geländeformen zeigen sich Tieflagen oder Rinnen, wie die Klingen der Stuttgarter Hänge als bevorzugte Sammel- und Abflussflächen für die gebildete Kaltluft.

Abbildung 20 zeigt die Kaltluftentstehungsgebiete Stuttgarts, die sich hauptsächlich auf den landwirtschaftlich geprägten Flächen der Fildern über der Stadt befinden. Nach LANDESHAUPTSTADT STUTTGART (1996, S.19) liegen vor allem im Bereich Möhringen, Kaltental, in der Umgebung des Fernsehturms sowie nordwestlich des Kessels im Bereich Heukopf, Birkenkopf und

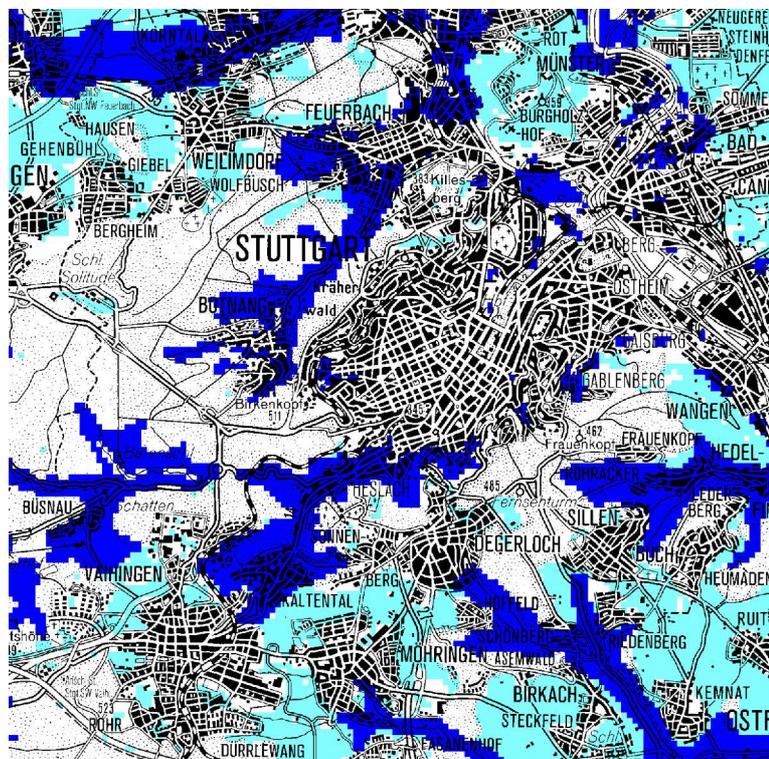


Abbildung 20 Kaltluftgebiete im Stadtgebiet Stuttgart

Kaltlufteinzugsgebiete (hellblau) -
Kaltluftabflussbahnen (dunkelblau)

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Gerlinger Kopf die Kaltluftentstehungsgebiete mit Einfluss auf die Stuttgarter Bucht. Hell dargestellt sind die Kaltlufteinzugsgebiete, dunkel die tiefer liegenden Kaltluftsammlergebiete in die die Luft abfließt. Deutlich sichtbar wird dabei, das Nesenbachtal als Hauptbelüftungsachse für den Stadtkessels.

Das relative Kaltluftvolumen und deren Abflussrichtung zeigt Abbildung 21. Dargestellt sind die für die Belüftung in Bodennähe relevanten Messwerte des Abflusses in 0 - 15 m über dem Gelände. In diesen Höhen kommt der Stadtbevölkerung die Frischluftzufuhr zugute, aber hier haben auch die Störungen einer Abflussbahn durch Hindernisse ihr größtes Ausmaß. Nach LANDESHAUPTSTADT STUTTGART (1996, S.25) kann im Bereich der Karlshöhe im Nesenbachtal mit einem stündlichen Kaltluftabfluss von $100 \text{ m}^3/\text{sm}$ gerechnet werden, der größte Anteil der Volumenstromdichte fließt dabei in einer Höhe von 0-35 m ab. Der sogenannte "Nesenbacher" stellt somit den größten Teil des kühlenden Frischluftstroms für die Innenstadt dar.

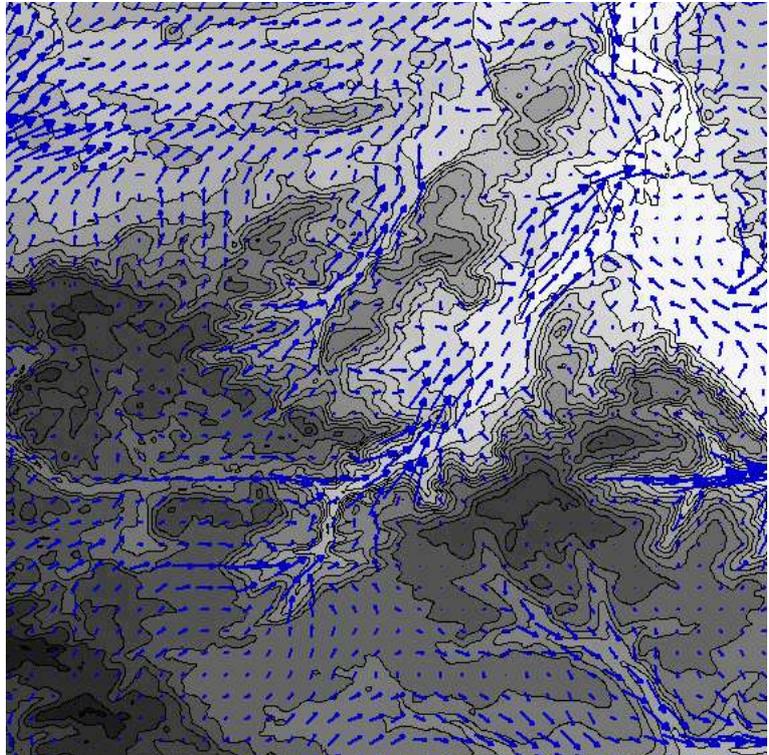


Abbildung 21 Kaltluftvolumenstrom in 0-15 m Höhe

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Da die Kaltluft auf ihrem Weg vom Untergrund beeinflusst wird, ist zu beachten, dass die Qualität der Luft durch Emittenten in ihrer Abflussbahn stark beeinträchtigt wird. Die Funktion der Frischluftzufuhr kann somit nur gewährleistet werden, wenn die Bahnen durchgängig in ausreichendem Abstand von Emittenten und größeren warmen Oberflächen, die die Temperatur der Luft erhöhen, freigehalten werden (s. Kapitel 3.1.2).

Da die Kaltluft auf ihrem Weg vom Untergrund beeinflusst wird, ist zu beachten, dass die Qualität der Luft durch Emittenten in ihrer Abflussbahn stark beeinträchtigt wird. Die Funktion der Frischluftzufuhr kann somit nur gewährleistet werden, wenn die Bahnen durchgängig in ausreichendem Abstand von Emittenten und größeren warmen Oberflächen, die die Temperatur der Luft erhöhen, freigehalten werden (s. Kapitel 3.1.2).

Interessant sind dazu die Untersuchungen zu den Kaltluftverlusten die durch die Bebauung des Stadtkessels auftreten und in Kapitel 1.4.4.1.1 erläutert werden.

Die landwirtschaftlich geprägten Flächen der Fildern, haben ein großes Potenzial für die Kaltluftentstehung. Neben der Hauptbelüftungsachse des Talkessels, das Nesenbachtal ermöglichen auch die unbebauten Klingen und Taleinschnitte und die Freiflächen der locker bebauten Hänge Kaltluftproduktion und -abfluss in das Innenstadtgebiet. Dies wird dadurch belegt, dass trotz fehlender "klassischer" Kaltluftentstehungsgebiete wie Äcker oder Wiesen oberhalb oder an den Hängen, trotzdem ein Kaltluftabfluss nachgewiesen werden kann. Die Kaltluft dient zur Lufterneuerung v. a. bei Inversionswetterlagen und re-

duziert die nächtliche Überwärmung des dicht bebauten Stadtkessels. Die Erhaltung dieses lokalen Windsystems hat für Stuttgart auf Grund seiner Orographie eine große Bedeutung. Nicht nur das Freihalten der Abflussbahnen an den Hängen, sondern auch die Kaltluftentstehungsgebiete über der Stadt gilt es langfristig zu sichern (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2004) (s. a. 1.4.2.3 Luftzirkulationen am Hang).

1.4.1.5.4 lokale Windströmungen und Verwirbelungen

Neben topographischen Windsystemen bilden sich auch innerhalb der städtischen Bebauung charakteristische Windströmungen aus. Durch Wirbelbildung an hohen Gebäuden oder Düsenwirkung von Straßenschluchten kann die Böigkeit zunehmen, dies führt zu Zugescheinungen und Nutzungseinschränkungen. Die Störung des Windfeldes kann bis zu einer Entfernung, die der zehnfachen Gebäudehöhe entspricht nachgewiesen werden. Bei zu enger Bauweise bleiben die Luftverunreinigungen zwischen den Häuserzeilen, Schadstoffe aus Schornsteinen können bei einer ungünstigen Platzierung bis in Bodennähe verwirbelt werden (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM B.-W. 1998, S.27).

In einer Untersuchung in Chicago haben DE PAUL u. SHEIH 1986 (in FEZER 1994, S.93) festgestellt, dass in der Windströmung bei einer Windgeschwindigkeit von $> 4,5$ m/s ein Sekundärwirbel im unteren Drittel der Gebäude entsteht, in welchem die Schadstoffe zwar verteilt, aber nicht entfernt werden. Diese Erkenntnisse sind im Besonderen im Städtebau zu berücksichtigen, wenn in einem mit gleichartigen Häusern bebauten Viertel abrupt durch ein höheres Gebäude unterbrochen wird und damit für Verwirbelungen anfällig ist. Bei der Planung größerer Quartiere wird aus diesem Grunde häufig das Verhalten des Modells im Windkanal geprüft (vgl. Untersuchungen zu den Planungen Stuttgart 21).

1.4.1.6 Verdunstung

Eine weitere im Stadtklima erheblich beeinträchtigte Größe stellt die Verdunstung dar. Da große Flächen in der Stadt vollständig versiegelt sind und ihre Entwässerung rasch durch die Zuleitung in die Kanalisation erfolgt, kann die Verdunstungskühlung kaum zum Tragen kommen. Für eine höhere Verdunstung ist u. a. ein größerer Grünanteil in den Städten notwendig, die Verdunstung benötigt in Pflanzendecken im Hochsommer zwischen 60% und 90 % der Strahlungsenergie (HÄCKEL 1999, S.330).

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Oberflächenversiegelung und Temperaturanstieg haben ergeben, dass innerhalb eines Baugebiets der Anstieg des Versiegelungsgrads um je 10 % die Temperatur um jeweils 0,2 K im Vergleich zum unbebauten Umland ansteigt. Bei Strahlungswetterlagen erhöht sich das Temperaturmaximum um ca. 0,3 K, die nächtliche Abkühlung, sprich das Temperaturminimum um 0,5 - 0,6 K (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Im gesamten Stadtgebiet Stuttgart stellen die begrünten Flächen, einschließlich privater Freiflächen, noch einen Anteil von über 60 %. Dennoch ist besonders der dicht besiedelte Stadtkern von der Überwärmung betroffen, hier haben die innerstädtischen Grünanlagen

nur einen Anteil von 7,4 %.

Nach FITGER & MAHLER (1996, S.72) weisen Freiflächen mit weniger als 2 ha ein Eigenklima innerhalb der Siedlung auf, Flächen > 2 ha können je nach Struktur, Versiegelungsgrad und Windrichtung eine Fernwirkung bis zu 150 m haben, dennoch sind die klimatischen Auswirkungen auf die umliegende Bebauung der einzelnen Grünflächen differenziert zu betrachten.

Für Stuttgart hat HAMM bei nächtlichen Temperaturmessfahrten im Sommer 1965 (1969, S.73 s. Abb. 16) um 6.00 Uhr morgens Temperaturdifferenzen zwischen dem Hauptbahnhof und dem mittleren Schlossgarten von 2 – 3 K gemessen. Auch neuere Untersuchungen mittels der Simulation des urbanen Klimamodells MUKLIMO_3 durch den Deutschen Wetterdienst zur Planung des Städtebauprojekts Stuttgart 21 haben gezeigt, dass die Temperaturen der Grünflächen im Sommer um 21 Uhr 3 – 6 K niedriger liegen als ihre Umgebung. Der kühlende Effekt konnte bei Simulationen für 15 Uhr nicht so deutlich nachgewiesen werden, hier lagen die Differenzen im Kernbereich der Grünanlagen maximal bei 1,5 – 2 K unter der Umgebungstemperatur. Die tiefsten Temperaturen haben sich bei dieser Simulation für die umliegenden Höhen wie dem Kriegsberg ergeben, auf denen der bodennahe Wind relativ ungestört wehen kann und damit kühlende Wirkung hat (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2001, Abb. 7bf).

Der Wärmeinseleffekt der Stadt und die herrschende Windarmut hat somit auch Einfluss auf die mit Bauwerken umstandenen städtischen Grünflächen. Die kühleren Oberflächen haben in Stuttgart nachweislich kaum ausgleichenden Einfluss auf die umliegende Bebauung, bieten aber ein gemildertes Mikroklima für die wohnungsnahe Erholung der Innenstadtbewohner, verhindern die Ausdehnung der städtischen Wärmeinsel und können bei entsprechender Anordnung und Gestaltung die Funktion einer Luftleitbahn vor allem für die nächtlichen Kaltluftflüsse übernehmen (s. a. 1.4.4.2 Vegetationsflächen).

1.4.1.7 Nebel und Wolkenbildung

Nebel entsteht, wenn in Bodennähe wasserdampfhaltige Luft bis zum Sättigungspunkt abkühlt, so dass der Wasserdampf zu Tröpfchen kondensieren kann. Unter Nebel versteht man also Wolken, die dem Erdboden aufliegen und in einem starken Rückgang der Sichtweite erkennbar werden. Nebel wird durch einen Grenzwert der Sichtweite definiert, Sichtweiten unter 1000 m bezeichnet man als Nebel, Sichtweiten von 1 km bis 8 km als Dunst. Häufig weisen eng benachbarte Orte größere Unterschiede in der Nebelhäufigkeit und -struktur auf, was in klarer Abhängigkeit zur Oberflächengestalt steht. Differenziert werden dabei die unterschiedlichen Nebelarten:

Strahlungsnebel entsteht durch die nächtliche Abkühlung der bodennahen Luftschicht bei wolkenarmen Wetterlagen. Bei Erreichung des Taupunktes setzt Kondensation und Nebelbildung ein. Häufig stellt sich zunächst flacher Boden- oder Wiesennebel ein, der dann, vor allem im Herbst und Winter, an Höhe zunimmt. Da er überwiegend in Flussniederungen und Tälern auftritt bezeichnet man ihn auch als Talnebel (KALB & SCHIRMER

1992, S.6).

Strahlungsnebel ist im Stuttgarter Becken am häufigsten verbreitet, KALB & SCHIRMER (1992, S.6) ziehen die Grenze hier an dem Übergang zur Filderebene, die großräumig als nebelarme Hangzone klassifiziert ist und damit zwischen der Obergrenze des Talnebels und der Untergrenze des Hochnebels liegt.

Kaltluftentstehung und -abfluss stehen in enger Verbindung mit der Bildung von Strahlungsnebel, da beide Phänomene bei derselben Wetterlage auftreten. Talnebel entsteht bei der Abkühlung der untersten Luftschicht und ist damit eine besondere Erscheinungsform der lokalen Kaltluft. Talnebel stellt sich durchschnittlich an etwa 30 bis 70 Tagen jährlich ein und hat damit ein deutlich geringeres Auftreten als lokale Kaltluft, die sich an etwa 250 Tagen jährlich bildet (SCHIRMER 1996, S.39). Damit wird die Entstehung von Kaltluft an ca. 20 % der Tage durch den Talnebel sichtbar gemacht, in den anderen Fällen reicht die Feuchtezunahme nur zur Dunstbildung.

Hochnebel bildet sich ebenfalls durch Ausstrahlung, jedoch an den dunstreichen Obergrenzen der Inversionen (s. 1.4.3), es handelt sich oft auch um Bodennebel, der sich durch Turbulenz vom Boden abhebt. Je nach Höhe sind dann Täler und Becken nebelfrei, dagegen werden die Kammlagen der Gebirge im Herbst und Winter mit eingehüllt.

Problematisch zeigen sich in Stuttgart Situationen bei denen langanhaltender Hochnebel den Kesselrand bedeckt und damit eine Frischluftzufuhr und die Verteilung der Emissionen behindert und somit die Luftqualität deutliche Mängel aufweist. Allgemein ist die Konzentration von Luftbeimengungen im Hochnebel (feuchte Deposition) größer als im fallenden Niederschlag (nasse Deposition), sie erreicht z.T. etwa das 10fache der Konzentration des Regenwassers (KALB & SCHIRMER 1992, S.7).

Wolkennebel tritt hauptsächlich in höheren Gebirgen auf, der meist mit höheren Windgeschwindigkeiten und Niederschlag verbunden ist.

Neben den von der Topographie geprägten Strahlungsnebeln gibt es auch noch Advektions- und Mischungsnebel, die keine regionalen Strukturen erkennen lassen (KALB & SCHIRMER 1992, S.6).

Laut der Kartierung von KALB & SCHIRMER 1992 liegt die mittlere Anzahl der gesamten jährlichen Nebeltage im Neckartal bei mehr als 100 Tagen mit überwiegend Talnebel. Die Stuttgarter Bucht weist 70 - 100 Nebeltage auf, die Fildern 15 - 30, wobei sich hier deutlich die Täler der Körsch und Glerns als Kaltluftammelgebiete mit 30 - 50 Tagen abzeichnen.

Die Verteilung der Nebelhäufigkeit nach Jahreszeiten zeigt eine Höhenabhängigkeit. Die geringsten Werte werden im Sommer in den Hanglagen von Weinstraße und Rheingau und im Frühjahr in den größeren Alpentälern erreicht. Deutschlandweit liegt das Minimum an Nebeltagen im Sommer und Frühjahr, davon werden die höchsten Werte in den Höhenlagen der Mittelgebirge (Schwarzwald mit mehr als 60 Tage) und in den Alpen (Zugspitze mit mehr als 80 Tagen) erreicht. Zum Herbst hin steigt die Nebelhäufigkeit verbreitet an, der Bereich mit mehr als 20 Nebeltagen dehnt sich im Herbst auf weite Teile des östlichen

Niedersachsens, Nordrhein-Westfalen und Hessens, sowie Südbaden-Württemberg (mit Ausnahme des Oberrheintals), Süd- und Ostbayerns aus (KALB & SCHIRMER 1992, S.8f). In Stuttgart (gemessen am Wetteramt) liegt die Jahresverteilung (langjähriges Mittel 1951 - 80) bei für Stuttgart durchschnittlichen Werten im Frühjahr, einem Minimum im Sommer und ab August deutlich ansteigend mit Maximalwerten von Oktober bis Dezember. Im Vergleich liegt Stuttgart im Jahresverlauf ähnlich wie München, Ulm und Karlsruhe, die jedoch eine deutlichere Spitze im Herbst verzeichnen. Außerdem wurden in Stuttgart weniger Nebeltage registriert (KALB & SCHIRMER 1992, S.11).

Die Wolken- und Niederschlagsbildung in der Atmosphäre setzt einen hinreichenden Wasserdampfgehalt der Luft voraus. Über Städten tritt hauptsächlich eine adiabatische Abkühlung der Luftmassen durch thermische Konvektion über den erwärmten Siedlungen und damit eine Kondensation von Wasserdampf auf, wenn Kondensationskerne vorhanden sind (HELBIG et al. 1999, S.117). Die Aerosole und Luftbeimengungen in der Stadt stellen Kondensationskerne dar, an denen sich Feuchtigkeit niederschlägt was zu einer vermehrten Nebel- und Wolkenbildung führt. Durch strengere gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung und einer stetigen technischen Verbesserung der Feuerungsanlagen und der Kraftfahrzeuge, geht die Häufigkeit und die Intensität der Nebeltage in den Städten im Vergleich zu früheren Jahrzehnten zurück. Die Wirkung der Emissionen wird vom Faktor Wärmeinsel übertroffen, so dass der Wasserdampf später und seltener in Form von Nebel kondensiert. Tagsüber führen die aufgeheizten Dach- und Straßenflächen zu einem früheren und höheren Aufsteigen der Luft. Die Aufwinde kommen dann in kühlere Schichten, wo die relative Feuchte auf 110 % ansteigt und die Kondensation zu Haufenwolken beginnt. Die Wolken über der Stadt enthalten dreimal so viele kleine Tröpfchen wie außerhalb, sie setzen schon in geringerer Höhe über Grund an und reichen gleichzeitig höher hinauf (FEZER 1995, S.72f). Ihre Dynamik führt leichter zu Niederschlag als über ländlichen Flächen.

1.4.2 klimatische Besonderheiten der Hanglagen

Durch die Topographie unterliegen die Klimaelemente bestimmten Einflussfaktoren und Modifikationen. Wie bereits im Kapitel 1.4.1 dargestellt, ist das Klima einer Stadt durch die anthropogenen Veränderungen stark geprägt, in Stuttgart wird das Stadtklima aber noch zusätzlich durch die besondere Orographie beeinflusst und auch die geländeklimatischen Besonderheiten die sich in Hang- und Beckenlagen ausbilden, kommen zum Tragen. Hinsichtlich der Nutzung der Hanglagen, aber auch aufgrund ihrer Funktion für die klimatischen Verhältnisse im Stuttgarter Talkessel, werden im Folgenden die besonderen Strahlungs- und Temperaturverhältnisse, die sich lokal ausbildenden Luftzirkulationen und die lufthygienische Situation der Hanglagen dargestellt.

1.4.2.1 Strahlungsverhältnisse am Hang

Besonders unter siedlungshygienischen Gesichtspunkten, ist die Belichtung ein entscheidender Planungsfaktor, der an den Hängen mit unterschiedlicher Exposition berücksichtigt werden muss. Energetisch effiziente Bauweisen, z.B. bei Passivhäusern oder der Nutzung von Sonnenkollektoren berücksichtigen ebenfalls Hangneigung und -orientierung, mit dem Ziel die einfallende Strahlung maximal zu nutzen.

Die Sonne hält sich in den nördlichen Breiten überwiegend in der südlichen Hälfte des Himmels auf. Insbesondere im Winter sind die steileren Südlagen somit die Hauptnutznießer der einfallenden Sonnenstrahlung, während nach Norden der Energiegewinn mit wachsendem Neigungswinkel sehr schnell abnimmt. Im Sommer ist der Strahlungsgenuss in Nord- und Südexposition ähnlich (Süd 500 W/m², Nord 425 – 450 W/m²), aufgrund des hohen Sonnenstandes werden diese Werte in der Ebene und bei wenig geneigten Flächen (10° - 20°) erreicht, mit wachsendem Gefälle geht der Strahlungsgenuß dann jedoch rasch zurück. Auch die Ost- und Westhänge erhalten im Sommer große Energiemengen, weil die Sonne in den Morgen- und Abendstunden schon bzw. noch recht hoch am Himmel steht. Die höchsten Jahressummen erhalten Südhänge mit etwa 45° Neigungswinkel (HÄCKEL 1999, S.303f).

Im Vergleich beläuft sich der durchschnittliche jährliche Strahlungsgenuss der Hanglagen Stuttgarts unter Berücksichtigung der Reduktion durch eine vermehrte Bewölkung im Stadtgebiet je nach Exposition auf bis zu 1500 kWh/m² an den Südhängen (Schenkenberg), an den Nordhängen (Gerlinger Kopf) bis zu 1050 kWh/m². In der Innenstadt beträgt die Gesamtstrahlung bis zu 1250 kWh/m². Besonders im Winterhalbjahr ist die Besonnung der Nordhänge mit 0 bis 5 kWh/m² deutlich eingeschränkt und muss bei der Flächennutzung zusätzlich berücksichtigt werden (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

Die Karte (Abb. 22) zeigt, dass die süd- und südostexponierten Hänge im Stuttgarter Westen und in Heschlach im Vergleich zu den nordexponierten Lagen von Stuttgart Wangen und die nach Nordwesten geneigten Hangzonen von Stuttgart Süd und Ost im Jahresmittel eine höhere Einstrahlung aufweisen.

Auch die langwellige Ausstrahlung wird im gegliederten Gelände zum Teil erheblich verändert. Bei Hängen in Beckenlage bildet nicht mehr ausschließlich das Himmelsgewölbe den oberen Halbraum. Die Topographie der Erdoberfläche und die Objekte der Umgebung (Bebauung) beeinflussen durch ihre eigene langwellige Ausstrahlung die Strahlungsbilanz des Geländes. Die Ausstrahlung der betreffenden Oberflächen ersetzen die atmosphärische Gegenstrahlung, da die Ausstrahlung der gasförmigen Atmosphäre immer geringer ist, als die gleichwertiger fester oder flüssiger Oberflächen. Somit ist die langwellige Zu- strahlung auf geneigten Flächen oder Wänden erhöht, bzw. ihre effektive Ausstrahlung verringert. Bei 10° geneigten Hängen liegt die Ausstrahlung bei über 98 % im Vergleich zur ebenen Fläche (nach DIRMHORN, 1964 in BAUMÜLLER, 1974). Dennoch ist bei der Bebau-

ung von Hängen zu berücksichtigen, dass der Ausstrahlungswinkel durch die Hauswände verringert ist und damit die Wärmeabstrahlung stärker reduziert wird. Zudem kommt, dass die überbauten Oberflächen durch die bessere Wärmespeicherkapazität, im allgemeinen höhere Temperaturen haben als die Umgebung, was die nächtliche Abkühlung noch weiter verringert (s. Wärmeinseleffekt Kapitel 1.4.1).

In engen Häuserschluchten verschwindet die nächtliche Ausstrahlung fast vollständig und eine Auskühlung in heißen Sommernächten ist somit kaum möglich (HÄCKEL 1999, S.310f).

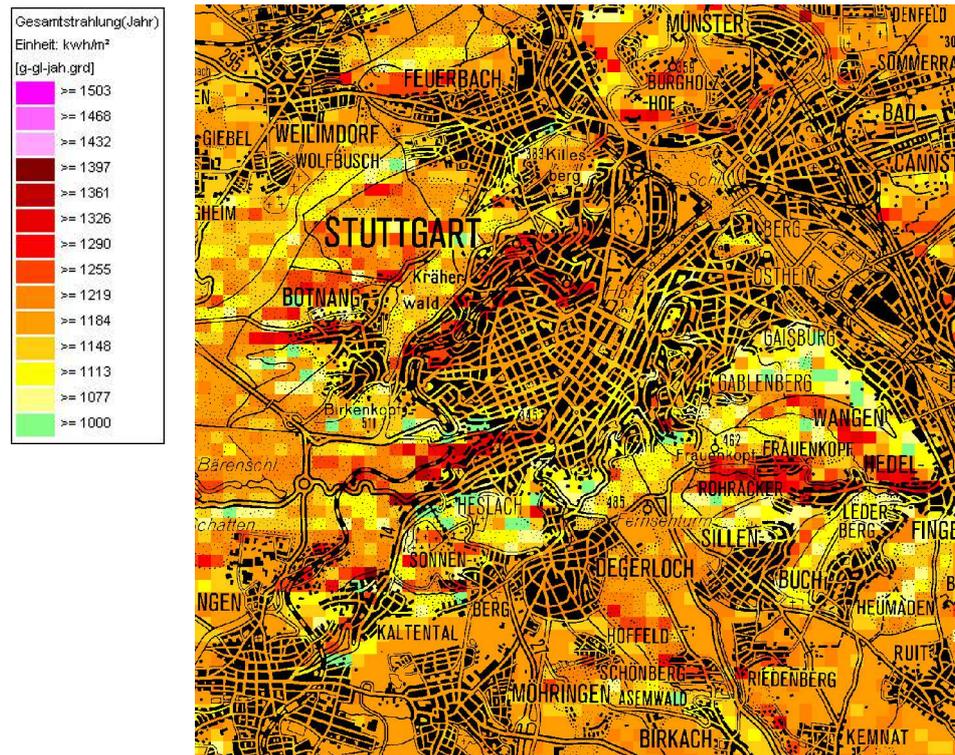


Abbildung 22 Mittel der jährlichen Gesamtstrahlung im Stadtgebiet

Quelle: BAUMÜLLER 2004

1.4.2.2 Temperaturen am Hang

Die Temperatur der bodennahen Luftschicht ergibt sich aus dem Energiehaushalt der Erdoberfläche. Die kleinräumige Verteilung der Tageshöchsttemperaturen ist hauptsächlich von der Exposition der Hänge und dem damit verbundenen Strahlungsgenuß (s. oben) und der Verdunstung an der Erdoberfläche abhängig.

Vormittags wird ein Teil der zugestrahlten Energie zur Verdunstung des in der Nacht gebildeten Taus und für den ausgekühlten Boden aufgewendet. Die Temperaturen erreichen erst am Nachmittag ihre Maximalwerte, wenn die Südwesthänge unter voller Sonnenbestrahlung stehen. Laut VOLZ 1984 (in HÄCKEL 1999) weichen die Temperaturen an den Hängen bis 10° Neigung nur wenige Kelvin von denen in der Ebene ab. Mit zunehmender Neigung werden jedoch die Temperaturunterschiede größer. Nach HAMM 1969 steigen die Temperaturen im Stuttgarter Talkessel allgemein von den Höhenrändern zum Stadtinneren hin an, am schnellsten an den Hängen und an ihrem Fuße. Da am Hang große

Höhenunterschiede auf kleinem Raum auftreten und die Bebauung stark einsetzt, nehmen die Temperaturen dicht an der unteren Hangzone am Innenstadtrand am deutlichsten zu, was die gemessene Temperaturerhöhung erklärt. Während sich an den Randhöhen Temperaturdifferenzen von bis zu 2,5 K nachweisen lassen, erfolgt die Temperaturzunahme im Stadttinneren nur noch allmählich, die Differenzen betragen nur noch 1 K.

Die nächtlichen Temperaturverhältnisse im gegliederten Gelände sind zunächst ebenfalls vom Energiehaushalt geprägt. Je geringer die Ausstrahlung ist und je mehr Wärme aus dem Boden zur Verfügung gestellt wird, um so höher bleiben die nächtlichen Temperaturen. Zusätzlich zum Energiehaushalt hat die Kaltluftbildung und der Kaltluftfluss am Hang eine entscheidende Auswirkung auf die nächtlichen Temperaturen.

1.4.2.3 Luftzirkulationen am Hang

Die Temperaturverhältnisse am Hang und der Gradient zwischen Siedlungsraum und Umland stellen im wesentlichen die Ursache für die Luftzirkulationen der Hänge dar. Durch die Erwärmung des bebauten Talkessels kommt es bei austauscharmen Wetterlagen, sprich nur geringen Geschwindigkeiten der überregionalen Windströmungen, tagsüber durch Konvektion der Luftmassen über der Stadt zu einem Hangaufwind, in Strahlungsnächten dagegen führt der Abfluss der kalten Luft der Hanglagen und aus den umliegenden Gebieten zu einem Hangabwind.

Am Vormittag werden die Hänge der Tal- und Beckenlagen durch die Einstrahlung, geringere Windgeschwindigkeit und den eingeschränkten Luftaustausch schneller erwärmt als die Randhöhen und produzieren hangaufwärts gerichtete Bewegungen, die in Stuttgart durch die im Tal liegenden wärmeren Baumassen noch zusätzlich unterstützt werden. Dadurch wird die Inversionsschicht angehoben und darunter eine Mischungsschicht ausgebildet. Abends und in der Nacht ist die Ausstrahlung der Hänge besonders groß und es kommt bei geringer Turbulenz in der Atmosphäre zu einer Stabilisierung der am Hang anliegenden Luft und zu einer Abwärtsbewegung der abgekühlten und damit auch schwereren Luft-

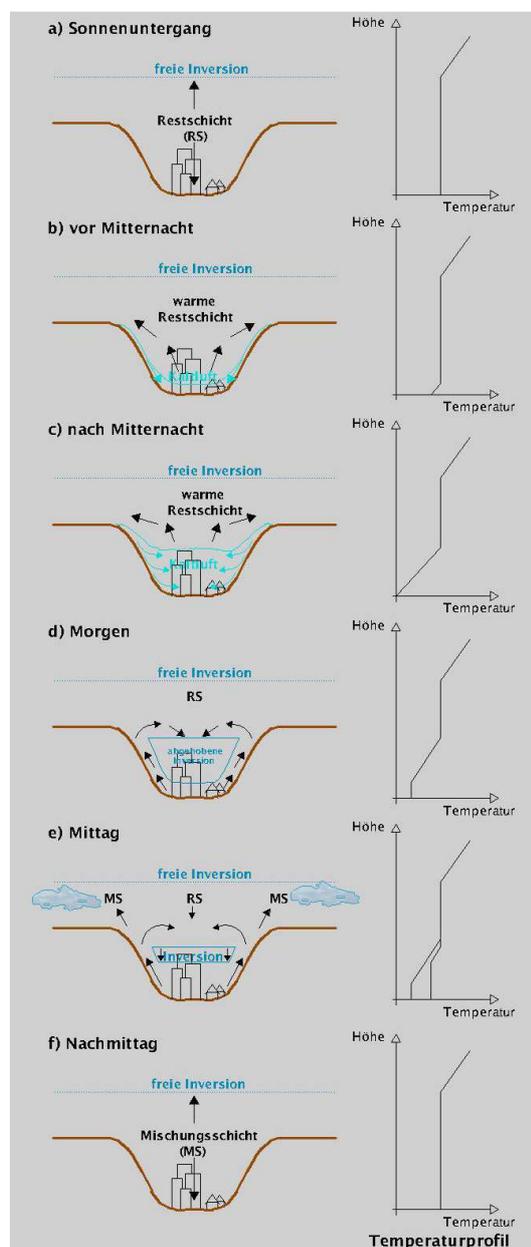


Abbildung 23 Schematische Darstellung der Berg-Talwind-Zirkulation

Quelle: FOKEN 2003, verändert

massen (HELBIG et al. 1999, S.108f). Die Strömungsgeschwindigkeit kann relativ hohe Werte erreichen, Untersuchungen in Stuttgart von FIEDLER (1984 in LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004) haben für die Hanglagen im Gebiet "Auf der Heide" maximale Windgeschwindigkeiten von 2 m/s in 10 m Höhe, verursacht durch ein thermisch induziertes Windsystem, dass ca. 50 m hinaufreicht gemessen. Der Effekt abfließender Kaltluft wird danach hauptsächlich in den Klingen deutlich. Klimaökologische Bedeutung als Ausgleichsströmung haben nach KRESS et al. (1979, S.55) Hangabwinde mit einem Mindestmassenstrom von $10^4 \text{ m}^3/\text{s}$.

ROBEL et al. (1978, S.179) beschreibt aufgrund der Infrarotuntersuchungen für das Stuttgarter Neckartal einen lokalen Luftaustausch über die Hänge hinweg mit der Talsohle. Die tief liegende Bebauung im Tal stellt eine Wärmequelle dar, die auch in den Nachtstunden eine Luftzirkulation aufrecht erhält und dadurch dem Anstau eines Kaltluftsees entgegenwirkt, aber durch den Kaltluftabfluss im Laufe der Nacht eine Abkühlung der Baumassen bewirkt wird. Die Hangpartien des Neckartals verhalten sich dabei, ähnlich wie die Hänge der Stuttgarter Innenstadt, relativ einheitlich. Eine starke Aufheizung ist tagsüber nicht gegeben und durch die Abflussbewegung der Kaltluft werden sie auch in der Nacht nicht deutlich abgekühlt.

Abbildung 24 zeigt den deutlichen Einfluss des Kaltluftabflusses auf die Windrichtung im Stuttgarter Talkessel. In den Nachtstunden dominiert die Richtung Südwest, die den Kaltluftstrom aus dem Nesenbachtal nachzeichnet.

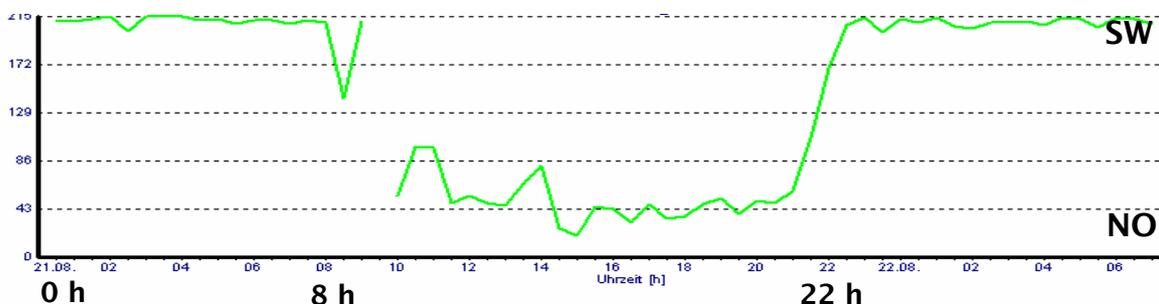


Abbildung 24 Windrichtungsverteilung Messstation Stuttgart Schwabenzentrum

Quelle: BAUMÜLLER 2005

Die Abbildung 25 zeigt außerdem als Beispiel die Windrose von Stuttgart Kaltental in dem der "Nesenbächer", der Kaltluftabfluss im Nesenbachtal, talparallel durch die Hauptwindrichtung aus SW nachgezeichnet wird. Dies stellt neben den lokalen und regionalen Zirkulationssystemen auch die überregionale Hauptwindrichtung dar und ist somit für die Belüftung des Stuttgarter Talkessel bei allen Wetterlagen die Hauptluftleitbahn (NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART 1992).

In den eingeschnittenen Klingen und Tälern der Kesselhänge, zeigen die Windrosen den Einfluss der Kaltluft, der die Windrichtung bestimmt und ihre Bedeutung für die Belüftung des Talgrunds in dem die Schwachwindhäufigkeit bei über 70 % liegt (BAUMÜLLER 2004).

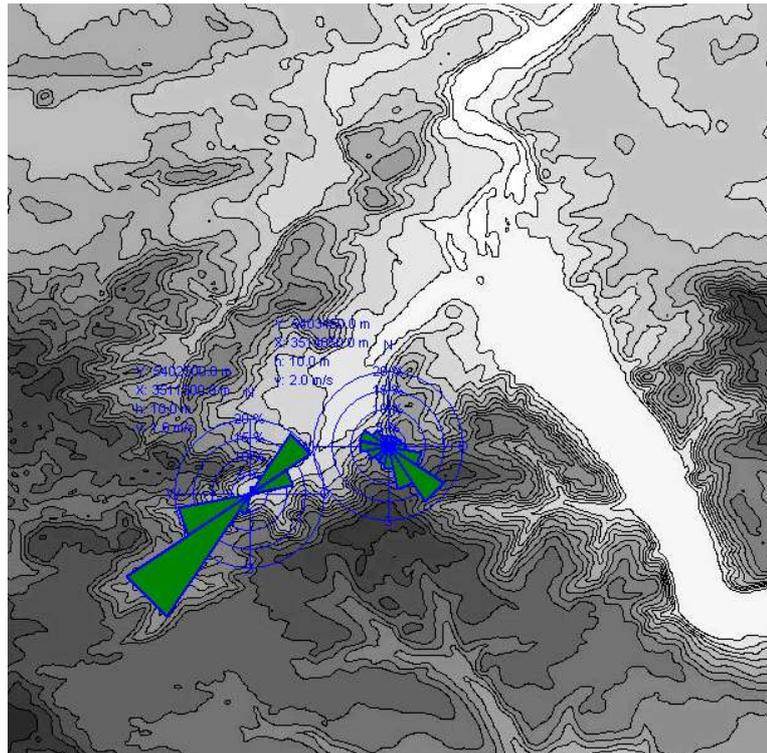


Abbildung 25 Synthetische Windrosen mit Berücksichtigung der Kaltluft im Stadtgebiet von Stuttgart

Quelle: BAUMÜLLER 2004

1.4.2.4 lufthygienische Situation am Hang

1969 wurde von HAMM (1969, S.124f) in seinen Untersuchungen zum Stadtklima von Stuttgart der Zusammenhang der Luftverunreinigungen in Abhängigkeit vom Relief durch Messfahrten nachgewiesen. Bei einer vergleichenden Betrachtung der SO_2 -Konzentration, gemessen am Stuttgarter Rathaus und in der Stafflenbergstraße (ehem. Sitz des Chem. Untersuchungsamtes) ist festgestellt worden, dass die SO_2 -Konzentration im Kesselinnern größer sind als die Konzentration am Hang, bis auf auf die Zeit zwischen 11 und 12 Uhr. Dies lässt sich über die im Laufe des Tages durch die Erwärmung der Luft auftretenden Hangaufwinde erklären, die die starke Luftverschmutzung der Innenstadt mit sich führt und den geringeren Anstieg der SO_2 -Konzentration am Rathaus und einer starken Zunahme in der Stafflenbergstraße erklärt. Am Vormittag werden die Verunreinigungen mit den Hangwinden aufwärts in die Wälder am Kesselrand transportiert und dort ausgefiltert. Der am Abend durch die Bewegung der Kaltluft entstehende Hangabwind aus den Wäldern und Grünanlagen der oberen Hangpartien, führt frische und saubere Luft dem Stadtkern zu. Die hohe SO_2 -Konzentration, die in den frühen Abendstunden am Rathaus gemessen wurde erklärt HAMM damit, dass sich die Schadgase der Hänge durch die einsetzende Luftbewegung zunächst im Talkessel sammeln. Im Laufe der Nacht strömt aber weiterhin Frischluft aus den oberen Hangpartien in die Innenstadt ein, die die Konzentration bis zu den frühen Morgenstunden minimiert. Diese Messergebnisse zeigen, wie wichtig diese lokalen Windsysteme für die Zufuhr von unbelasteter und kühler Luft in den belasteten

Stadtkessel ist, vor allem bei der in Stuttgart ohnehin vorherrschenden Wind- und der damit verbundenen Austauscharmut.

1.4.3 planungsrelevante Phänomene

Durch die Modifikation der einzelnen klimatischen Elemente in der Stadt und der besonderen orographischen Situation Stuttgarts wurden für die Bewertung des Schutzgut Klima im Planungsprozess Einzelelemente die die Belastung des menschlichen Siedlungsraums ausmachen zusammengefasst und können so die Basis für planerische Entscheidungen darstellen. Das Kapitel 1.4.3 stellt die für Stuttgart relevanten Phänomene der Inversionswetterlage über dem Talkessel, die lufthygienische Belastung in den einzelnen Stadtgebieten und die für das menschliche Wohlbefinden ausschlaggebende bioklimatische Situation heraus.

1.4.3.1 Inversion

Normalerweise erwartet man durch die in der Atmosphäre gegebene Druckabnahme mit der Höhe eine entsprechende Temperaturabnahme (ca. 1 K pro 100 m). Eine Inversion ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lufttemperatur mit der Höhe zu nimmt, z. B. durch die Überlagerung von Polarluft am Boden durch Warmluft bei winterlichen windschwachen Hochdruckwetterlagen. Durch die nächtliche Ausstrahlung kühlt die Bodenoberfläche und die darüber liegende Luft ab, durch die fehlende Turbulenz findet keine Durchmischung der warmen und kalten Schichten statt. Diese Bodeninversion kann durch die Einstrahlung am Vormittag aufgelöst oder abgehoben werden. In Ballungsräumen entsteht dabei meist eine abgehobene Inversion, die sich über mehrere Tage halten kann. Über einer bodennahen Durchmischungsschicht liegt eine stabile Inversionsschicht, Schadstoffemissionen reichern sich an, werden dabei nur noch in Bodennähe verteilt, lösen sich in den Wassertröpfchen des Nebels und bilden aggressive Säuren. Die Zufuhr von Frischluft in das Stadtgebiet ist damit nur noch durch lokale Zirkulationen wie den nächtlichen Kaltluftfluss möglich. Die Auflösung der Inversion erfolgt durch eine erhöhte atmosphärische Turbulenz, sprich höhere Windgeschwindigkeiten, die zu einer vertikalen Durchmischung der Luftschichten führt (HAMM 1969, S.113f).

Nächtliche (0 Uhr) bodennahe Inversionen bis 200 m haben in Stuttgart eine mittlere jährliche Häufigkeit von ca. 70 %, tagsüber (12 Uhr) liegt die Häufigkeit bei 40 % (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004). Inversionen bilden sich im Stadtgebiet Stuttgarts besonders deutlich aus, da die Kessellage die Effekte verstärkt. Im Winter halten sich diese Wetterlagen oft tagelang mit abgehobenen Inversionen über der Stadt, durch den mangelnden Zufuhr an Frischluft und das geringe Luftvolumen zur Durchmischung der Emissionen kommt es dabei zu hohen Luftbelastungen (Abb. 28).

Liegt die Inversionsuntergrenze zwischen 300 und 500 m Höhe, bleiben die Luftverunreinigungen im Talkessel eingeschlossen, auf den Höhenrändern legt sich die Inversionsspererschicht wie ein abschließender "Deckel" (HAMM 1969, S.115).

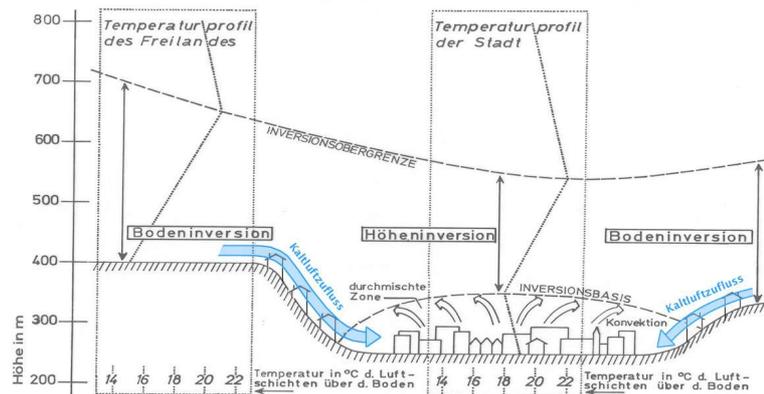


Abbildung 26 Skizze zur Veranschaulichung der Belüftung Stuttgarts während einer Strahlungsnacht

Quelle: ROBEL et al. 1978, verändert

1.4.3.2 Luftqualität

Besonders in Ballungsgebieten wird die Luftqualität zusätzlich durch die vermehrte Zahl an Emittenten beeinträchtigt. Hierzu zählen Hausbrand, Industrie, Kraftwerke und der Verkehr. Die Erfassung von Stickoxiden, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staub, Benzol und Ruß und bodennahem Ozon, dienen als Leitkomponente um die Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft zu ermitteln. In Stuttgart wird die Konzentration der Luftschadstoffe durch den Luftbelastungsindex für die mittlere jährliche Schadstoffbelastung in den einzelnen Stadtteilen verglichen: Die Werte schwanken im Mittel zwischen 0,3 (schwache Luftbelastung) und 0,65 (mäßige Luftbelastung). Davon sind insbesondere der Innenstadtkessel, die nördlichen Industrievororte und das Neckartal mit den großflächigen Industrieanlagen und Verbrennungsanlagen betroffen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

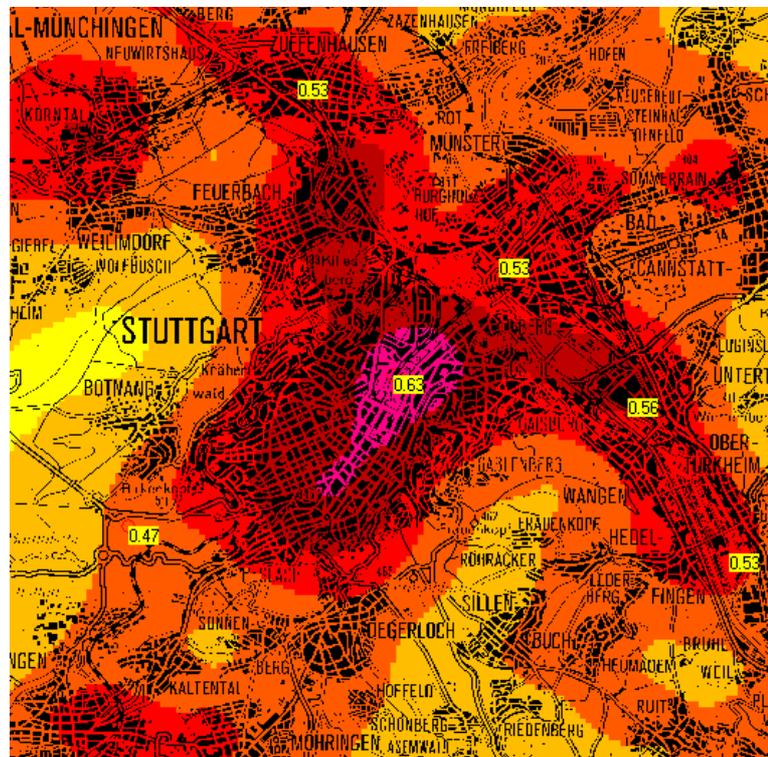


Abbildung 27 Luftbelastungsindex 1995/96 für das Stadtgebiet Stuttgart

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Die Karte (Abb. 27) zeigt den Luftbelastungsindex für das Stadtgebiet von 1995/96. Die Konzentration der Luftbeimengungen ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig, zur Verbesserung bzw. zur Erhaltung der Luftqualität müssen diese bei Planungen berücksichtigt werden. Die Lufttemperatur hat beispielsweise einen direkten Einfluss auf die

Heiztätigkeit der Stuttgarter. So sind die SO_2 -Emissionen, die hauptsächlich auf den Hausbrand zurückgeführt werden, einem Jahresgang unterworfen, eine Zunahme der Konzentrationen ist an den Heiztagen (Tagesmitteltemperaturen $< 15^\circ\text{C}$) messbar (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

Die vertikale Temperaturschichtung hat, wie bereits oben genannt, eine entscheidende Auswirkung auf den Luftaustausch, dadurch können Schadstoffe abtransportiert werden. Bildet sich aber im Stadtgebiet eine abgehobene Inversion, die vermehrt im Winter auftritt, kommt es gerade in der Heizperiode zu größeren Schadstoffkonzentrationen. Durch weitere Emissionen unterhalb der Inversionsschicht wird dies noch verstärkt.

In Folge einer mehrerer Tage anhaltenden Inversionswetterlage wurde am 15.12.04 die höchsten Schadstoffwerte des Jahres 2004 in Stuttgart gemessen. Der Luftbelastungsindex lag im Tagesdurchschnitt bei 0,7 (deutliche Luftbelastung), maximale Stundenwerte lagen bei 0,9 (starke Luftbelastung) im Vergleich dazu liegt der Mittelwert im Dezember bei 0,3 (geringe Luftbelastung) (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004, Messstation Schwabenzentrum, Amt für Umweltschutz Abteilung Stadtklimatologie).

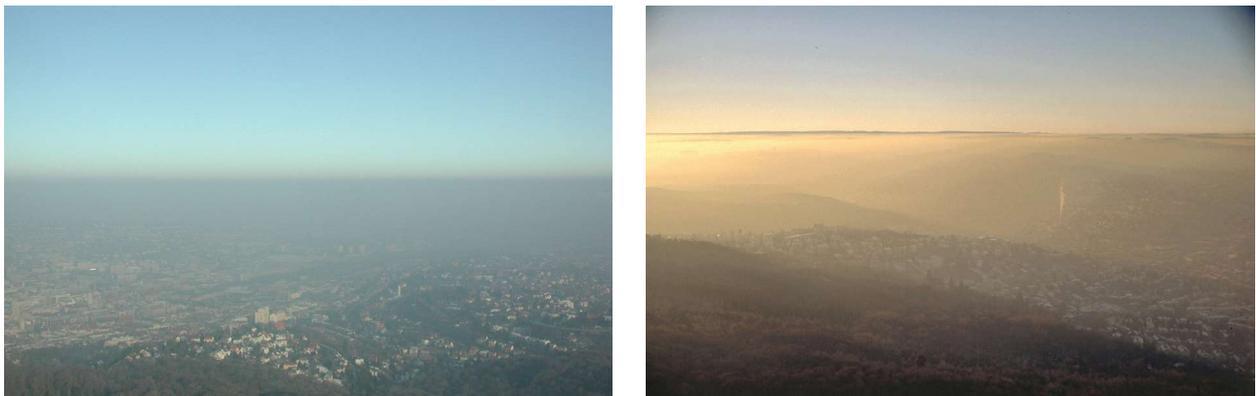


Abbildung 28 Blick vom Fernsehturm (li) und vom Birkenkopf (re) auf den Stuttgarter Talkessel bei Inversionswetterlage (15.12.2004)

Fotos: BAUMÜLLER

Zur Frischluftversorgung erlangen auch in diesem Fall lokale Zirkulationen große Bedeutung. Zur Erneuerung der Luft kann der Kaltluftfluss aus dem Umland in den Talkessel beitragen, wenn ihre Schneisen durchgängig bleiben und eine zusätzliche Anreicherung der Kaltluft mit Schadstoffen, durch Emittenten in ihrer Abflussbahn bereits planerisch unterbunden wird.

Nach Messungen von HAMM (1969, S.110f) hat sich gezeigt, dass zwischen SO_2 -Konzentration und der Windgeschwindigkeit enge Korrelationen bestehen, bis auf wenige Ausnahmen verlaufen die Kurven entgegengesetzt. Hohen mittleren täglichen Windgeschwindigkeiten entsprechen geringen SO_2 -Belastungen. Allgemein bestimmt die Windrichtung die Ausbreitungsrichtung der Schadstoffe, der Abtransport und die Verdünnung ist von der Windgeschwindigkeit abhängig. In Stuttgart können aus der Messung von Windrichtung und -geschwindigkeit und der Schadstoffkonzentration sogenannte Schadstoffwindrosen berechnet werden.

Niederschläge führen zu einer Auswaschung der Luftpartikel und damit zu einer für das Stadtklima wichtigen Reinigung der aerosolhaltigen Stadtluft ("Nasse Deposition"). Die Auswaschrates der einzelnen Verunreinigungs-komponente hängt von ihrer Wasserlöslichkeit ab, alle Staubpartikel werden sehr gut ausgewaschen. Die Selbstreinigungskraft der Atmosphäre durch Niederschläge ist durch deren Intensität und Häufigkeit bedingt. Nachteilig wirkt sich hier Stuttgarts relative Niederschlagsarmut und zusätzlich die abgeschattete Lage des Stadtkerns aus.

Die Wirkung der Einstrahlung auf Luftbeimengungen soll hier nur noch kurz genannt werden. Durch bestimmte photochemische Reaktionen der Emissionen mit Bestandteilen der Luft entsteht unter anderem das bodennahe Ozon, das in höheren Konzentrationen für bestimmte Personengruppen gesundheitsschädliche Auswirkungen hat. Die Strahlung hat außerdem indirekten Einfluss auf eine Inversionswetterlage, die durch eine vermehrte Zustrahlung aufgelöst werden kann (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

Messungen von HAMM (1969, S.132) zufolge haben die Grünanlagen der Stuttgarter Innenstadt einen erheblichen Einfluss auf die Staubkonzentration der Luft. Grobe Stäube werden direkt auf den Blattoberflächen festgelegt, durch die Minderung der Windgeschwindigkeit über Grünflächen kommt es zur Sedimentation und Ausfilterung des Staubes. Besonders wirksam haben sich Grünflächen mit einem aufgelockerten Bestand an Bäumen und Büschen gezeigt. Die auftreffenden Luftbewegungen werden bereits am Rande der Anlage abgebremst und es kommt zu einer Ausfällung und Ausfilterung des Staubes ohne weitere Verwirbelungen der Luftmassen.

Langfristig kann die Luftqualität nur durch die Verringerung der Emissionen verbessert werden. Eine Minderung bestehender Belastungen wird durch die Nutzung und Aufrechterhaltung lokaler Zirkulationen, eine entsprechende räumliche Zuordnung der Emittenten und den Erhalt innerstädtischer Grünflächen in ausreichender Größe und Struktur erzielt.

1.4.3.3 Bioklima

Das Klima beeinflusst direkt den Naturhaushalt und damit auch die Wechselwirkungen in einem Ökosystem. Die einzelnen Klimaparameter müssen sich daher in einem Rahmen bewegen, der für Pflanzen, Tiere und schließlich auch den Menschen erträglich ist. Somit stellt sich auch die Frage, wie weit die regionalen, anthropogenen Klimaveränderungen vor allem in Städten und Ballungsgebieten diese Grenze überschreiten. In der angewandten Stadtklimatologie erlangt die Human-Biometeorologie eine immer größere Bedeutung. Neben dem oben genannten lufthygienischen Wirkungskomplex, gilt es außerdem den thermischen Wirkungskomplex, der die Modifikation und die Auswirkungen der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit und des Strahlungshaushaltes beinhaltet. Die stadtbedingten bioklimatischen Belastungen sind hauptsächlich auf den thermischen Komplex zurückzuführen, der durch das Temperatur-Feuchte-Milieu bestimmt wird und durch Empfindungsgrößen wie Schwüle und Behaglichkeit charakterisiert ist. Die beiden Wirkungskomplexe sind von der Planung grundsätzlich beeinflussbar (HORBERT

2000, S.115 und FINKE in KRESS et al. 1979, S.20).

Wesentliche meteorologische Parameter stellen Lufttemperatur, Luftfeuchte (Wasserdampfdruck), Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse dar. Die Größen haben in ihren Auswirkungen auf den einzelnen Menschen unterschiedliche Intensität und sind unter anderem von Alter, Gesundheitszustand und Konstitution, körperlicher Belastung und Gewöhnung abhängig (FINKE in KRESS et al. 1979, S.20).

Um die Anpassungsmöglichkeiten des Menschen bei der Bewertung klimatischer Situationen zu berücksichtigen, wurde eine skalierte Bewertungsgröße, der Predicted Mean Vote (PMV) eingeführt, der eine Maßeinheit für das subjektive Empfinden einer durchschnittlichen Modellperson, dem sog. Klima-Michel, liefert. In den Wert fließen die innere Wärmeproduktion des Menschen, die Wärmeisolation der Bekleidung, die Lufttemperatur, die Strahlungstemperatur, die Luftfeuchte und die relative Windgeschwindigkeit gegenüber der Eigenbewegung des Menschen ein. Die Skalierung umfasst die Werte - 3 (Belastungsstufe: starker Kältestress) bis 3 (starke Wärmebelastung) (HORBERT 2000, S.118).

Die Art der Belastung ist vielfältig, dazu gehören das Kälteempfinden bei zu niedrigen Temperaturen und zu hohen Windgeschwindigkeiten, was in Stuttgart seltener auftritt, die Überwärmung bei zu hohen Temperaturen oder das Stressempfinden bei ungenügender nächtlicher Abkühlung an austauscharmen Strahlungstagen. Die Schwüle, also das Zusammenwirken von hohen Lufttemperaturen und hoher Luftfeuchte stellt die vom Menschen am häufigsten genannte bioklimatische Belastung dar (HORBERT 2000, S.116).

Die höhere Temperatur, die niedrigere Windgeschwindigkeit und die höhere Gegenstrahlung in einer Stadt führen zu vermehrtem Empfinden von Schwüle im Vergleich zum Umland. Schwüle Tage sind meteorologisch mit einer Feuchttemperatur um 14 Uhr von über 18 °C definiert. Die Entwärmung (schwitzen) des Körpers ist bei hohen Tagestemperaturen im Sommer und geringeren Windgeschwindigkeiten im Stadtgebiet behindert, durch die fehlende nächtliche Auskühlung kann die Hitzebelastung auch nachts nicht abgebaut werden. Bei schlechter Entwärmung können Hitzekollaps, Hitzeschlag und Hitzekrämpfe auftreten, chronische Schädigungen betreffen meist Herz und Kreislauf (KRESS et al. 1979, S.21f).

Durch die orographische Lage einer Stadt kann die Schwülehäufigkeit bzw. die thermische Belastung zusätzlich erhöht werden. Nach BECKER (in KRESS et al. 1979, S.23) begünstigen u. a. Mulden- und Beckenlagen wie sie das Stuttgart Stadtgebiet darstellt das Auftreten von Schwüle.

Die Anzahl von Schwülen Tagen liegt in Stuttgart Stadtmitte im langjährigen Mittel von 1951-1980 bei 17 Tagen (werden in Stuttgart Hohenheim nicht registriert). Die Grafik zeigt den Jahresverlauf der Schwülen Tage in Stuttgart Stadtmitte.

Die räumliche Verteilung der Tage mit Hitze-

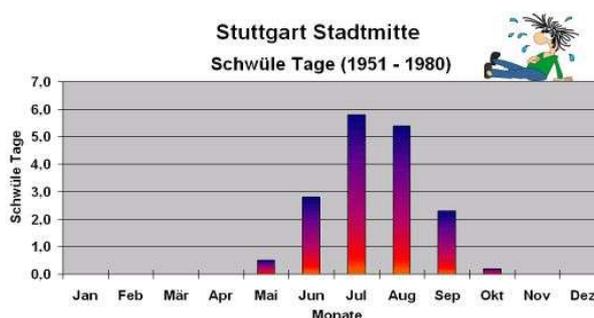


Abbildung 29

Quelle: LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004

stress in der Stuttgarter Innenstadt werden in Abbildung 30 dargestellt. Dabei sind entsprechend dem PMV nicht nur Temperatur und Feuchte berücksichtigt, sondern auch Windgeschwindigkeit und lang- und kurzwellige Strahlung die thermophysiologicalen Einfluss auf das Wohlbefinden des Menschen haben (BAUMÜLLER 2004).

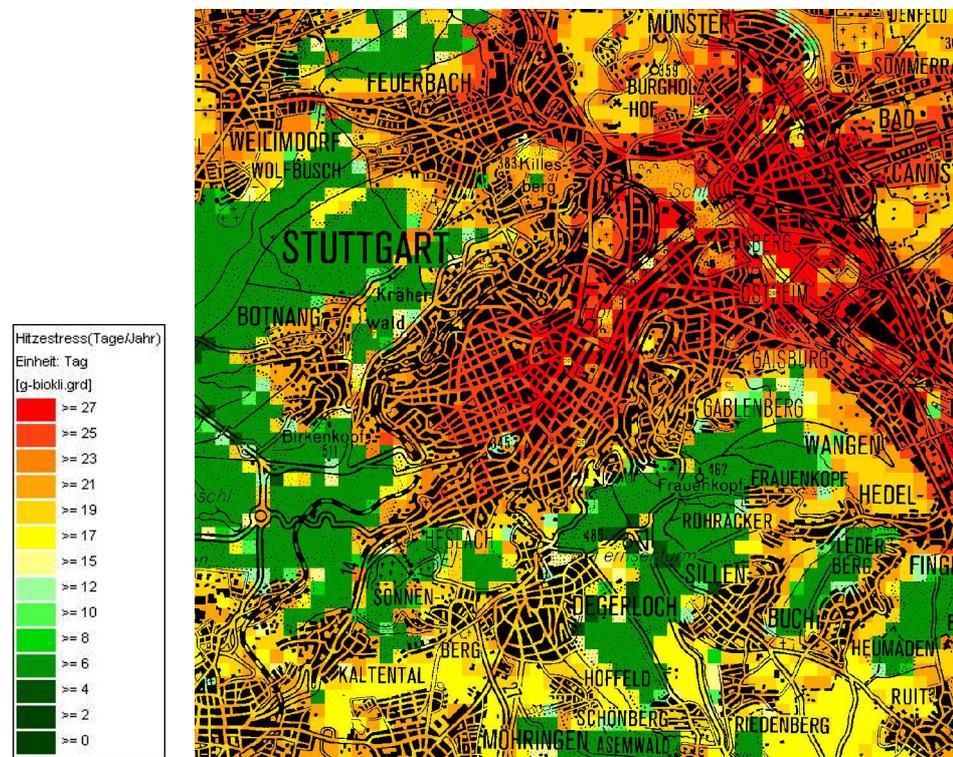


Abbildung 30 Anzahl der Tage/Jahr mit Hitzestress im Stadtgebiet von Stuttgart

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Deutlich zeigt sich hier, dass vor allem der dicht bebaute Stadtkern, Bad-Cannstatt und die Industriegebiete im tief eingeschnittenen Neckartal besonders häufig unter Wärmebelastung leiden (28 Tage, dunkelrot). Die weniger dicht bebauten Siedlungskörper wie die Hanglagen im Talkessel (bis 23 Tage, orange) und die Orte auf der Filderhochfläche (18 Tage, gelb) sind unter anderem durch die bessere Durchlüftung weniger belastet. Die ausgedehnten Waldflächen im Stadtgebiet zeigen durch ihr ausgeglichenes Bestandsklima (s. Kapitel 1.4.4.2.3) mit ca. 6 Tagen/Jahr (grün) die geringste thermische Belastung.

Der Sommer 2003, der wärmste seit den Aufzeichnungen in Stuttgart-Hohenheim 1878 verzeichnete 76 statt 25,4 Sommertage und 21 heiße Tage, die maximal gemessene Temperatur lag bei 36,8 °C. Deutlich zeigt der Vergleich mit den in Stuttgart Stadtmitte 2003 gemessenen Werten die große Wärmebelastung die in der Innenstadt auftritt: Es wurden 100 Sommertage und 43 heiße Tage (davon 15 über 35 °C) registriert. Die 120 gemessenen "Biergartentage" (Temperatur nach 20.00 Uhr > 20 °C) lassen auf eine mangelnde Abkühlung des Stadtgebietes auch in den Abendstunden schließen (Meteorologische Jahresberichte Stuttgart Hohenheim 2003 in LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

Nach dem Weltkatastrophenbericht des Internationalen Roten Kreuzes hat die Hitzewelle

2003 in Europa bis zu 35.000 Menschen das Leben gekostet, davon 15.000 in Frankreich (in STUTTGARTER ZEITUNG Nr. 252, 2004).

In Städten und Ballungsgebieten stellt somit die Wärmebelastung des Menschen, besonders aber die mangelnde nächtliche Abkühlung ein ernstzunehmendes gesundheitliches Problem dar, das vor allem die weniger belastbaren und kranken Bewohner betrifft. Hierzu gehört auch die Schwülebelastung, die ebenfalls von den Mittagsstunden bis spät in die Nacht hinein andauern kann. Verschärft wird diese Problematik durch die damit meist verbundene Reduzierung des bodennahen Luftaustausches, der in Stuttgart auf Grund der häufigen Windstillen stark eingeschränkt ist. In der Regel trägt dies zusätzlich auch noch zu einer größeren Immissionsbelastung bei (HORBERT 2000, S.120f).

Die Forderung nach einer ausreichenden Belüftung der Stadtgebiete soll vor allem nachts eine Auskühlung ermöglichen um den Schlaf nicht nachteilig zu beeinflussen. Die Anzahl der heißen Nächte im Stadtgebiet ist also durch die Nutzung der Kühlwirkung des nächtlichen Kaltluftflusses zu reduzieren. Tagsüber kann eine Entlastung nur durch die Reduktion des Wärmeinseleffekts der Stadt erfolgen, was die Stadtplanung vor allem bei der Bodennutzung berücksichtigen muss.

Wärme- und Schwülebelastung treten lediglich im Sommerhalbjahr auf, die Beeinträchtigung des Luftaustausches und die Immissionsbelastung stellt dagegen ganzjährig eine Gefahr für die Bevölkerung dar. Daher sollte nach Wegen gesucht werden, das klimatische und lufthygienische Belastungspotenzial verschiedener Nutzungen zu minimieren und die negativen Auswirkungen auf den Menschen unterbinden. Hierzu gehört zum Beispiel, dass die in den Nachtstunden über den landwirtschaftlichen Flächen gebildete kühlere Luft von den Randbereichen der Stadt über geeignete Belüftungsbahnen in die hochbelasteten Kernbereiche gelangen kann (HORBERT 2000, S.121).

1.4.4 klimatische Eigenschaften bestimmter Flächennutzungen

Die Veränderung von Landschaftselementen durch Versiegelung, Bebauung, Abgrabungen, Aufschüttungen oder wasserwirtschaftliche Eingriffe, aber auch die örtliche Einleitung von Emissionen in die Atmosphäre verursachen die beschriebenen Abweichungen einzelner Klimaparameter von den geographisch zu erwartenden Normalwerten (HORBERT 2000, S.122). Jede Art der Landschaftsnutzung schafft spezifische Randbedingungen, deren klimatologischen Folgen unterschiedlich ausfallen können. Land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen können aus klimatologischer Sicht noch als relativ naturnah gelten, in versiegelten und dicht bebauten Gebieten sind dagegen maximale Veränderungen des Klimas zu erwarten. Betroffen sind die oben ausführlich behandelten Parameter wie die Strahlungsbilanz, Temperatur und Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschlag und Bewölkung, Luftverschmutzung und Durchlüftung (HORBERT 2000, S.122). Bei Temperaturmessfahrten in Aachen (in HORBERT 2000, S.58) ließen sich für verschie-

dene Nutzungen und Reliefsituationen typische Klimaeigenschaften feststellen. Hinsichtlich der Lufttemperatur macht sich bei allen Wetterlagen eine Abhängigkeit vom jeweiligen Flächentyp bemerkbar, während austauschstarker Wetterlagen tagsüber jedoch weniger als in den austauscharmen Nachtstunden. Die Nutzungen wurden in neun Typen unterteilt: geschlossene Bauweise (1); Zeilen- und Randbebauung (2); offene Bauweise mit hohem Grünanteil (3); Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfe (4); Industrie, Bahngelände (5); Forst- und Waldgebiete (6); offene Felder (7); offene Rinnenlagen, Senken (8); offene Hanglagen (9). Die größten mittleren Temperaturdifferenzen ließen sich zwischen der dichten Bebauung (Typ 1) und den offenen Freiflächen in den Außenbereichen (Typ 7) und vor allem zwischen den Kaltluftammelgebieten (Typ 8) mit bis zu 4,8 °C feststellen. Nach der dichten Bebauung folgen direkt die stark versiegelten Industrieflächen (Typ 5), die Zeilen- bzw. Randbebauung und die offene Bauweise mit hohem Grünanteil (Typ 2 und 3) weisen recht hohe nächtliche Abkühlungsraten auf. Parkanlagen und Kleingärten (Typ 4) können nur bei einer ausreichenden Ausdehnung und entsprechenden Lage im Stadtkern eine positiv wirkende Eigencharakteristik entwickeln, die in Aachen nicht gemessen werden konnte. Erwartungsgemäß warm zeigen sich die offenen Hanglagen, auf denen die dort gebildete Kaltluft abfließen kann und den überwärmten Talbereichen zugute kommt. Auch die in die Stadt führenden Täler und Rinnen, die kaltluftammelnde und -transportierende Funktionen haben, treten deutlich kühler in Erscheinung, sie befördern kühlere und immissionsfreie Luft bis in die Nähe des Stadtkernes (HORBERT 2000, S.58ff).

Die in Aachen gemessenen Abstufungen der Klimaparameter sind auf Stuttgart nur quantitativ übertragbar, da sowohl die Struktur der Städte, als auch die jeweils vorliegende Wetterlage Unterschiede aufweisen. Die gemittelten Thermalaufnahmen zeigen die Strahlungstemperaturen der Oberflächen der Stadtstrukturen im August 1988 in der Übersicht. Durch die Bilder werden unterschiedliche Landnutzungen und ihr thermisches Verhalten erkennbar. Die höchsten abendlichen Temperaturen werden in der dicht bebauten Innenstadt am Hauptbahnhof und im Stuttgarter Westen erreicht (rot > 18°), die Hangpartien sind aufgrund des geringeren Versiegelungsgrads kühler (orange), besser belüftete Bereiche im Nesenbachtal wie

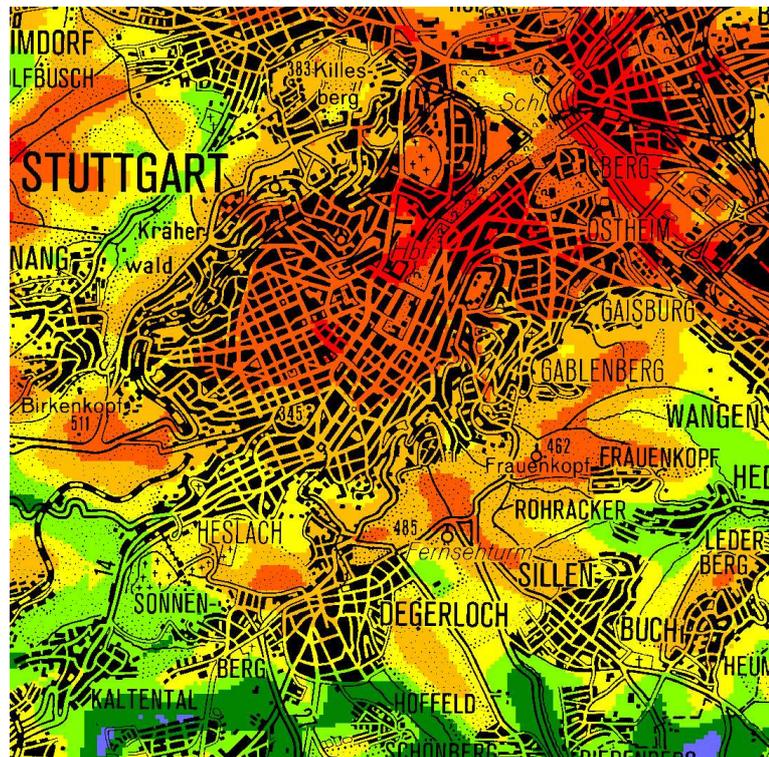


Abbildung 31 Infrarotthermalbild Abendsituation, gemittelt

Quelle: BAUMÜLLER 2004

1.4.4.1 überbaute Flächen

1.4.4.1.1 Wohnen

Bei keiner anderen Nutzungsform werden so hohe klimatologische Anforderungen gestellt wie bei der Planung und der Erhaltung von Wohnstandorten. Bevorzugt sind Gebiete mit nicht zu niedrigen Mitteltemperaturen, die Häufigkeit, Intensität und Dauer von Nebel, aber auch die Schwüle sollen gering sein. Erwünscht ist eine mittlere Windgeschwindigkeit, mit geringer Windbelastung aber ausreichendem Luftaustausch, um Immissionsbelastungen zu vermeiden. Auf eine ausreichende Besonnung gilt es besonders in Hanglagen und dicht bebauten Stadtgebieten zu achten (HORBERT 2000, S.123).

Die Erfüllung dieser Forderungen durch geeignete Planungsgebiete erscheint möglich, aber durch eine zu intensive Nutzung wiederum treten ungewollte Veränderungen des Klimas und damit eine Minderung der klimatischen Wohnqualität ein. Dazu gehören die beschriebenen Phänomene wie eine verminderte nächtliche Abkühlung und eine erhöhte Schwülegefährdung im Sommer und ganzjährig eine zunehmende Verschattung und die Beeinträchtigung des bodennahen Luftaustausches (HORBERT 2000, S.123).

Unter bioklimatischen Gesichtspunkten lassen sich ungünstige und günstige Raumeinheiten wie folgt unterscheiden. Ungünstige Räume sind z.B. Gebiete mit häufiger Wärmebelastung bei sommerlichen Wetterlagen (z. B. Innenstädte), aber auch Kaltluftsammlgebiete und Areale mit hoher Nebelhäufigkeit. Klimatisch günstige Räume werden häufig innerhalb locker bebauten Siedlungsstrukturen, vor allem in Süd- und Südwesthanglage, mit einer verringerten thermischen Belastung tagsüber, einer guten Belüftungssituation und guten Besonnungsverhältnissen vorgefunden (SCHIRMER et al. 1993, S.67).

Die Abhängigkeit der einzelnen Klimaparameter von der Baustruktur wurde oben aufgezeigt, bezieht man die gemessenen Werte (Untersuchungen von HORBERT in Aachen und Berlin; Infrarotthermographie der Region Stuttgart) auf die niedrigste Temperatur (Flächentyp Wälder und Forsten), zeigt sich die Zunahme der nächtlichen Überwärmung mit steigender Bebauungsdichte und sinkendem Vegetationsanteil. Besonders deutlich zeigen diese Phänomene die Untersuchungen von HAMM und die Infrarotbilder der Stadt Stuttgart für die dichte Blockbebauung mit geringem Grünanteil des Stuttgarter Westen und die Stuttgarter Innenstadt (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Die höheren Temperaturen der städtischen Baumassen sind nicht nur ausschlaggebend für die Überwärmung sondern zeigen sich auch in den Verlusten des bodennahen Kaltluftvolumens (0-15 m) die einzelne Stadtteile bei den Berechnungen von BAUMÜLLER 2004 gegenüber einer unbebauten Fläche in der Vergangenheit aufweisen. Die stärksten Verluste sind in den dicht bebauten Tallagen des Nesenbach- und Rohrackertals eingetreten, außerdem im Stuttgarter Westkessel und in Ostheim. Die Verluste betragen zum Teil bis zu 25 m³/sm (BAUMÜLLER 2004).

Messungen in Berlin (HORBERT 2000, S.128) zeigen die für Ballungsräume typische Verteilung der Wärmebelastung. Am Höchsten ist die Temperaturdifferenz zum Umland mit über 6 K in Kerngebieten, gefolgt von der mehrstöckigen Blockbebauung in kernnahen Be-

reichen. Etwas geringere Temperaturen sind auf Grund der Wechselwirkung mit dem Umland im Vororthochbau, im Bereich der Zeilen- bzw. Reihenhäuser und in den alten noch vorhandenen Dorfkernen an der Peripherie des Zentrums zu finden. In den Einzel- und Reihenhausbereichen wird sogar die günstige Charakteristik von Stadtparks und Kleingärten erreicht.

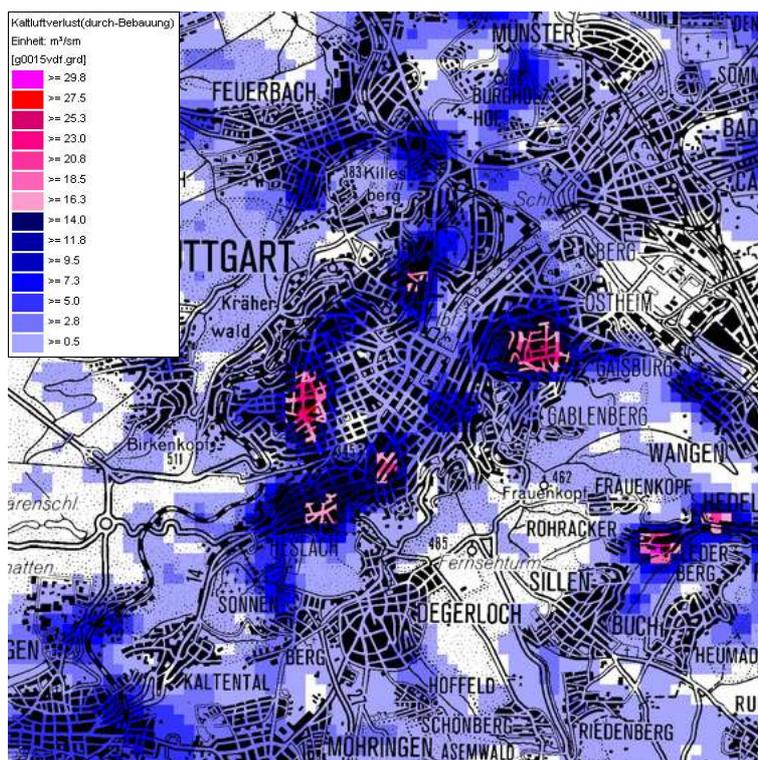


Abbildung 33 Kaltluftverlust durch Bebauung in m³/sm

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Die klimatischen Auswirkungen unterschiedlicher Baustrukturen sollen vor allem für die Wohnbebauung der Stuttgarter Hanglagen dargestellt werden. Die Bauformen haben im Einzelnen differenzierte Auswirkungen auf das eigene Bestandsklima innerhalb des Siedlungskörpers am Hang und durch seine Fernwirkung auf die unterhalb gelegene Bebauung. Aufgrund ihrer randlichen Lage zur verdichteten Innenstadt und der noch zum großen Teil erhaltenen lockeren Bebauung gehören die Hanglagen zu den Gebieten mit bedeutender klimarelevanter Funktion. Sie weisen eine geringe bioklimatische Belastung und Transportfunktionen für ausgleichende klimatische Elemente wie Frisch- und Kaltluft auf und sind damit klimatisch und lufthygienisch erheblich gegenüber Nutzungsintensivierung empfindlich (NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART, 1992).

Bei einer Klimaanalyse werden die Flächen mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen in sogenannte Klimatope eingeteilt. Berücksichtigt werden thermischer Tagesgang, Oberflächenrauigkeit (Windfeldstörung), topographische Lage und Exposition, reale Flächennutzung und Emissionsaufkommen. In Hanglage müssen die folgenden Baustrukturen genauer betrachtet werden:

Offene Bebauung ist charakterisiert durch einen relativ kleinen Anteil an überbauten Flächen und geringer Nutzung mit geringen Bauhöhen von ein bis drei Stockwerken, großem Abstand der Einzelhäuser und hohem Grünanteil. Eine offene Bebauung gehört zum Gartenstadt-Klimatop, in dem alle Klimatelemente gegenüber dem Freilandklima nur leicht modifiziert sind (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004). Diese Flächennutzung weist tags eine geringe Erwärmung und nachts eine gute Abkühlung der Baustrukturen auf, durch die begrenzten Bauhöhen und den Bauabständen wird das Windfeld und das Zirkulationssystem

am Hang nur unwesentlich beeinträchtigt. Der Kaltluftabfluss wird bei einer offenen Bebauung nicht unterbunden, sondern nur etwas abgeschwächt (BAUMÜLLER, 1974, S.59f).

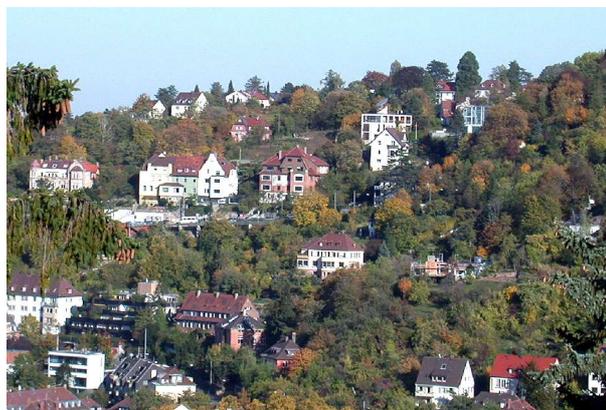


Abbildung 35 Einzelhausbebauung der Wernhalde (li) und an der Weinsteige (re)

Die **Zeilenbebauung** parallel zum Hang stellt für den Hangaufwind, wie auch für den nächtlichen Kaltluftabfluss (Hangabwind) ein wesentliches Hindernis dar. Vor allem der Kaltluftabfluss mit nur geringer Schichtdicke wird gestört. Eine parallele Zeilenbebauung sollte möglichst niedrig gehalten werden, da dadurch an steilen Hängen die Kaltluft das Hindernis überströmen kann, problematisch ist dabei, dass die Schornsteinabgase in der Kaltluftschicht liegen bleiben und es damit zu lufthygienischen Belastungen kommt (BAUMÜLLER, 1974, S.59f).



Abbildung 36 Zeilenartige Verdichtungen in den Hanglagen im Vogelsangtal (li), gründerzeitliche Zeilenbebauung in der Olgastraße (re)

Eine Zeilenbebauung senkrecht zum Hang bietet für den Kaltluftabfluss ausreichend Schneisen, ist jedoch für senkrecht zu den Zeilen wehende Winde nicht besonders günstig. Eine günstige Bauweise besonders für steile Hänge ist die Terrassenform. Durch eine Begrünung der Terrassen mit Gras oder Büschen wird die Durchlüftung tags und nachts begünstigt, künstliche Oberflächen z.B. aus Beton heizen sich im Sommer zu stark auf und kühlen auch nachts nur langsam wieder ab. Aus klimatischer Sicht v.a. auch hinsichtlich der Behaglichkeit der Bewohner sollte dies vermieden werden (BAUMÜLLER, 1974, S.59f).

Die Zeilenbebauung und Terrassenhäuser gehören zum Stadtrand-Klimatop, das durch dichter stehende, maximal dreigeschossige Einzelgebäude, Reihenhäuser und Blockrandbebauung mit Grünflächen bestimmt ist oder maximal fünfstöckige, freistehende Gebäude umfasst. Die nächtliche Abkühlung ist stark eingeschränkt und hauptsächlich von der Umgebung abhängig, lokale Winde und Kaltluftströme werden behindert, regionale Winde stark abgebremst (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).



Abbildung 37 Terrassenhäuser der Wernhalde (li) und Auf dem Haigst (re)

Punkthäuser sind als punktförmige Bebauung bei flachen Hängen positiv zu beurteilen, die Durchlüftung ist gesichert und eine lufthygienische Belastung ist durch die hohe Schornsteinhöhe selten zu erwarten. Die umliegenden Grünflächen, die durch eine flächensparende höhere Bebauung erhalten bleiben, dienen als Freiflächen u.a. der Kaltluftproduktion (BAUMÜLLER, 1974, S.59f).

Die Gebäude des Asemwald in Nachbarschaft zum Birkacher Feld auf den Höhen südlich des Stuttgarter Stadtkessels sind aus stadtklimatischer Sicht eine verträgliche Hochhausbebauung. Die Anlage wird durch die Höhenlage gut durchlüftet, behindert aber keine ausgeprägte Kaltluftschneise. Im Umgriff konnte durch die konzentrierte Wohnnutzung Waldflächen und Freiland erhalten werden, die als Erholungsflächen und der Kaltluftproduktion dienen. Die Alternative einer niedrigen Bebauung hätte bei gleicher Bewohnerzahl eine größere Fläche in Anspruch genommen, die daraus resultierende größere Flächenversiegelung hätte hinsichtlich des lokalen Klimas mehr nachteilige Veränderungen, wie beispielsweise eine vermehrte thermische Belastung mit sich gebracht. Bei einer Bebauung der Freiflächen um die Asemwald Hochhäuser wird der Vorteil des Wohnraums auf geringer Fläche durch eine höhere Bebauung allerdings hinfällig. Im Flächennutzungsplan 2010 ist die Fläche der Hochhäuser am Asemwald als Kombination aus Wohnbaufläche und Waldfläche dargestellt (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

Für die Situation im Stuttgarter Stadtkessel muss die Hochhausbebauung differenziert betrachtet werden, da sie eine besonders intensive Art der Bebauung darstellt. In den Innenstädten bewirken sie eine weitere Verdichtung, im Randbereich dagegen bieten sie die

Perspektive eines geringeren Flächenbedarfs und der minimierten Bodenversiegelung, jedoch mit einer hohen Wohndichte. Eine Hochhausbebauung birgt einige stadtklimatische Probleme (HORBERT 2000, S.130).



Abbildung 38 Hochhausbebauung am Fuße der Dobelklinge

Die Lufttemperatur ist in Ballungsräumen bereits deutlich gegenüber dem Umland erhöht, je nach Stadtlage treten extrem schlechte Abkühlungsraten in den Innenstädten auf. Eine zusätzliche innerstädtische Verdichtung durch Hochhäuser führt zu einer weiteren Erhöhung der Temperaturdifferenzen gegenüber dem Umland. Durch die zusätzliche Verschattung wird weniger das Tagesmaximum als vielmehr das nächtliche Minimum deutlich angehoben, eine abendliche Abkühlung an heißen Tagen wird damit noch problematischer. Auch im Stadtrandbereich entwickeln Hochhäuser eine eigene stadtklimatische Charakteristik, Messungen in Berlin zeigen jedoch, dass die stärker durchgrünte Umgebung durch größere Freiflächen einen besseren Luftaustausch und niedrigere Temperaturen ermöglichen (HORBERT 2000, S.130f).

Durch eine erhöhte Temperatur wird die Gefahr der Schwülebelastung bei einer anthropogenen Erhöhung der Luftfeuchte durch Wasserdampfemissionen erhöht. Besonders in den, durch Hochhausbebauung zusätzlich verdichteten Innenstadtgebieten kommt es zu einem verstärkten auftreten von Schwüle. In Hochhaussiedlungen im Stadtrandbereich stellt sich die Situation aufgrund der Wechselwirkung mit der Umgebung günstiger dar, durch die allgemeine Überwärmung ist dennoch mit einer höheren Schwülebelastung zu rechnen.

Wind- und Austauschverhältnisse werden durch eine innerstädtische Hochhausbebauung erheblich beeinträchtigt. Die leeseitige Abschwächung des Windes in bebauten Gebieten wird durch Hochhäuser deutlich verstärkt. Der turbulente Charakter des bodennahen Windfeldes nimmt in Form von "Hochhauswinden" stark zu und führt zu Windbelastungen im Straßenraum (HORBERT 2000, S.131). Abwärts gerichtete Windströmungen können in Bodennähe zu überhöhten Immissionsbelastungen führen, wenn sich zuvor beim Überströmen von Gebäuden die Luft durch Schadstoffe aus Schornsteinen anreichert (HORBERT 2000, S.136).

Für die Planung des Städtebauprojektes Stuttgart 21 wurden bereits Windkanaluntersuchungen, die die Auswirkungen der geplanten Gebäude auf das bodennahe Windfeld aufzeigen durchgeführt. Um Windbelastungen und zusätzliche Emissionskonzentrationen im

Straßenraum zu vermeiden gilt es diese Ergebnisse in der Planung zu berücksichtigen. Minderung kann durch bauliche Maßnahmen oder die Verwendung geeigneter Vegetationsstrukturen erreicht werden. Diese erreichen durch ihre Durchlässigkeit eine wirksamere Windabschwächung und fördern damit zusätzlich die Ablagerung und Bindung von Stäuben (HORBERT 2000, S.136).

Im Weiteren gilt es bei Planungen die Reduzierung der Besonnung in der Umgebung von Hochhäusern zu berücksichtigen. Einerseits führt eine Verschattung zu einer etwas geringeren Erwärmung des Straßenraumes, die Horizontabschirmung führt aber andererseits zu einer verzögerten Abkühlung in den Abend- und Nachtstunden. Eine Verschattung mindert außerdem den Wert verschiedener umliegender Nutzungen erheblich, davon betroffen sind Stadtplätze, Parkanlagen und in besonderem Maße Wohnungen, in denen eine ausreichende Besonnung und Belichtung wünschenswert ist (HORBERT 2000, S.136).

Bei den Untersuchungen zum Flächennutzungsplan "Hochhäuser in Stuttgart" wurden unter anderem auch die stadtklimatischen Auswirkungen einer Hochhausbebauung diskutiert. Aufgrund des Einflusses auf die bodennahe Windströmung, der Wirkung als Reibungshindernis, der "Hochhauswinde", der Behinderung lokaler Windsysteme, der Störung der Schadstoffausbreitung bodennaher Quellen und der Verschattung, wird eine Hochhausbebauung insbesondere in der Innenstadt vom Amt für Umweltschutz nicht unterstützt. Im windschwachen, topographisch stark gegliederten Stuttgart kann einer Hochhausbebauung keine stadtklimatisch sinnvolle Funktion zugesprochen werden. Vor allem in den Hauptbelüftungsachsen der Stadt (Nesenbachtal, Neckartal) ist diese Art der Bebauung in besonderem Maße abzulehnen (HOFFMANN 1995, S.10).

1.4.4.1.2 Industrie und Gewerbe

Der Anteil von Gewerbe- und Industrieflächen an der zunehmenden Entwicklung der Versiegelung und Zersiedelung der Landschaft und der Verdichtung der Siedlungsgebiete durch Baumassen ist erheblich. Dies führt zu den bekannten Veränderungen des örtlichen oder sogar regionalen Klimas. Der Grad der Beeinflussung hängt vom Versiegelungsgrad, der Baudichte, den Reliefbedingungen, der Lage zu anderen Nutzungen und dem Emissionsverhalten ab (HORBERT 2000, S.214 und 218). Messungen der Strahlungstemperaturen der Oberflächen durch den Satelliten Landsat 5 ordnen die Gewerbegebiete im Stadtgebiet von Berlin hinsichtlich ihrer klimatischen Charakteristik der dichten Bebauung der Innenstadtgebiete zu. An Strahlungstagen kommt es hier sowohl in den Tages- als auch in den Nachtstunden zu einer deutlichen Überwärmung der Oberflächen. Eine besondere Rolle spielen Kaltluftsammlgebiete wie Senken oder Rinnen, durch die Stagnation der bodennahen Luftschicht wird der Luftaustausch stark reduziert und durch Schadstoffemissionen die Luftqualität deutlich beeinträchtigt (HORBERT 2000, S.214).

Durch Wasserdampfemissionen bei unterschiedlichen Produktionsprozessen kommt es zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit und damit zu einer Zunahme der Schwülebe-

lastung in der warmen Jahreszeit. Bei ungünstigen Reliefbedingungen wie in Tälern und Senken erhöht sich das Risiko einer Schwülegefährdung erheblich, geringere Belastungen werden in Industriegebieten in den weniger versiegelten Randbereich der Städte registriert. In den Einzugsgebieten für Frischluft, vor allem in den Randbereichen sollte allerdings nicht nur auf Schadstoffemissionen, sondern auch auf eine größere Wasserdampfproduktion verzichtet werden (HORBERT 2000, S.216).

Für die genannten Emissionen und ihre Auswirkungen auf die umliegenden Flächen ist die Berücksichtigung der örtlichen Wind- und Austauschverhältnisse eine wichtige Voraussetzung. Hierbei ist zu unterscheiden, ob die gewählten Standorte von ihrem Relief, ihrer Exposition und den vorhandenen Vegetationsstrukturen her einen ausreichenden Belüftungsgrad besitzen, ob die Baustruktur die Belüftung behindert oder ob die Lage zu benachbarten Wohngebieten hinsichtlich der Ausbreitung von Schadstoffen verträglich ist. In Stadtrandbereichen kommt die Frage hinzu, ob Frischluftentstehungsgebiete und Belüftungsbahnen vom Umland in Richtung Stadt in ihrer Funktion behindert werden (HORBERT 2000, S.217).

Besonders deutlich ist die Überwärmung und die Beeinträchtigung der Luftqualität in den besonders belasteten Gebieten in Stuttgart Bad Cannstatt und im Neckartal mit den weitläufigen Industriearealen erkennbar. Trotz des großen nächtlichen Kaltluftzuflusses in das Neckartal weisen gerade diese Flächen neben der dicht bebauten Innenstadt die größte bioklimatische Wärmebelastung auf und sind auch lufthygienisch stark belastet. Besonders weitreichende Auswirkungen haben Industrieansiedlungen in den ausgleichend wirkenden Kaltluftentstehungsgebieten und im Einzugsbereich der innerstädtischen Luftleitbahnen oberhalb des Stadtkessels auf den Fildern, am Beispiel in Vaihingen und Möhringen. Nicht nur die Verringerung der kaltluftproduzierenden Flächen und des Kaltluftabflusses, sondern auch die frühzeitige Erwärmung durch die versiegelten Gebiete und die Anreicherung der Frischluft für den Stadtkern mit Emissionen wirkt sich fatal für die klimatischen Verhältnisse des Talkessels aus.

1.4.4.1.3 Straßen

Gerade im Straßenraum bilden sich die typischen stadtklimatischen Eigenschaften und Probleme heraus. Die fast vollständige Versiegelung der Oberfläche, meist bis an die Hausgrenzen und die hohe Horizontabschirmung durch die Bebauung sorgen für ungünstige klimatische Randbedingungen. Verstärkt wird diese Situation durch den hohen Flächenanteil der Verkehrswege innerhalb der Stadt und durch die zusätzliche lufthygienische Belastung, die der Autoverkehr verursacht.

Die Überhöhung der Lufttemperatur gegenüber innerstädtischer Freiräume oder dem Umland ist besonders in Straßenzügen ausgeprägt. Lediglich in den Morgenstunden sind vergleichbare oder gar tiefere Temperaturen durch den Tagesgang des Wärmehaushaltes und die Verschattung zu erwarten (HORBERT 2000, S.163). Die Bilder der Infrarotthermographie zeigen das Stuttgarter Straßennetz auch in den Morgenstunden als eine der

wärmsten Flächen.

Je nach Straßengestaltung können die klimatischen Eigenschaften beeinflusst werden. Nach Messungen von HORBERT in Berlin weisen schmale Straßen, mit geringem Grünanteil und einer hohen Randbebauung einen deutlichen Temperaturanstieg und eine größere Luftbelastung auf. Straßen mit größeren Strömungsquerschnitten und einer wesentlich besseren Vegetationsausstattung (baumbestandener Mittelstreifen) haben einen wesentlich gemäßigteren Temperaturanstieg. Diese Straßenzüge können somit den thermischen Einfluss kühlere Flächen, vor allem in den Nachtstunden in die dichten Baustrukturen hintransportieren. Eine lockere Vegetation dient dazu, eine Aufwärmung der Luft zu vermeiden, ein zu dichter Aufbau behindert die Luftbewegungen. Bei starkem Verkehrsaufkommen wird die Qualität der transportierten Luftmassen jedoch erheblich verringert (HORBERT 2000, S.165).

Die zusätzliche Transpirationsleistung der Pflanzen führt zwar zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte, durch die gleichzeitige Temperaturabsenkung im Straßenraum erweist sich dies aber als unproblematisch. So liegt der PMV-Wert in baumbestanden Straßen in einem vergleichsweise günstigen Bereich, in den Nachmittagsstunden bei 2 (mäßige Wärmebelastung) im Gegensatz zu vegetationslosen Straßen bei 3 bis 4 (starke Wärmebelastung und höher) (MAYER 1996 in HORBERT 2000, S.119).

Das Einbringen von Vegetationsanteilen in den Straßenraum kann aber für die Wind- und Austauschverhältnisse problematisch sein. In engen Straßen führen Bäume mit einem geschlossenen Kronendach zu einer Beeinträchtigung des Luftaustausches, so dass bei einem größeren Verkehrsaufkommen die Immissionsbelastung sehr schnell ansteigt. Am günstigsten für den vertikalen und horizontalen Luftaustausch und eine bioklimatische Entlastung sind dagegen Baumreihen in breiten Straßenzügen, die die Fassaden und die Fahrbahn möglichst wenig, die Fußwege aber intensiver beschatten. In schmalen Straßenzügen kann durch eine Fassadenbegrünung eine leichte Minderung erzielt werden (HORBERT 2000, S.165).

1.4.4.2 Vegetationsflächen

Wie oben ausführlich dargestellt führt die Zunahme von Baumassen und versiegelten Flächen in Städten und Ballungsgebieten zu einer allgemeinen Verschärfung der klimatischen Situation. Eine Entlastung der Innenstädte durch das Umland hängt von der Ausdehnung der bebauten Areale und von den Möglichkeiten einer klimatischen Wechselwirkung ab. Die Reliefeigenschaften, die Nutzung und die Vegetationsstrukturen der Stadtrandbereiche können eine klimatische Ausgleichsfunktion begünstigen oder auch behindern (s. a. 3.1.1 klimaökologischer Ausgleichsraum). Die gewachsenen und meist dichten Baustrukturen in den Stadtzentren schränken diese Belüftungsmöglichkeiten weiter ein, so dass nur über die innerstädtische Versorgung durch mehr Grün an Häusern, in Höfen, auf Plätzen und in Straßen, aber besonders durch den Erhalt innerstädtischer Freiräume zumindest eine Minderung der klimatischen Belastung zu erwarten ist. Zu diesen Flächen ge-

hören das direkte Wohnumfeld, innerstädtische Grünflächen wie Parkanlagen, Friedhöfe und Kleingärten und die großen land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen angrenzend an die Stadtrandbereiche (HORBERT 2000, S.173).

1.4.4.2.1 Wohnumfeldverbesserung

Eine Verbesserung der bioklimatische Situation in innerstädtischen Wohngebieten, kann im günstigsten Fall über eine Auflockerung von zu dichten Baustrukturen erfolgen. Hier sind neben ökonomischen auch wohnungspolitisch Grenzen gesetzt, so dass aus klimatischer Sicht nur eine Vergrößerung des Vegetationsanteiles oder auch wirkungsvollere Vegetationsstrukturen zielführend sind.

Eine Möglichkeit besteht in der Intensivierung der Begrünung von Dachflächen. Dächer bieten in Städten eine bisher meist ungenutzte Flächenreserve zur Anlage von Grünflächen.

Die Erwärmung der bodennahen Luftschicht erfolgt über den Wärmeumsatz an der Erde bzw. Materialoberfläche. Auch bei Dächern bestimmen Wärmeleitfähigkeit bzw. Temperaturleitfähigkeit des Materials und die Farbe der Oberfläche die Temperatur der angrenzenden Luftschicht. Bei Pflanzen spielen auch die Transpiration und damit auch die Pflanzenart und deren Zustand eine erhebliche Rolle. Die geringsten Temperaturen auf Dachflächen werden durch ein begrüntes Dach erreicht, die Werte entsprechen in etwa begrünter Bodenflächen. Unterschiede können allerdings auftreten, wenn die Dachvegetation nicht über eine ausreichende Wassermenge zur Verdunstung verfügt (HORBERT 2000, S.140).

Die klimatische Wirkung von begrünter Dächern bezieht sich hauptsächlich auf die Minderung von Temperaturextremen auf der Dachhaut, schwarze Bitumenpappe erwärmt sich an heißen Sommertagen auf 90 °C und kühlt in klaren Winternächten bis zu -30 °C ab. Begrünte Dächer dagegen erwärmen sich im Sommer auf 20 bis 25 °C und kühlen im Winter nur bis auf 0 °C ab. Im Sommer wird ein großer Teil der eingestrahelten Energie durch die Transpiration der Pflanzen umgesetzt, damit stellt die Begrünung für die darunter liegenden Räume einen wirksamen Schutz vor sommerlicher Hitze dar, im Winter wirkt die Substrat- und Vegetationsschicht zusätzlich wärmedämmend (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Durch die Aufnahme des Niederschlagswassers durch das Substrat und die Pflanzen wird bei begrünter Dächern mehr Wasser durch die Verdunstung an die Luft abgegeben, der Abflussbeiwert liegt bei 30 %, dies trägt zur Reduzierung des Feuchtemangels der Stadtluft bei. Außerdem wird das abfließende Wasser von Niederschlägen zeitverzögert abgegeben, was zusätzlich die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen deutlich entlastet (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Die Begrünung von Dächern fördert die Ablagerung von Schadgasen und Feinstäuben, was besonders durch die sehr gute Belüftung auf Dachniveau gesteigert wird (HORBERT 2000, S.144).

Stuttgart war eine der ersten deutschen Städte, in der Gründächer im Baurecht verankert und über Verordnungen gefordert werden konnten. Seit 1986 wird vom Garten- und Friedhofsamt der Stadt die nachträgliche Dachbegrünung finanziell gefördert, bis 2005 wurden dadurch 52.000 m² Dachfläche, was etwa acht Fußballfeldern entspricht, nachträglich begrünt.



Abbildung 39
Dachbegrünung in der Stuttgarter Innenstadt

Foto: BAUMÜLLER

Eine messbare Fernwirkung lässt sich bei Dachbegrünungen allerdings nicht nach-

weisen, der Einfluss der Baustrukturen und deren klimatische Wirksamkeit überdeckt zumindest kleinflächig begrünte Dächer. Dennoch bewirkt die Begrünung von Dachterrassen lokal eine Verbesserung des angrenzenden Raumklimas und durch eine verbesserte Wärmedämmung und die damit verbundene Einsparungen an Heizenergie einen global-klimatischen Vorteil.

Das dominierende Stadtklima wird nur dann merklich verbessert, wenn eine hohe Anzahl begrünt wird und damit die Summenwirkung zum Tragen kommt. Auch mit einer direkten Wirkung auf die bodennahe Luftschicht kann aufgrund der Höhe des Dachniveaus kaum gerechnet werden. Damit kann die Begrünung von großen und niedrig gelegenen Dächern günstiger eingeschätzt werden als die höherer Gebäude (HORBERT 2000, S.144).

Eine weitere Möglichkeit der direkten Wohnumfeldverbesserung liegt in der Fassadenbegrünung. Sie muss günstiger als die Dachbegrünung eingestuft werden, da hier positive klimatische Wirkungen auch den bodennahen Luftschichten und damit eher den betroffenen Menschen zugute kommt. Die Lufttemperatur im Wirkungsbereich der Wandbegrünung wird in ihren Extremwerten gedämpft, wie bei einem Waldklima und hat damit einen ausgeglichenen Tagesgang. In den Mittagsstunden verursachen Verschattung und Transpiration niedrigere Temperaturen, die Minderung der Ausstrahlungsverluste tritt besonders in den Abend- und Nachtstunden in Erscheinung. Die kühlende Wirkung einer Fassadenbegrünung ist jedoch nur im mikroklimatischen Bereich am Gebäude mit nur geringer Fernwirkung nachweisbar (HORBERT 2000, S.146 und 150).

Eine dicht bewachsene, immergrüne Fassade weist eine Wärmeverlustminderung von 6 % auf und leistet damit einen Beitrag zum Wärmeschutz (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Die Begrünung von Wänden mit Kletterpflanzen verändert die Rauigkeit der Oberflächen und reduziert damit die Windgeschwindigkeit über diesen Flächen, was die Ablagerung von Feinstäuben an der Vegetation begünstigt. Begrünte Fassaden besitzen an Standorten

wie zum Beispiel in Straßen und Innenhöfen den Vorteil, dass sie den Luftaustausch weniger behindern als Bäume, die bei einem Kronenschluss abgeschlossene Räume und damit oftmals lufthygienische Probleme schaffen. Durch die vertikal wachsenden Kletterpflanzen kann eine wesentlich größere klimawirksame Biomasse bei einer geringen Inanspruchnahme von Bodenflächen in die Stadtstruktur eingebracht werden, was nicht nur positive klimatische sondern auch lufthygienische Aspekte mit sich bringt (HORBERT 2000, S.148f).

Abschließend muss dazu gesagt werden, dass durch Dach- und Fassadenbegrünung zwar eine direkte Wohnumfeldverbesserung im mikroklimatischen Bereich erzielt werden kann, aber dennoch in dicht bebauten Stadtgebieten die klimatischen Wirkungen der Baumassen überwiegen und durch diese Maßnahmen nur die zusätzliche Erwärmung abgeschwächt wird. Eine Begrünung der Dächer und Fassaden ist für das Wohlergehen der Bevölkerung wünschenswert, kann aber keine Kompensation für Baumaßnahmen auf Flächen mit klimarelevanten Funktionen darstellen.

1.4.4.2 Innerstädtische Grünflächen

Innerstädtische Grünflächen müssen neben der Erholungsnutzung auch klimatische, lufthygienische und ökologische Funktionen erfüllen. Ihre Bedeutung für die Entlastung der Umgebung wird durch die Ausdehnung der Flächen, durch das Relief, durch die Vegetationsstruktur und durch die angrenzende Nutzung oder Bebauung definiert. Die Wechselwirkungen zwischen Grünflächen und dicht bebauten Randbereichen hängt nicht nur von den Wind- und Austauschverhältnissen, sondern auch von der Ausdehnung der Parkanlagen und von der Dichte bzw. Durchlässigkeit der Randbebauung ab (HORBERT 2000, S.183).

Eine besondere klimatische und ökologische Funktion für Großstädte stellen die innerstädtischen Parkanlagen wie der Tiergarten in Berlin oder der Hyde Park für London dar (HORBERT 2000, S.176). Durch die Größe der Stadt und die landschaftliche Situation kann man Stuttgart in klimatischer Hinsicht damit nicht vergleichen. Dennoch haben die Schlossgartenanlagen, der Rosensteinpark und besonders die umliegenden Grünflächen an den Hängen, wie die Feuerbacher Heide und der Höhenpark Killesberg aber auch die kleineren Parks und begrünten Stadtplätze eine große Bedeutung für die Stadt und ihr Klima. Daneben sind außerdem Freiflächen wie Friedhöfe, Kleingärten und die in Stuttgart noch vorhandenen unbebauten Hangpartien und Klingen klimatisch ausgleichend wirksam.

Allgemein ist zu sagen, dass die Grünflächen selbst in den dicht bebauten Innenstadtbereichen tagsüber niedrigere Lufttemperaturen und nachts bei Strahlungswetterlagen durch die Kaltluftproduktion auf den Flächen eine verstärkte Abkühlung aufweisen (HORBERT 2000, S.175 und 183). Bei entsprechender Größe haben die Parkanlagen auch Auswirkungen auf die umliegende Bebauung, nach HORBERT (2000, S.178) kann eine exakte Größe nicht quantifiziert werden, er spricht von einer Fläche ab 10 ha, wobei dies zusätz-

lich noch von der Lage, dem Relief und den vorherrschenden Windrichtungen abhängig ist und im Einzelfall einer Untersuchung bedarf. Das INNENMINISTERIUM B.-W. (2004) spricht ab 50 ha von Grünflächen deren klimatische Wirksamkeit über ihre eigenen Flächengrenzen hinaus geht. Die Wirkung kleinerer Grünflächen ist indessen die eines "Platzhaltereffekt", der zumindest keine stadtklimatisch nachteiligen Eigenschaften aufweist (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004). Nach FITGER & MAHLER (1996, S.79) entwickeln unversiegelte Flächen ab 2 ha einen eigenen Luftkörper und damit ein Eigenklima. Sie dienen als Fläche mit günstigen bioklimatischen Verhältnissen als Aufenthaltsfläche mit geringen Belastungen.

Die höhere relative Luftfeuchte innerstädtischer Grünflächen ist auf die Temperaturunterschiede zurückzuführen. Die damit verbundene Schwülebelastung tritt durch die niedrigeren Temperaturen weniger häufig auf als in der bebauten Umgebung (HORBERT 2000, S.179). Durch die geringeren Temperaturen und die höhere relative Luftfeuchte bei einer geringen Schwülebelastung haben die Flächen große bioklimatische Bedeutung und dienen der Bevölkerung zur wohnungsnahen Erholung.

Die Wind- und Austauschverhältnisse werden im Bereich von Parkanlagen gantzätig sehr stark vermindert und damit auch die Belüftung herabgesetzt. Die Windgeschwindigkeit hängt allerdings von der jeweiligen Vegetationsstruktur ab. Auf offenen Rasenflächen entwickeln sich tagsüber hohe, auf bewaldeten Flächen gantzätig geringe Windgeschwindigkeiten. Eine locker aufgebaute Vegetation auf den Flächen dient einerseits der Durchlüftung und fördert die Ablagerung von Feinstäuben (HORBERT 2000, S.179 und 183).

Bei Friedhöfen und Stadtplätzen sind ihre klimatische Bedeutung zum großen Teil von der Ausgestaltung, sprich dem Versiegelungsgrad und der Nutzung abhängig. Auch sie erwärmen sich tagsüber nicht so stark wie die bebaute Umgebung und kühlen vor allem in den Nachtstunden stärker ab. Sie haben bei einem entsprechenden Vegetationsanteil und -aufbau eine geringere Schwülebelastung und eine verringerte Windgeschwindigkeit. Die günstigsten klimatischen Eigenschaften von innerstädtischen Plätzen werden dann erreicht, wenn zusammenhängende Grünflächen aus Rasen oder Bodendecker und gut durchlüftete Vegetationsstrukturen, wie zum Beispiel einzelne Bäume ohne Unterholz vorhanden sind (HORBERT 2000, S.172f).

Die Integration innerstädtischer Grünflächen in ein miteinander verbundenes System von Freiräumen und Parkanlagen leisten einen wesentlichen Beitrag zu klimatischen Ausgleichsfunktionen für das belastete Stadtgebiet vor allem als Luftleitbahn für die Belüftung und der kühlenden Wirkung der nächtlichen Kaltluft und hat allgemein positive ökologische Wirkung (HORBERT 2000, S.173).

Die bebauten Stadtteile die sich zum Neckartal hin öffnen zeigen auf den Infrarotbildern zwar tagsüber dieselben hohen Strahlungstemperaturen der Oberflächen wie der innere Teil des Talkessels, dennoch ist die Abkühlung dort im nordöstlichen Teil in den Morgenstunden weiter vorangeschritten, da ausgedehnte Frei- und Grünflächen vorhanden sind.

Im morgendlichen Wärmebild zeigen sich die Geländeeinschnitte Eckartshalde, Wartberg- und Steinbergklinge als kühlere Flächen und Frischluftschneisen für den Stuttgarter Norden. Sie dienen der Verbindung zwischen den größeren Grünflächen der Feuerbacher Heide und des Höhenparks Killesberg mit dem tiefer gelegenen Gebiet an der Heilbronner Straße. Das Fehlen weiterer ausgeprägter Hangflächen für die Ausbildung eines Hangabwindes für die nächtliche Kaltluft wird durch die Einlagerung der Schlossgartenanlagen, des Rosensteinparks, des Pragfriedhofs und im Stuttgarter Osten durch das Parkgelände Villa Berg kompensiert (ROBEL et al. 1978, S.140).

Die besondere landschaftliche und bauliche Situation Stuttgarts wird vor allem von den Hängen des Talkessels geprägt. Die vorhandenen locker bebauten Hänge und unbebauten Hangeinschnitte, die randlichen Grünflächen und die Kleingärten am Kesselrand haben für die klimatischen Gegebenheiten des Talgrundes große Bedeutung.



Abbildung 40
Blick von der Wernhalde auf Heslach und den Hasenberg

Durch die Temperaturdifferenz zwischen der überwärmten Bebauung des Stadtgebiets und den umgebenden Stadtrandbereichen mit ihrer lockeren Bebauung mit großem Grünanteil und den vorhandenen Grünflächen entsteht Konvektion, die den Luftaustausch fördert. Nur durch die freien Flächen der Hänge die kühlere Luft nachliefern wird diese Lokalzirkulation aufrecht erhalten, eine Erwärmung dieser Flächen die eine dichtere Bebauung zwangsläufig mit sich bringt, würde ein Einströmen der kälteren Luft aus dem Umland unterbinden, da diese bereits in den Hangpartien erwärmt wird und aufsteigt, sprich die Innenstadt am Kesselgrund gar nicht mehr erreicht und eine Kühlwirkung vollständig ausbleibt (s. a. 1.4.2.3 Luftzirkulationen am Hang).

Im infraroten Wärmebild treten die Gebiete zwischen Alter und Neuer Weinsteige (Geländeeinschnitt des Fangelbachs), der Bereich um Bopserklinge und Dobelklinge und die locker bebauten mit Gärten und Anlagen durchsetzten Flächen zwischen Geroksrue und Uhlandshöhe kühler hervor. Dies stellt für den innerstädtischen Luftaustausch eine wichtige Zone dar, da hier in direktem Bezug zur Innenstadt die deutliche Temperaturdifferenz die Luftbewegung aufrecht erhält. Der Kernbereich der Stuttgarter Wärmeinsel hat keine übermäßig große Ausdehnung und eine Ausweitung sollte verhindert werden. Dies beinhaltet, dass keine dichte Bebauung die Hanglagen des Talkessels erfasst, damit sind der baulichen Entwicklung der inneren Stadtbezirke enge Grenzen gesetzt (ROBEL et al. 1978, S.141).

Die optimale Ausgestaltung innerstädtischer Grünflächen in ihrer Funktion als klimatischer Ausgleichsraum wird in Kapitel 3.1.1 erläutert.

1.4.4.2.3 Land- und Forstwirtschaft

Gerade im Einzugsbereich von Städten und Ballungsgebieten übernehmen Wälder, Forste und landwirtschaftliche Flächen wichtige bioklimatische Ausgleichsfunktionen. Die Einflüsse des Klimas auf die Land- und Forstwirtschaft spielen hier eine untergeordnete Rolle, im Vordergrund stehen die klimatischen Eigenschaften dieser Nutzungen und deren Auswirkungen auf die nähere und weitere Umgebung. Bei Nutzungsänderungen die im städtischen Umland hauptsächlich eine Umwidmung zu Bauland für Wohn- oder Gewerbeflächen darstellt, gilt es klimaökologisch verträglich zu planen und die örtliche Bedeutung der land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen festzustellen und negative klimatische Auswirkungen der Planung zu minimieren oder zu unterlassen (HORBERT 2000, S.286f).

Wälder und Forsten üben aufgrund ihrer Biomasse und Struktur einen erheblichen Einfluss auf das Klima aus. In einem Waldgebiet bilden sich zwei verschiedene Klimaräume aus. Der Stammraum, dessen Tages- und Jahresgang der Lufttemperatur durch das Kronendach gedämpft ist und über der Waldoberfläche, die eine hohe Tagesamplitude der Temperaturen aufweist und für die Fernwirkung des Waldes verantwortlich ist.

Die Baumkronen der Wälder, die den Stammraum vor den Einstrahlungen der Atmosphäre abschirmen regulieren damit den Wärmeumsatz. Ein Waldbestand wird tagsüber nicht so stark aufgeheizt im Vergleich zur bodennahen Luftschicht über Freiflächen und kühlt sich nachts auch nicht so extrem ab (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Die Temperaturen der Waldoberfläche sind vom Strahlungsgenuss abhängig. Durch den großen Gewinn an Nettostrahlung der großen Blatt- und Nadeloberflächen der Bäume kommt es zu einer Verdunstungsrate, die der von offenen Gewässern entspricht. Dies führt zu einer hohen Abkühlungsrate der Lufttemperatur und zu einer Erhöhung der Luftfeuchte (HORBERT 2000, S.294).

Je nach Struktur bilden Wälder einen Windschutz mit einer Reichweite von etwa 30 mal der Bestandshöhe. Durch die Reduktion der Windgeschwindigkeit leisten die Flächen einen wirksamen Beitrag zur Luftreinhaltung. Besonders locker strukturierte und daher besser belüftete Areale können mehr aerosolförmige, wahrscheinlich auch gasförmige Schadstoffe binden (HORBERT 2000, S.295).

Hinsichtlich der Kaltluftentstehung in bzw. über Wäldern wird nach der topographischen Lage unterschieden. Die im Kronenraum abgekühlte Luft von Beständen in der Ebene sinkt in den Stammraum ab und stagniert dort oder fließt mit sehr geringer Geschwindigkeit im unteren Stammraumbereich als "Waldwind" aus dem Bestand heraus (VDI 2003, S.25). Die Abkühlung der Luft in Waldbeständen ist zwar weniger stark ausgeprägt als die über Wiesenflächen, es wird jedoch ein größeres Luftvolumen abgekühlt (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004). Bei Wäldern in Hanglage wird die Kaltluft in Bodennähe mit höherer Geschwindigkeit aus dem Stammraum transportiert und durch warme Luft ersetzt, die von oben in den Bestand eindringt. Durch die höhere Geschwindigkeit und das schnellere Nachfließen

wärmerer Luft wird diese in Wäldern am Hang weniger stark abgekühlt als in ebener Lage (VDI 2003, S.25).

Eine besonders wichtige Funktion stadtnaher Waldflächen vor allem in Hanglage stellt die Tatsache dar, dass sich auch tagsüber im Stammraum Kaltluft absetzt, die bei geneigtem Gelände ausfließen kann und eine thermisch und lufthygienisch entlastende Luftzirkulation mit dem Umland ermöglicht (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004). Entscheidende Faktoren für den Kaltluftabfluss sind dabei die Hangneigung von mindestens 2 Grad und die Dichte des Waldbestandes im Stammraum (SCHNEIDER 1995, S.122). Waldflächen sind damit selbst tagsüber klimaaktiv und stellen ein wichtiges Entlastungspotenzial für die überwärmten Siedlungsgebiete dar .

Neben der Fernwirkung erfüllt der Wald außerdem durch seine geringen Temperaturschwankungen und den günstigen lufthygienischen Eigenschaften auch eine wichtige bioklimatische Ausgleichsfunktion für die stadtnahe Erholung der Bevölkerung (HORBERT 2000, S.298).

Aus der Bodennutzung und der Stadtentwicklung heraus haben sich bis heute an den rutschgefährdeten oberen Hangpartien aus Knollenmergel die Waldflächen Stuttgarts zum größten Teil erhalten. Der Flächennutzungsplan für 2010 sieht eine Waldinanspruchnahme als "tabu" an, was nicht nur der Erholungsfunktion sondern auch die klimatische und wasserwirtschaftliche Nutzungsfunktion der Flächen erhält (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.109). Besonders die nordexponierten Hänge im Süden Stuttgarts unterhalb des Frauenkopfs und des Bopsers und die Wälder in der Heidenklinge, am Birkenkopf und Hasenberg sind in klimatischer Hinsicht besonders wichtig. Durch die geringere Einstrahlung aufgrund ihrer Exposition bilden sich Temperaturdifferenzen zwischen dem überwärmten Stadtgebiet und den Waldflächen aus, wodurch eine lokale Luftzirkulation entsteht. Diese Flächen produzieren in den Nachtstunden, aber auch tagsüber Kaltluft die der thermischen Entlastung der Siedlungen dient. Für die Verbesserung der lufthygienischen Situation des Talkessels tragen sie durch ihre Filterwirkung ebenfalls bei. Die hangaufwärts gerichteten Winde führen die bodennahen Luftverunreinigungen des Talkessels tagsüber mit sich und können in der Vegetation ausgefiltert werden, aus den Wäldern und Grünanlagen der oberen Hangpartien führt der am Abend einsetzende Hangabwind frische und saubere Luft dem Stadtkern zu (HAMM 1969, S.127).



Abbildung 41 Blick von den bewaldeten Randhöhen des Bopsers auf Stuttgart

Foto: BAUMÜLLER

Trotz der anthropogen geprägten und intensiven Nutzung landwirtschaftlicher Flächen bildet sich dort noch am ehesten die klimatische Charakteristik einer ungestörten offenen Landschaft aus, was besonders im Umfeld von Ballungsgebieten deutlich wird (HORBERT 2000, S.291f).

Der Wärmehaushalt landwirtschaftlich genutzter Flächen ändert sich mit der Art und Struktur der Pflanzenbedeckung (HORBERT 2000, S.287). An der Obergrenze der Vegetationsschicht findet durch die Absorption der Einstrahlung tagsüber und eine verstärkte nächtliche Ausstrahlung ein hoher Energieumsatz statt. Dies führt gegenüber Wald- und Wasserflächen, versiegelten oder bebauten Stadtbereichen zu einem ausgeprägten Tagesgang fast aller klimatischer Größen. Charakteristisch sind hohe Mittagstemperaturen und sehr tiefe Nachttemperaturen (HORBERT 2000, S.293).

Die Luftfeuchte innerhalb der Vegetationsschicht auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist um 20 % höher als außerhalb. Durch die nächtliche Temperaturabnahme über den Flächen steigt die Luftfeuchte in den Abend- und Nachtstunden bis zur Taubildung an der Oberfläche der Vegetationsschicht an. Durch die Taubildung wird der darüberliegenden Luftschicht große Mengen an Wasserdampf entzogen. In Siedlungsnähe wird der Rückgang der pflanzlichen Transpiration durch anthropogene Wasserdampfquellen mehr als ausgeglichen. Die Schwülebelastung ist in den Stadtquartieren erheblich höher als über den offenen, landwirtschaftlich genutzten Stadtrandbereichen (HORBERT 2000, S.287 und 292).

Die Windgeschwindigkeit erreicht über den offenen Flächen mit ihrer geringen Rauigkeit meist hohe Werte, in den Nachtstunden führt die Kaltluftbildung zu Bodeninversionen und damit stagnierenden Luftschichten (HORBERT 2000, S.293).

Eine wichtige klimatische Funktion landwirtschaftlich genutzter Flächen in der Umgebung von Städten ist die bereits genannte Produktion von Kaltluft. Bevorzugte Kaltluftentstehungsgebiete auf Wiesen und Feldern sind Flächen mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der Oberfläche, was hauptsächlich von der Bodenart und dem Bestockungsgrad bzw. die Art des Bestandsaufbaus abhängig ist (VDI 2003, S.21 und 23). Die bodenphysikalischen Eigenschaften werden über Art und Zustand des Substrates festgelegt, bestimmende Faktoren sind Dichte, Luft- und Wassergehalt, Porenvolumen, Bodenfarbe, -struktur und -zusammensetzung (VDI 2003, S.23). Böden mit geringer Dichte leiten die Wärme schlechter und sind somit gute Kaltluftproduzenten. Sandböden mit großen Korngrößen, weisen einen großen Porenraum mit einem hohen Luftanteil auf, was die Wärmeleitung mindert und damit die Kaltluftentstehung erhöht (VDI 2003, S.25). Unbewachsener Boden, Brachflächen, Hackfrüchte und Getreide und trockene Wiesen sind besonders gute Kaltluftproduzenten, außerdem haben Sandflächen, trockene Moor- und Torfböden eine geringe Wärmeleitung, die ebenfalls die Bildung von Kaltluft fördert (KRESS et al. 1979, S.36 und VDI 2003, S.24). Nach KING (in KRESS et al. 1979, S.36) wird über Wiesen, Feldern und Brachland etwa 10 - 12 m³ Kaltluft pro m² und Stunde gebildet. Bei fehlendem Abfluss oder Zufluss steigt die Mächtigkeit der Temperaturinversion um 0,2 m pro Minute an, innerhalb einer Stunde kann sich somit eine 12 m hohe Kaltluftschicht

über Grünland bilden.

Im Einzugsbereich von Städten und Ballungsgebieten erfüllen landwirtschaftliche Flächen eine wesentliche klimatische Entlastungsfunktion. Besonders die in Richtung der Stadtzentren führenden Flächen erzeugen nicht nur bodennahe Kaltluft, sondern können auch als Belüftungsbahnen dienen (s. Kapitel 3.1)(HORBERT 2000, S.293).

Zusammenfassend lassen sich die klimatischen Eigenschaften von landwirtschaftlichen Flächen wegen der nächtlichen Kaltluftbildung, der geringen Schwülegefährdung, den allgemein guten Wind- und Austauschbedingungen und der meist guten Luftqualität als recht günstig klassifizieren. Dies gilt besonders für die Flächen im Einzugsbereich von überwärmten Siedlungsgebieten (HORBERT 2000, S.292).

Für Stuttgart haben hauptsächlich die landwirtschaftlich genutzten Flächen der Filderregion eine große Bedeutung. Einerseits sind sie im Regionalplan unter anderem wegen ihrer positiven klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften als regionale Grünzüge oder Grünzäsuren mit Erholungsfunktion für die Stadtbevölkerung verzeichnet. Andererseits sind sie aufgrund ihrer thermischen Eigenschaften besonders als Ausgleichsräume wichtig (s. Kapitel 3.1). Die Wärmebilder der Stadt zeigen die Talsysteme am Rande der Filderflächen rund um Vaihingen und Möhringen mit dem oberen Nesenbachtal und dem Schwarzbachtal als Kaltluftabfluss- und -sammelgebiete die auch noch der Innenstadt zugute kommt. Die Luftreservoirare liegen westlich von Vaihingen und erstrecken sich bis etwa zur Autobahn (s. a. Anhang Karte 1). Die Neigung des Filderraumes zur Bildung von Kaltluft und damit zu häufigen Bodeninversionen, zeichnet sich in den morgendlichen Wärmebildern mit der starken Auskühlung der freien Landschaft zwischen Vaihingen und Möhringen deutlich ab (ROBEL et al. 1978, S.152f).



Abbildung 42
landwirtschaftliche Flächen auf der Filderebene

Foto: BAUMÜLLER

1.4.4.3 Wasserflächen

Die Darstellung der klimatischen Eigenschaften von Wasserflächen soll hier ergänzend eingefügt werden. Für eine klimatisch orientierte Planung der Stuttgarter Hänge haben Oberflächengewässer nur eine geringe Bedeutung und beziehen sich in ihren Ausprägungen nur auf die wenigen noch vorhandenen offenen wasserführenden Klingen. Dennoch werde auch Planungen wie der Stuttgarter Neckarpark durch den Fluss klimatisch beeinflusst, in anderen Stadtteilen wie Stuttgart-Feuerbach ermöglicht das Feuerbachtal eine ausreichende Belüftung und Minderung der thermischen Belastung. Somit zeigen sich auch die Wasserflächen klimatisch als durchaus planungsrelevant.

Die aufgrund der hohen Wärmespeicherfähigkeit von Wasser tagsüber kühleren Wasseroberflächen lassen gegenüber der bebauten Umgebung einen "Oaseneffekt" entstehen, der sich dadurch auszeichnet, dass der Verbrauch an latenter Energie über der Wasseroberfläche größer ist als die berechnete Strahlungsbilanz. Die zusätzlich verbrauchte Energie über der Wasserfläche wird durch die Zufuhr von Wärme aus dem bebauten Gebiet kompensiert. Laut Untersuchungen von KATAYAMA (1987 in KUTTLER 1991, S.382) beträgt der fühlbare Wärmestrom über einem 12 ha großen See in der bebauten Stadtfläche von Fukuoka, Japan, einen fühlbaren Wärmestrom von -200 W/m^2 , was $1/3$ der Globalstrahlung über der bebauten Fläche ausmacht.

Einen Einfluss auf die Höhe der Verdunstung hat nicht nur die Temperatur des Gewässers, sondern u. a. auch seine Form, deren Längs- und Querachsenlänge zur Hauptwindrichtung. Für die Menge des Wasserdampftransportes in die bebaute Umgebung hinein spielt es eine Rolle, ob der Wind parallel oder senkrecht zur Längsachse des Gewässers weht. Die Luftströmungen in paralleler Richtung zur Querachse haben eine höhere Verdunstungsrate als in Längsrichtung eines Gewässers. Den maximalen Wasserdampftransport in angrenzende bebaute Gebiete erhält man bei einer Orientierung der Längsachse der Wasserfläche senkrecht zur Hauptwindrichtung die überwiegend trockene Warmluft herantransportiert (KUTTLER 1991, S.383).

Die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in Gewässernähe wird vor allem durch die Gestalt der Gewässerränder bestimmt. Sind Uferbereiche mit Vegetation bestanden, so kann diese je nach Bestandsgröße und -aufbau und Länge der Uferrandlinie, bei Schönwetterperioden mehr verdunsten als die freie Wasserfläche (KUTTLER 1991, S.383).

Die Entwicklung einer Gewässer-/Stadtwindzirkulation (vgl. in größerem Maßstab Landwind - Seewind in Küstengebieten) zwischen einem innerstädtischen Wasserkörper und seiner bebauten Umgebung bei strahlungsstarken Wetterlagen, hängt von der Größe des Wasserkörpers ab. Bei konstant kühleren Temperaturen der Wasseroberfläche im Vergleich zur bebauten Umgebung (Gewässer mit ausreichend Fläche und 1-2 m Tiefe) sollte von der Ausbildung eines in das bebaute Gebiet hineinwehenden "Gewässerwindes" ausgegangen werden. Nachts ist die Entwicklung eines "Stadtwindes" aufgrund der geringen Temperaturdifferenz zwischen den warmen Wasserflächen und dem tagsüber aufgeheizten bebauten Stadtgebiet unwahrscheinlich (KUTTLER 1991, S.383).

Die Leitwirkung von Flusstälern kanalisiert und verstärkt die Luftbewegungen, so dass diesen Tälern vor allem in Ballungsgebieten wichtige Belüftungsfunktionen zugeordnet werden müssen. Dies schließt jedoch nicht aus, dass bei austauscharmen Wetterlagen in Flusstälern nicht nur die Nebel-, sondern auch die Immissionsgefährdung sehr hoch sein kann (HORBERT 2000, S.279).

Während austauscharmer Wetterlagen setzen Wasseroberflächen wegen ihrer äußerst geringen Rauigkeitslängen (1-2 cm, vgl. Stadtgebiet 1-3 m) einer Luftströmung kaum

Reibungswiderstände entgegen. Für die Belüftung eines Stadtgebietes kann daher die Lage, Form und auch der Verlauf eines Gewässers im Hinblick auf seine Nutzung als Luftleitbahn für das Heranführen von Frischluft aus der unbebauten Umgebung eine wichtige Rolle bei diesen Wetterlagen spielen (KUTTLER 1991, S.384).

Vor allem in der Region Stuttgart in der die tieferliegenden Kaltlufteinzugsgebiete in dieser so stark reliefierten Landschaft die Bach- und Flusstäler darstellen. Besonders deutlich zeigt dies das Nesenbachtal, das ehemalige Bachbett des Nesenbaches, das heute mit dem größten Abflussvolumen die wichtigste Luftleitbahn für die Belüftung der Stuttgarter Innenstadt darstellt. Durch das Verdolen des Baches dagegen profitiert das Stadtgebiet schon lange nicht mehr von der klimatischen Wirkung der Wasserfläche.

Tagsüber stellt sich zwischen dem überwärmten Stadtgebiet und der relativ kühlen Wasseroberfläche ein temperatursenkender Effekt im angrenzenden bebauten Gebiet ein. Nachts hingegen dürfte dieser Einfluss aufgrund der im Vergleich zum kühlen Umland wärmeren Wasseroberfläche geschwächt werden. Die herantransportierte Kaltluft wird beim Überströmen der Wasserfläche erwärmt und hat somit einen geringeren Kühleffekt für das Stadtgebiet (KUTTLER 1991, S.385).

Unter lufthygienischen Gesichtspunkten stellt ein biologisch intaktes Gewässer keine relevante Emissionsquelle für Schadstoffe dar und übt im lufthygienischen Sinne einen Platzhaltereffekt aus. Durch die niedrigeren Temperaturen und der höheren Luftfeuchtigkeit über der Wasseroberfläche senken sich tagsüber eine Vielzahl der in der Luft enthaltenen Spurenstoffe ab. Aus diesem Grund sind Luftströmungen, die dem Gewässerverlauf in das bebaute Gebiet folgen, von der Qualität her wesentlich höher einzustufen als solche, die durch breite Ein- und Ausfallstraßen mit entsprechender Freisetzung von Kfz-Emissionen oder über Eisenbahnschneisen als Luftleitbahnen in die Stadtgebiete führen.

In Hiroshima wurden von MURAKAWA et al. (1988 in KUTTLER 1991, S.386) Untersuchungen zu den qualitativen und quantitativen lufttemperaturmindernden Auswirkungen innerstädtischer Gewässer auf seine bebaute Umgebung vorgenommen. Die Untersuchungen bei sommerlichen Strahlungswetterlagen erfolgten in dicht als auch in aufgelockert bebauten, stärker durchgrüntem Stadtvierteln mit unterschiedlich breiten Straßen (10 m und 100 m) sowie unter Berücksichtigung dreier verschiedener Flussbreiten (56 m, 260 m und 300 m). Zusammenfassend kam MURAKAWA et al. auf folgendes Ergebnis: Breite Straßen haben einen erheblichen Einfluss auf die Temperaturreduktion, bei 100 m breiten Straßen ließ sich ein solcher Effekt noch bis maximal 400 m tief, bei schmalen Straßen nur bis etwa 100 m in die bebaute Fläche hinein nachweisen. Schmale Gewässer können auch zu einer Dämpfung hoher Temperaturen in seiner Umgebung beitragen. Es haben sich bis zu 1 K niedrigere Werte beiderseits des Flusses bis zu einer Eindringtiefe von etwa 200 m eingestellt, für schmale Straßen nur bis etwa 50 m.

Im Vergleich zum dicht bebauten Stadtgebiet wurden im aufgelockert bebauten und stärker durchgrüntes Gebiet Temperaturabsenkungen bis zu einer Entfernung von 200 m vom Fluss nachgewiesen.

Auch ein vertikaler thermischer Einfluss ließ sich während Strahlungswetterlagen bis etwa 20 m Höhe über dem Flussbett tagsüber nachweisen. Nachts hingegen stellte sich eine Temperaturreduktion zum bebauten Gebiet wegen der kaum vorhandenen Abkühlung des Flusswassers und der starken nächtlichen Ausprägung der städtischen Wärmeinsel nicht ein.

Der stärkste temperaturmindernde Effekt von einem Gewässer auf die bebaute Umgebung stellt sich während wolkenloser Sommertage ein, bei bedecktem Himmel und im Winter wird die Umgebungstemperatur kaum beeinflusst.

Der Effekt des Lufttransportes über Wasserflächen bei den geringen Windgeschwindigkeiten und der Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen könnte in Stuttgart eine unterstützende Rolle beim An- und Abtransport von Luftmassen spielen. Dies gilt innerhalb der Stadtgebiete, die im Einzugsbereich eines Baches oder Flusses liegen, wie beispielsweise Stuttgart-Feuerbach, die Siedlungen an der Körsch und die Stadtgebiete im Neckartal. Untersuchungen dazu liegen von der Abteilung Stadtklimatologie des Amts für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart bereits vor, besonders ausführlich zur Situation im Feuerbachtal, dessen kanalisierende Wirkung und Belüftungsfunktion für den Stadtteil Feuerbach und die angrenzenden Industrie- und Gewerbeflächen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1984). Für den Stuttgarter Talkessel gelten die Aussagen im Kleinen für die noch vorhandenen Klingen an den Hängen.

Bei der Anlage von Wasserflächen bzw. einer randlichen Bebauung von Gewässern sind unter klimatischen Gesichtspunkten die oben genannten Eigenschaften gerade in belasteten Ballungsgebieten zu berücksichtigen. Auch im Zuge von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen oder gewässerökologischen Planungen besteht die Möglichkeit auch die klimatischen Belange zu berücksichtigen und umzusetzen.

1.4.5 Entwicklungstrends und Fazit

RAPP und SCHÖNWIESE zeigen anhand einer Analyse der Temperaturtrends in Deutschland von 1961 - 1990, dass vor allem der Winter und das Frühjahr in ihren Durchschnittstemperaturen deutlich zunehmen (in LENTZ et al. 2004).

Auch die Temperaturmessungen von Stuttgart Hohenheim zeigen im Vergleich zum Beginn der Messreihe 1878 einen Anstieg der mittleren Lufttemperaturen, vor allem von 1990 bis 2004, in dem die drei heißesten Sommer seit 1878 verzeichnet wurden.

Die WHO sieht ebenfalls Entwicklungstrends zu höheren Durchschnittstemperaturen, höheren Temperaturmaxima und -minima und damit verbunden eine verstärkte thermische Belastung tagsüber und geringere Regenerationsmöglichkeiten in der Nacht. Sie warnt dabei vor der Kombination der klimatischen Trends mit den erwarteten gesellschaftlichen Änderungen, hin zu einem höheren Altersdurchschnitt der Bevölkerung und dadurch auch einer zunehmenden Anfälligkeit und geringerem Anpassungsvermögen für thermische Belastungen. Damit vergrößert sich die Risikogruppe für temperaturbedingte Krankheiten, die bis zum Tod führen können (WHO 2004, S.12ff und 26ff).

In der Zusammenfassung der IST-Situation muss damit gesagt werden, dass in der Region Stuttgart durchschnittlich hohe Temperaturen herrschen, die in der Innenstadt durch die dargestellten stadtklimatischen Faktoren auch noch verstärkt auftreten. Verbunden ist dies mit geringen Windgeschwindigkeiten, die zusätzlich durch die Lage im Kessel und die städtische Bebauung abgeschwächt werden. Dadurch tritt vor allem im Sommer Hitzestress auf, der nach den derzeitigen Trends zu steigenden Temperaturen auch weiterhin zunehmen wird. Im Winter bilden sich bei Hochdruckwetterlagen Inversionen, die sich negativ auf die Luftqualität auswirken. Beides stellt damit eine erhebliche Belastung für die Stadtbevölkerung dar und kann in erster Linie nur durch lokale Luftzirkulationen wie den Kaltluftfluss in das Innenstadtbereich und einer räumlichen Eindämmung und Reduktion der städtischen Wärmeinsel gemildert werden.

Die Übersicht (Abb. 44) zeigt nochmals den Zusammenhang der räumlichen Situation Stuttgarts und dem damit verbundenen Einfluss auf die Klimaelemente und deren Auswirkungen auf die klimatische Situation, die es durch planerische Vorgaben zu optimieren gilt.

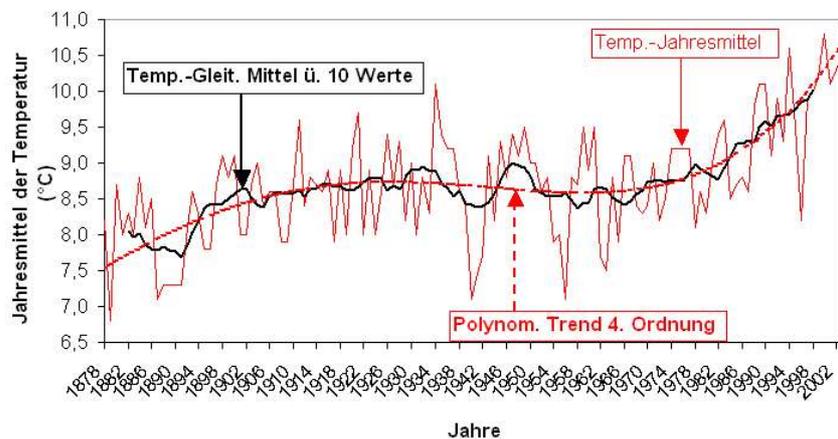


Abbildung 43 Temperaturtrend der Jahresmittelwerte der Messstation Stuttgart Hohenheim 1878 - 2003

Quelle: UNIVERSITÄT HOHENHEIM 2004

räumliche Situation

natürliche Faktoren:
 - geograph. Länge & Breite, Höhenlage
 - Orographie/Relief, Kessellage

anthropogene Faktoren:
 - Besiedelung, Versiegelung
 - Wärme- & Schadstoffemissionen

hat Einfluss auf

Klimaelemente
 (für die gesamtstädtische Klimasituation planerisch zu berücksichtigen)

erhöhte Temperaturen:
 - Stuttgarter Bucht angrenzend an die Regionen Neckarbecken u. Oberrheingraben
 - Lage im Talkessel und damit stärkere Erwärmung, geringere Wärmeabstrahlung
 - Wärmeinseleffekt mit hohen Maximumtemperaturen und geringer nächtl. Abkühlung

Wind:
 - allg. Windarmut der Region durch die Abschattung der umliegenden Höhenzüge (ca. 3 m/s)
 - verstärkte Schwachwindhäufigkeit durch die Kessellage
 - Abschwächung durch die erhöhte Rauigkeit der bebauten Oberflächen
 - mehr Zugscheinungen und lokale Verwirbelungen an Gebäuden
 - lokale Ausbildung thermisch induzierter Windsysteme (Kaltluftfluss)

Auswirkungen

verstärkte Wärmebelastung im Sommer, vermehrt heiße u. schwüle Tage u. nächtliche Wärmebelastung

schlechte Durchlüftung, lufthygienische Belastungen, mangelnde Abkühlung, beeinträchtigte Entwärmung

austauscharme Wetterlagen (im Winter nachts Bodeninversionen, tags abgehobene Inversionen) SMOG-Gefahr

Zufuhr von meist unbelasteter, kalter Luft von den Randhöhen in die Innenstadt

Abbildung 44

2 Siedlungsentwicklung in Stuttgart

Um die zukünftigen Entwicklungen der Stadt Stuttgart unter klimatischen Gesichtspunkten beurteilen zu können, ist es nötig, die Siedlungsgeschichte und die aktuelle raumplanerische und städtebauliche Situation der Stadt darzustellen. Im Folgenden soll ein kurzer Abriss über die historische Siedlungsentwicklung und die damit verbundenen klimatischen Problemstellungen und Regelungen gegeben werden. Daraufhin wird auf die derzeitigen Planungen im Stadtgebiet eingegangen und im Besonderen das Planungsrecht der Hanglagen betrachtet.

2.1 Siedlungsgeschichte

Die erste Phase der Siedlungsentwicklung **um 300 bis 500 n. Chr.** erfolgte nach dem Abzug der Römer. Es wurden die fruchtbaren, ebenen Flächen im Gäu und auf den Fildern durch die Alemannen mit Einzelhöfen oder Hofgruppen besiedelt, die steilen Hänge der Keuperstufe wurden gemieden. Nach DECKER-HAUFF (in BONGARTZ et al. 1985, S.189) wurde die Altenburg auf der Höhe gegenüber von Cannstatt im 6. Jahrhundert gegründet und stellte damals schon das Zentrum eines größeren Raumes dar. Erst mit einer weiteren Bevölkerungszunahme wurden etwa ab 800 die steileren Hanglagen, wie Sillenbuch, Gablenberg und Berg besiedelt.

Zwischen 926 und 948 gründete Herzog Hermann I. von Schwaben im Nesenbachtal einen Stutengarten mit Stuthaus und Kapelle, der eigentliche Ursprung Stuttgarts (WEIN in BONGARTZ et al. 1985, S.190). Die Rebkultur wurde urkundlich im mittleren Neckarraum vor 709 im Cannstatter Gebiet erwähnt, ca. um 950 kam dann der Terrassenbau auf, der die Nutzung der Hänge ermöglichte (BONGARTZ et al. 1985, S.189ff).

Vom 11. bis 16. Jahrhundert: Stuttgart scheint durch die Einbeziehung der im Talkessel liegenden Siedlung Frankenbach zum Stutengarten 1035, um das Gebiet der heutigen Stiftskirche gebildet worden zu sein. Der Zeitpunkt der Stadterhebung ist nicht genau bekannt, Stuttgart erlangte zwischen 1218 und 1245 nach und nach alle Rechte einer Stadt. Die Flurnamen Falkert, Hoppenlau, Birkenwald, Stöckach, Burgholz und andere weisen auf die Nutzung der Hänge zu einem großen Teil als Waldflächen hin. Erst mit dem Siedlungswachstum von Stutgarten und mit einer Ausweitung des Weinbaus seit dem 12. Jahrhundert wurde der Wald zurückgedrängt.

Im 14. Jahrhundert verlegte Graf Eberhard I. seinen Sitz nach Stuttgart und ließ die beim Stutengarten gelegene Kirche zur Stiftskirche erheben, dadurch wurde Stuttgart zum politischen und kirchlichen Zentrum. Dennoch war Stuttgart mit 3.000 – 4.000 Einwohnern relativ klein. Mit dem allmählichen Bevölkerungswachstum entstanden die Siedlungen Heschlach, Böhmisreute, Lehen und die Leonhardsvorstadt. Graf Eberhard I. ließ die Weinsteige ins Oberland auf Höhe Degerloch bauen, außerdem die Hasenbergsteige nach Calw, die Steige bei Steinhausen, bei der Weißenburg die Pragsteige und die Esslinger Steige vom heutigen Charlottenplatz aus. Die Liebfrauenvorstadt, später die Reiche Vorstadt

wurde um 1450 nordwestlich der Altstadt angelegt, die aber bis ins 19. Jahrhundert nicht vollständig bebaut war. Ein eindeutiges Baurecht wurde von Herzog Eberhard im Bart in seiner Landordnung festgelegt: Bauernhäuser durften nicht höher als zwei Stockwerke sein, für Priester- und Wirtshäuser und die Häuser der Stadt galten Ausnahmen. 1568 regelt die "Neue Bauordnung des Fürstentum Württemberg" die Bauweise, jedes Bauvorhaben musste angemeldet werden, ein Bauausschuss bestimmte nach einer Ortsbesichtigung was gebaut werden durfte.

Bereits 1490 musste in die Wasserversorgung künstlich eingegriffen werden, durch eine Leitung von Kaltental zum Brunnenhaus des Alten Schlosses. Die Gloms wurde zum Pfaffenensee aufgestaut, der künstlich über den Christophsstollen mit dem Nesenbach verbunden wurde. 1618 wurde der Bärensee in gleicher Absicht angelegt.

An den Hängen wurde im 16. Jahrhundert der Weinanbau zur Versorgung der Stadt ausgeweitet (BONGARTZ et al. 1985, S.189ff).

Das 17. und 18. Jahrhundert:

Stuttgart hatte 1698 13.000 Einwohner, mit dem Ziel die Stadt mehr zu bevölkern und mehr Gewerbe anzusiedeln entstand eine Wohnungsnot, woraufhin in den entscheidenden Gremien ein Streit entbrannte. In dem Gutachten des Oberrats und der Rentkammer der Stadt über die Stuttgarter Baupolitik hieß es: "Die Stadt sei schon volkreich genug (...) Stuttgart habe keine zum

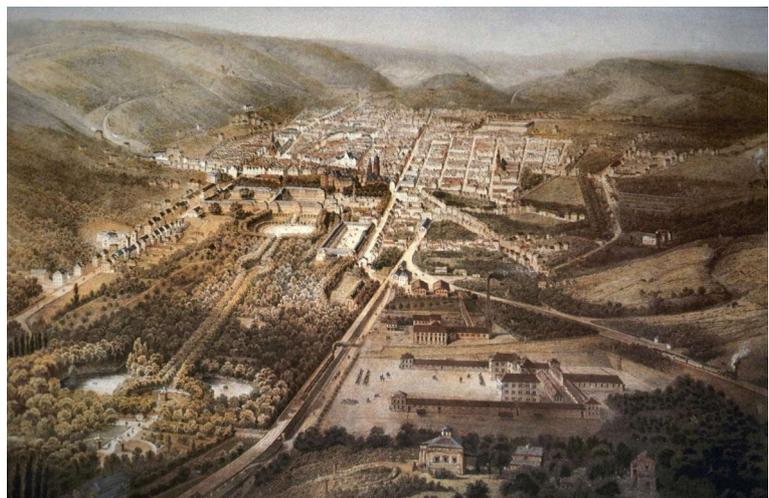


Abbildung 45 Stuttgart um 1698

Quelle: MARKELIN & MÜLLER 1991

Handel oder zu grösseren Gewerben taugliche Lage, denn es befinde sich in einem für den Warentransport nicht geeigneten Thale und entbehre eines schiffbaren Flusses, (...) Man habe die Stadt wegen des engen Thals und des schlechten Wassers von jeher für ungesund gehalten, und durch grössere Vermehrung der Einwohnerzahl würden die ansteckenden Krankheiten nur noch häufiger und schlimmer werden, neue Gebäude aber den Zufluss frischer Luft noch mehr verhindern." (RETTICH in STADTSCHULDHEISSENAMT STUTTGART 1901, S.199)

Ein weiterer Verweis auf die klimatischen Verhältnisse im Talkessel, enthalten die Ausführungen von WEVER, die über die Bebauung der Innenstadt schreibt, dass in der Altstadt nahezu alle Häuser mit Fensterläden versehen waren, die mit ihren Lichtsprossen an die heißen Sommer erinnern würden, die in dem engen Kessel einen Schutz vor der Sonne notwendig machen (WEVER 1924, S.27).

Erst der Bau des Neuen Schlosses, Schloss Solitude und Hohenheim, sowie Kasernen und der Militärakademie brachten Stuttgart wirtschaftliche Impulse. Trotz des stetigen Bevölkerungszuwachses vergrößerte sich das Stadtgebiet kaum, Steuervergünstigungen schafften Anreize, bestehende Häuser um weitere Stockwerken zu erhöhen und Neubauten 2-3geschossig auszuführen. Eine Stadtmauer mit militärischer Funktion wurde in Stuttgart nicht angelegt, aus diesem Grund fehlen heute die großen Ringstraßen oder Grünanlagen, wie sie später durch die Auflösung der Befestigungsanlagen in anderen Städten entstanden sind.

Im ländlichen Raum wurden um diese Zeit Gänsheide und Feuerbacher Heide kultiviert, die Gablenberger Heide mit Esskastanien und Nußbäumen bepflanzt und der Obstbau ausgeweitet. Ab 1714 entstand aus mehreren Erlässen zur Gassensäuberung, die heute noch bekannte Kehrwoche, mit dem Ziel des Seuchenschutzes und der Lufthygiene. Die Wasserversorgung war weiterhin ein großes Problem, zahlreiche Quellen außerhalb des Stadtgebiets führten Wasser über hölzerne Rohrleitungen in die Stadt, zum Brandschutz ließ Herzog Eberhard Ludwig 1701 den Feuersee anlegen (BONGARTZ et al. 1985, S.189ff).

Durch die territoriale Neugliederung Südwestdeutschlands im **19. Jahrhundert** wuchs Württemberg auf 19.500 km² mit 1,34 Millionen Einwohnern, Stuttgart wurde damit eine bedeutende Landeshauptstadt. Alle mit "Unreinlichkeit und üblen Gerüchen" verbundenen Werkstätten wurden in die neue Tübinger Vorstadt umgesiedelt. König Friedrich ließ in dieser Zeit auch den parkartigen Schlossgarten 1807 in den herrschaftlichen Wiesen anlegen, König Wilhelm I. gründete u.a. die Wilhelma und ließ über 500 Grundstücke in ihrer Umgebung zu Anlagen umgestalten. Rosensteinpark und Schlossgarten stellen auch heute noch die größten zusammenhängenden Grünflächen im Talkessel der Stadt dar (BONGARTZ et al. 1985, S.189ff).

Die Industrialisierung begann in der Stadt allmählich, 1832 gab es in Cannstatt, Berg und Stuttgart 25 Fabriken mit 1.060 Arbeitern, doch das Handwerk herrschte immer noch vor. Der Bau der Verbindungsstraße Stuttgart-Kalntal-Vaihingen-Böblingen, der Neuen Weinsteige und der Wilhelmsbrücke und den Anschluss Stuttgarts an das Eisenbahnnetz erleichterten die örtliche Verkehrssituation. Durch die stetig

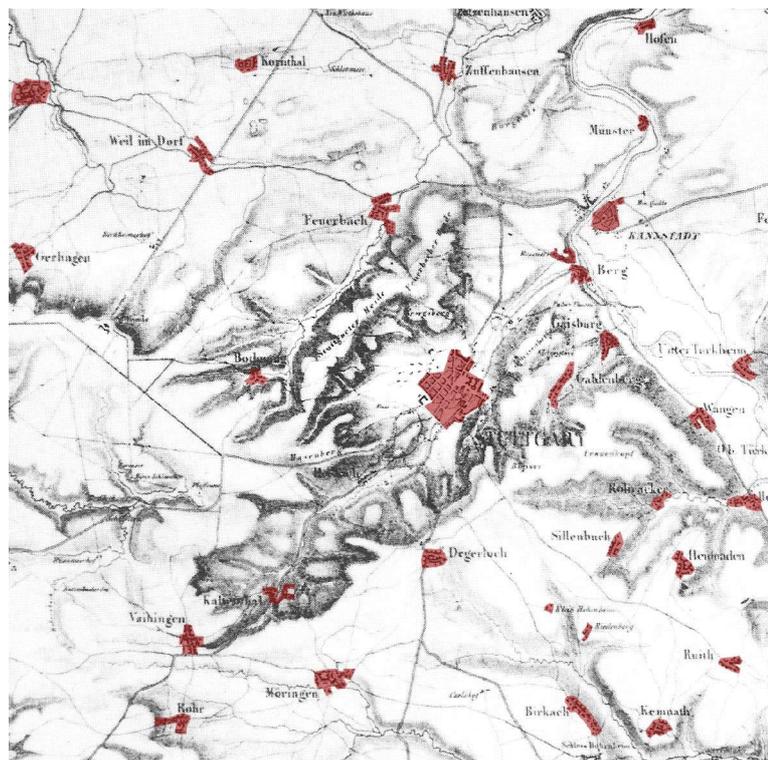


Abbildung 46 Siedlungen im Stadtgebiet um 1834

Quelle: MARKELIN & MÜLLER 1991, verändert

steigenden Bevölkerungszahlen musste die Stadt erweitert werden, zuerst wurden die Flächen zwischen den Ausfallstraßen überbaut und die Freiräume in der Reichen- und Esslinger Vorstadt. Schließlich legte 1818 Nikolaus von Thouret ein Generalbauplan für Stuttgart vor, in einer zweiten Neufassung wurde das rasterförmige Erschließungssystem in den bestehenden Stadtgrundriss eingefügt (BONGARTZ et al. 1985, S.189ff).

Bis 1840 lagen auch Planungen für die umliegenden Siedlungen wie Gablenberg, Heslach, Berg, Gaisburg, Degerloch und Hedelfingen vor. Die Erweiterungen Stuttgarts waren aber nur in schmalen Bereichen des Talgrundes möglich, da die herrschaftlichen Anlagen für eine Bebauung nicht in Frage kamen und die steilen Hänge noch ein zu großes Hindernis darstellten. Das Hauptwachstum erfolgte damit nesenbachaufwärts und in die weite Bucht des Vogelsangbachs (Stuttgart-Süd und -West) (BONGARTZ et al. 1985, S.189ff).

Das Anwachsen zu einer Großstadt vollzog sich in Stuttgart zwischen 1860 und dem ersten Weltkrieg. 1861 zählt Stuttgart 61.300 Bürger, um die Jahrhundertwende 176.700. Der Ausbau der Sohle des westlichen Beckens ist kurz vor der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert abgeschlossen, als neuer Bautyp entstehen mehrgeschossige Mietshäuser im Stadtgebiet. Mit dem Ortsbaustatut von 1874 soll die private Bautätigkeit gesteuert werden. Damit entstanden an den Hauptachsen der Gründerzeitviertel große, mehrgeschossige Gebäude. Die Ränder der Baublöcke wurden mit vier- bis fünfgeschossigen Mietshäusern gefüllt, Belichtung, Belüftung und Besonnung der Wohnungen spielten dabei keine Rolle. Zusätzlich fanden in den Innenhöfen gewerbliche Nutzungen Platz, was zu weiteren Konflikten führte (MARKELIN & MÜLLER 1991, S.47). Im Osten der Stadt zwischen Schlossgarten und Ameisenberg wurde das orthogonale Straßensystem trotz des stark ansteigenden Geländes weitergeführt. Als direkte Hangquerverbindungen entstanden die für Stuttgart typischen Staffeln. Für die großflächigen Stadterweiterungen bildete das weite, leicht ansteigende Becken im Westen günstigere Voraussetzungen, das nach dem Generalbauplan von 1832 quadratweise, mit gefluchteten, mehrgeschossigen Gebäuden überbaut wurde. Im Süden füllt die Bebauung das Nesenbachtal und umschließt Heslach.

WEVER kritisiert in ihrer Arbeit, dass die Reißbrettplanungen den orographischen Verhältnissen des Talkessels widerspreche, besonders als sich die Erweiterungen im Süden und Osten bis auf den Hangfuß ausdehnen und nur die Anlage von Diagonalstraßen in dem bewegten Gelände die Erschließung ermöglicht, schreibt sie "In der Breite, Geradlinigkeit und Eintönigkeit unterscheiden sie sich von den auf dem Beckenboden liegenden Längsstraßen nicht, nur wirken sie, da sie dem Gelände Gewalt antun, meist wenig schön; ein bezeichnender Vertreter dieser Straßengruppe ist die Olgastraße. Die verschiedenen vorhandenen Querstraßen, (...) führen unbekümmert um das Gelände senkrecht gegen die Hänge, bis sie zum treppenförmigen Aufsteigen gezwungen werden, was dem Stadtbild von Stuttgart eine sehr charakteristische Note verleiht" (WEVER, 1924, S.20f). Im südöstlichen Teil des Talkessels der auf den Rand des Beckenbodens und die Gehänge beschränkt ist, zeigt sich die rechtwinklige Aufteilung des Geländes unter Betonung der Längsstraßen, ähnlich dem südwestlichen Quadranten. Die Querstraßen sind mit Staffeln verbunden, die 50 m

und mehr an Höhenunterschied zu überwinden haben (z. B. die Eugenstaffel). Auch hier sind Diagonalstraßen angelegt, "planmäßig angeordnete, künstliche Schöpfungen, die den Zweck haben, die Hänge ohne Stufen zu erreichen." Diese geradlinigen Straßen mit fast 5 % Steigung sind "durchweg als ganz unnatürliche und deshalb zumeist auch unschöne Anlagen anzusprechen" (WEVER, 1924, S.22).

Ein **neues Ortsbaustatut 1897** diente der Stadterweiterung und legte die Stadt in drei Zonen fest. Die neue dritte Zone, die sich auf die Kesselhänge bezieht, soll mit freistehenden Häusern mit großen Abständen zueinander gebaut werden. Die Bebauung drang bereits in die Hangbereiche vor, die topographische Situation forderte ein Umdenken der Planer. Theodor Fischer forderte für die Bebauung der Hänge die Betonung des von der Natur Vorgegebenen durch bauliche Maßnahmen, Täler/Klingen solle man Freihalten von Bebauung, Höhenrücken betonen, Silhouetten steigern, Hänge entsprechend ihrer natürlichen Vorgaben unterschiedlich bebauen - "kurz: Durch die Betonung der Individualität der jeweiligen Stadt soll ihre spezifische Besonderheit verstärkt werden" (OSTERTAG 2004).

Die Straßen der Hänge wurden mit großer Sorgfalt an das Gelände angepasst, es entstanden windungsreiche Straßen, die auch heute noch einen Kontrast zu dem gründerzeitlichen Straßennetz des Talgrundes ergeben. Straßenzüge, die als "Panoramastraßen" festgelegt wurden, waren nur bergseitig zu bebauen. Die neuen Wohnviertel am Hang nehmen die Vor- und Rücksprünge der Kesselhänge auf und schenken den freien Flächen

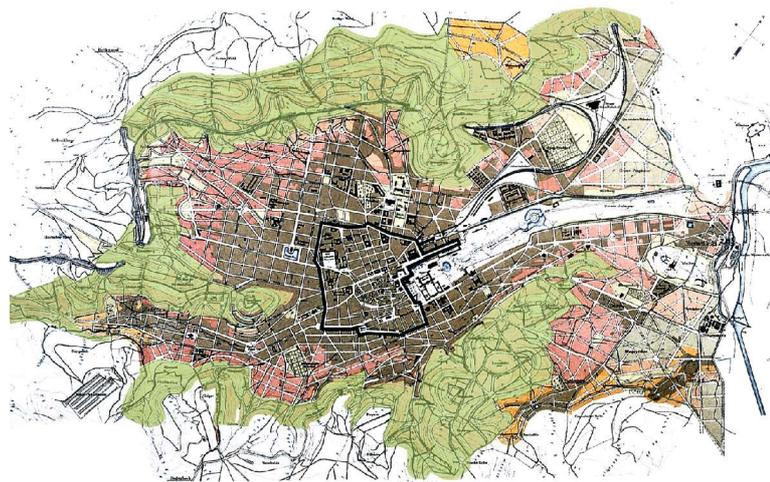


Abbildung 47 "Projectierte Stadterweiterungen" um 1901 (Bauquartiere mit "größeren Gebäudeabständen und besonderen Bestimmungen für das Anbauen" und Bauverbotsflächen grün unterlegt)

Quelle: STADTSCHULDHEISSENAMT STUTTGART 1901, verändert

wesentlich mehr Bedeutung als bisher (MARKELIN & MÜLLER 1991, S.65f). Durch diese Zonierung sollte außerdem ein Übergang von der dicht bebauten Innenstadt (1. Zone) über die zweite Zone mit festgelegten Abständen zwischen den Gebäuden (Stuttgarter Bauwuch), in locker bebaute Randbereiche (3. Zone) bis in die Landschaft erzielt werden.

Der aus dem Ortsbaustatut von 1897 entwickelte, von Stadtbaurat Kölle vorgelegte Stadterweiterungsplan 1901 markiert damit eine Phase der Umorientierung. Es entbrannte ein Streit über die weitere Stadtentwicklung, der vor allem unter dem Aspekt gesunder Wohnverhältnisse sehr heftig geführt wurde. Die Zonierung der Stadt sollte beibehalten werden, wobei die Baugebiete auf die gesamte Talsohle und die bisher nur teilweise be-

bauten Hänge ausgedehnt werden sollte. Ziel dabei war es mehr Bauflächen für Wohnquartiere zur Verfügung zu stellen. Mehrere Gutachten vor allem zu den hygienischen Folgen der Planung von Gemeinderat Dr. Rettich, Stadtarzt Dr. Knauss und Professor Nussbaumer aus Hannover, bezogen sich unter anderem auf die Art der Bebauung in geschlossenen oder offenen Blöcken und deren Möglichkeit zur Durchlüftung, außerdem die Notwendigkeit den unteren Schichten auch aus gesundheitlichen Gründen mehr Wohnraum zur Verfügung zu stellen. Die Lüfterneuerung für das gesamte Stadtgebiet bezogen auf die geplante Bebauung der Hänge wurde nur nebensächlich behandelt, da es die Verbesserung von Belichtung und Belüftung der einzelnen Baublöcke in der damaligen Situation vorrangig zu verbessern galt. Gebäudeabstände und Hofgrößen wurden auch aus dem Aspekt einer ausreichenden Zufuhr von Luft und Licht neu festgelegt. Die Erweiterung der Bauflächen der Zone 3 (Hanglagen) erfolgte durch die Ausweisung von Baugrundstücken, die sich unter anderem an deren Auswirkung auf das Landschaftsbild orientierte und die Festlegung von Bauverbotsflächen an den Hängen (STADTSCHULDHEISSENAMT STUTTGART 1901). Trotz der umfassenden Gutachten zur Hygiene und dem Bewusstsein über die klimatische Problematik im Talkessel Stuttgarts, die sich durch den Ausspruch von 1901: Stuttgart "besitzt durch seine besondere Lage hohe Grundwerte (Topografie, Hänge, Tal, Aus-, Ein- und Draufblicke, Klima), mit denen im Interesse der Allgemeinheit sparsam und haushälterisch und nicht verschwenderisch umzugehen sei" (OSTERTAG 2004) belegen lässt, waren 1901 grundlegend die volkswirtschaftlichen Gesichtspunkte vorrangig.

OSTERTAG (2004) ist der Ansicht, dass seit jener Zeit (1895-1905) das Thema der weiteren Entwicklung Stuttgarts nicht mehr so "intensiv, breit, tief und kontrovers" diskutiert wurde, so seien "wohl hehre Gedanken formuliert" worden, "doch gehandelt wurde in den folgenden Jahrzehnten danach nur wenig". Einige Punkte wurden jedoch für die weitere Stadtentwicklung in "bei der Stadterweiterung zu befolgenden allgemeinen Grundsätzen" festgehalten, etwa bescheidene Beschränkung der Bebauung, in Höhe, Breite, Tiefe, Abstände in besonderen Hanglagen, Freihaltung von talseitiger Bebauung bei wenigen Hangstraßen und einigen Standorten, Festlegung des Verlaufs einiger Straßen unter Berücksichtigung der Höhenlinien.

WEVER bezeichnet die Stadtteile am Hang, mit ihrem feinen Straßennetz als den Typus des Hanggürtels. Die Straßen sind nicht auf Grund eines planerischen Schemas sondern auf Grund der orographischen Gegebenheiten angelegt. Die Längsstraßen entsprechen hier den Höhenlinien angepasste Straßen, die verbindenden Querstraßen werden meist durch Staffeln gebildet. "Trotz der mannigfaltigen Formen ist dadurch hier die in systematischer Beziehung einheitlichste Grundrissform des Stuttgarter Stadtbezirkes entstanden." (WEVER, 1924, S.22)

Die Gebäude des Hanggürtels unterscheiden sich von den restlichen Stadtgebieten des Beckenbodens in so fern, dass als typische Hausform die Villa anzusprechen ist, die aber nicht immer als Einfamilienhaus genutzt wird (und wurde). Vom typischen Mietshaus der

gründerzeitlichen Stadtteile unterscheiden sich die Häuser durch den geringeren Umfang und die landhausähnliche Form. Sie besitzen meist zwei bis drei Stockwerke, stehen in offener Bauweise in geringer Dichte, meist in Gärten unterschiedlicher Größe, was "diesen Teilen von Stuttgart und, infolge ihrer Ausdehnung, damit der ganzen Stadt einen besonderen Reiz gibt." (WEVER 1924, S.33f)

Die unterschiedliche Intensität und der Verlauf der Besiedelung der Hänge schreibt WEVER (1924, S.33 u. 49) dem Einfluss der Besitzverhältnisse zu, die besser exponierten Hangteile wurden für die Weinkultur möglichst lang erhalten. Eine besonders dichte Besiedelung ist im Südosten Stuttgarts (nordwestlich exponierte Hänge) erkennbar, die frühzeitige Besiedelung zeigt sich vor allem für die Schattenseiten, z. B. im Sonnenbergtal zwischen Gänsheide und Bopser. Auch hinsichtlich der Einwohnerdichte zeigt sich in den Schattenseitenlagen der Hänge eine höhere Dichte (mit 200-300 EW/ha im Gegensatz zu weniger als 100 EW/ha im Durchschnitt an den Hängen).

Die Baudichte im Allgemeinen zeigt ein deutliches Gefälle zwischen Altstadt, den Stadterweiterungen und den bebauten Hängen. Der Beckenboden wird von einem durch den Bauwisch getrennte Reihenhaus geprägt, die Baudichte liegt zwischen 40 und 90 %, am dichtesten ist dabei die Altstadt bebaut. Die intensive Überbauung wird durch den Raumangel des engen Beckenbodens erklärt. Im Hanggürtel, wird durch die offene Bebauung und den hohen Grünanteil eine Baudichte unter 40 % erreicht (WEVER 1924, S.36). Die angegebenen Werte beziehen sich zwar auf die baulichen Verhältnisse vor dem zweiten Weltkrieg, lassen sich im Verhältnis aber sicherlich auch heute noch erkennen.

Interessant ist außerdem der Verweis, dass sich die Dichte "bei der oft noch unfertigen Bebauung" noch nicht vollständig abschätzen lässt, sprich eine weitere Besiedelung und bauliche Verdichtung der Hänge bereits Anfang des 20. Jahrhunderts erwartet wurde (WEVER 1924, S.36).

Aus dem Stadterweiterungsplan von 1901 entwickelte sich die **neue Ortsbausatzung 1935** in der die in Teilen heute noch geltende Gliederung des Stadtgebiets in Baustaffeln festgelegt wurde. Das gesamte Stadtgebiet wurde in 10 Baustaffeln mit festgelegten Abstands-, Dichte- und Nutzungsvorschriften aufgegliedert. Die Baustaffeln 1 - 3 gelten für die dicht bebauten Mischgebiete der Altstadt- und Gründerzeitviertel, die Baustaffeln 4 - 10 für aufgelockerte Wohn- und Landhausbebauung. Außerdem wurde die Ortsbausatzung durch ein Verzeichnis der bedeutenden Aussichtsstraßen ergänzt (MARKELIN & MÜLLER 1991, S.89).

Die Hangzonen des Stuttgarter Talkessels sind hauptsächlich als Baustaffel 8 und 9 "Landhausgebiete (geschützte Wohngebiete)" ausgewiesen. Zulässig ist in diesen Gebieten 10 - 20 % Überbauung, sprich eine Grundflächenzahl von 0,1 - 0,2 und eine zweigeschossige Bebauung. Es sind ausschließlich Gebäude mit Wohnnutzung zu errichten, pro Gebäude sind nur zwei Wohnungen zugelassen. Bei einer offenen Bebauung sind Seitenabstände von insgesamt 7 - 25 m, aber mindestens 2,50 m festgelegt. Zusätzlich wurden Bauver-

botsflächen ausgewiesen, die eine dichtere Bebauung und vor allem die talseitige Bebauung entlang der Aussichtsstraßen verhindern sollte (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1935, S.2f).

Nach OSTERTAG (2004) sollte dieses heute noch gültige Regelwerk ein "Instrument zur Steuerung der Bautätigkeit, vor allem an den Hängen sein". Dennoch sieht er die Problematik dass "durch die mit dem Wirtschaftswunder einsetzende rasante Bautätigkeit (...) auch die Hänge immer massiver besetzt" wurden. "Die Baustaffeln acht und neun werden nicht nur voll ausgenutzt, sie werden bis zum Gehnichtmehr strapaziert."

1967 wurde zur Entscheidung über die Aufrechterhaltung der Bauverbotsflächen (heute: nicht überbaubare Grundstücksflächen), die die Ortsbausatzung in den Baustaffeln am Hang vorsieht ein Städtebau-Ausschuss (Titel: "**Bauverbote an den Hängen der Kesselstadt**") einberufen. Aspekte der Diskussion waren:

- Auflockerung der Bebauung im Stadtgebiet
- die Aussicht von öffentlichen Plätzen und Straßen und deren Freihaltung
- Gliederung, Durchgrünung und situationsgemäße Ausprägung des Stadtbildes
- die Abgrenzung des Stadtgebiets von der unbebauten Landschaft
- Unwirtschaftlichkeit der Erschließung
- Verbesserung der klimatischen Verhältnisse

(LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1967)

Unter anderem wurde zum letzten Punkt durch den Meteorologen Schwalb des Chemischen Untersuchungsamtes der Stadt in den Arbeitsgruppen die klimatische und lufthygienische Bedeutung der locker bebauten Hänge mit ihrem hohen Grünanteil verdeutlicht. Zu den anderen Aspekten der Diskussion wurde im Einzelnen festgehalten, dass eine Auflockerung der Bebauung nach dem 19. Jahrhundert nicht mehr notwendig erscheine, die Aussichtsstraßen bereits in den Ortsbausatzungen verzeichnet und damit rechtlich verankert wären, eine Erschließung im Zuge steigender Grundstückspreise im Lauf der Zeit wirtschaftlich würde. Der Rücksicht auf das Stadtbild und die damit geforderte Durchgrünung und Gliederung der Hänge wird eine übergeordnete Bedeutung zugesprochen. Bei der Abgrenzung der Randgebiete zur unbebauten Landschaft wird das Problem auf die deutlichere Ausweisung der unbebaubaren Gebiete reduziert und wie im vorangegangenen Punkt eingeräumt, dass restriktivere Planungsentscheidungen kaum zu erwarten sind. Nur der klimatische Aspekt, der die stadtklimatische Situation auf die städtebauliche Entwicklung zurückführt und ähnliche Probleme bereits 1967 angesprochen hat, mit der die Stadt auch heute noch umgehen muss, wird eine Relevanz zugesprochen, unter der die weitere Verminderung der nicht überbauten Flächen "nicht vertretbar wäre". Vom Städtebau-Ausschuss wurde damit 1967 empfohlen, "die gegenwärtige aufrecht zu erhalten und bestehende Bauverbote nur in Ausnahmefällen (Unerheblichkeit, öffentliches Bedürfnis, Kom-

pensation) zurückzunehmen." Eine allgemein anwendbare Regelung für diese Ausnahmefälle wurde nicht festgelegt und empfohlen, im Einzelfall eine besondere Stellungnahme des Städtebau-Ausschusses einzuholen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1967, S.2f). Diese Planungspraxis der Einzelfallentscheidungen hat für die Bauverbotsflächen und die Baustaffeln 8 und 9 bis heute Gültigkeit und wird im Kapitel 2.2.3 weiter vertieft.

Zusammenfassend ist erkennbar, dass bereits die Siedlungsentwicklung und Stadtplanung der vergangenen Jahrhunderte sich der problematischen Situation der Stuttgarter Kessellage bewusst war, durch technischen Fortschritt konnte zwar beispielsweise die Wasserversorgung verbessert werden, dennoch galt es damals wie heute die klimatische Situation der Innenstadt gesondert zu berücksichtigen.

Die bauliche Entwicklung der Hanglagen begann erst Ende des 19. Jahrhunderts, nachdem die Erschließung und Bebauung auf diesem steilen, rutschgefährdeten Baugrund möglich wurde. Sie unterlag von Anfang an durch die Baustaffeln und die damit festgeschriebene Flächennutzung, die wohl weniger aus klimatischen und mehr aus städtebaulichen und landschaftlichen Gesichtspunkten begründet wurde, einem besonderen Schutzstatus, von dem das Stadt- und Landschaftsbild und auch die klimatische Situation im Talkessel heute noch profitiert. 1967 hat man sich dann, auch aus stadtklimatischen Gründen für den Erhalt der Bauverbotsflächen und damit für eine weniger dichte Bebauung an den Hängen ausgesprochen. Planungsrechtlich ist die bauliche Nutzung durch das heute noch geltende Recht der Baustaffeln 8 und 9 und die Darstellung der Flächen in den Flächennutzungsplänen von 1974 und 1990 als Kombination aus Wohnbaufläche und Grünfläche bis heute verankert.

Aktuelle planerische Festsetzungen auf der Ebene der Regionalplanung und der übergeordneten Bauleitplanung erläutert das folgende Kapitel 2.2.

2.2 aktuelle Entwicklungen in der Stadtplanung

In Punkt 2.2 beleuchtet die Zielsetzungen der aktuellen planerischen Grundlagen, die maßgeblich die Stadtentwicklung bestimmen. Da vor allem die Raumplanung in ihrem unterschiedlichen Differenzierungsgrad (Regionalplanung, übergeordnete und verbindliche Bauleitplanung) die klimatische und lufthygienische Situation beeinflusst sollen vorrangig die Ziele und Schutzmaßnahmen mit Bedeutung für Klima und Luft aufgeführt werden.

2.2.1 Regionalplan der Region Stuttgart 1995 - 2010

Die Grundsätze zur räumlichen Ordnung der Region werden im Regionalplan formuliert, die Grundsätze zur Sicherung und Verbesserung der natürlichen Lebensgrundlagen betreffen die klimatischen Belange.

Die **grundsätzlichen Ziele** zur Sicherung und Verbesserung der natürlichen Lebensgrundlagen für die Region Stuttgart werden im ersten Kapitel des Regionalplans formuliert. In

den Begründungen wird nochmals betont, dass dabei nicht allein die nötige Flächensicherung, sondern auch "die Sicherung und Verbesserung des Leistungsvermögens" berücksichtigt wird (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.41).

Allgemein soll der "Naturhaushalt und sein Leistungsvermögen zur Bereitstellung und Regeneration von Naturgütern sowie zur Aufnahme, Verarbeitung und zum Ausgleich von Belastungen,... auf Dauer gesichert und verbessert werden." (Punkt 1.4.1.1 des Regionalplans; VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.34) Dargestellt werden soll, dass das auf Dauer gesicherte Leistungsvermögen des Naturhaushaltes sowohl hinsichtlich der Art und Menge als auch hinsichtlich der Qualität die Grundlage der Existenz und der Entwicklung des Lebens in der Region ist (Begründungen zu 1.4.1.1; VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.41).

Die Freiräume sollen in der Region entsprechend ihrem natürlichen Potential für die Erholung, die Land- und Forstwirtschaft und als Sicherung des natürlichen Gleichgewichtes verbessert werden. (Punkt 1.4.1.2) In den Begründungen zu diesem Punkt wird vor allem herausgestellt, dass die vegetationsbestimmten, un bebauten Flächen "Träger der wichtigsten Freiraumfunktionen" sind. "Freiflächen zu erhalten, ist also die Voraussetzung für viele weitere Aufgaben und Leistungsmöglichkeiten des Naturhaushaltes" (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.42). Unter diesen Punkt fällt auch beispielsweise der Schutz landwirtschaftlicher Flächen als Kaltluftentstehungsgebiete. In der Begründung wird die Notwendigkeit der Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts dahingehend verstärkt, dass die Möglichkeit eingeräumt wird "derzeit besiedelte Flächen künftig als naturnahe Freiflächen gewidmet und genutzt werden."

1.4.1.3 des Regionalplans legt die frühzeitige Abstimmung der Flächen- und Standortbedürfnisse für Wohnen, Arbeiten, Infrastruktur und Freizeit mit den natürlichen Gegebenheiten fest. Unter anderem sollen auch die "sachlich und zeitlich weitergehenden Folgen ... die auf den Freiraum und seine Entwicklung wirken" berücksichtigt werden. In der Begründung wird darauf verwiesen, dass auch die indirekten Folgen einer Planung zu berücksichtigen sind und durch eine "frühzeitige Abstimmung" Planungsalternativen voll mit den grundlegenden Gegebenheiten von Natur und Landschaft abgeglichen werden können.

Erst in Punkt 1.4.1.4 wird konkret darauf abgezielt, dass für die durch "menschliche sowie technische und wirtschaftliche Eingriffe" verursachten Belastungen ein Ausgleich und das natürliche Leistungsvermögen des Raumes anzustreben ist. Bei unvermeidbaren Überlastungen oder weiteren Eingriffen ist frühzeitig und in deren räumlichen Nähe auf Ausgleich hinzuwirken (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.34). Auch in den Begründungen wird jetzt explizit das Kleinklima aufgeführt und es soll "grundsätzlich vorrangig ein Ausgleich unmittelbar bei den Siedlungen und nicht nur weit davon entfernt gesichert werden".

Zwar wird ein großräumiger Ausgleich in den Teilräumen der Region nicht ausgeschlossen, grundsätzlich sollen die Belastungen aber im direkten Bezug ausgeglichen werden.

Besonders wichtig bezüglich der Belange des Klimas ist auch die Festsetzung des Punkt

1.4.1.5 in dem die standortgebundenen natürlichen Lebensgrundlagen und Freiraumfunktionen (z. B. Kaltluftentstehungsgebiete und -abfluss) in ihrem räumlichen Wirkungsbereich und im Netzzusammenhang der Freiräume zu sichern sind. "Eingriffe durch Siedlungsvorhaben ... können daher nur in unumgänglichen Einzelfällen Vorrang haben". Auch hier wird in den Begründungen u. a. das Beispiel der Frischluftentstehungsgebiete aufgeführt.

Die "Grundsätze für die Siedlungsentwicklung" (1.4.2) beinhaltet die Sicherung gesunder Lebensverhältnisse und führt in der Region zu einer achsialen Siedlungsentwicklung zwischen der "größere zusammenhängende Freiräume für die Erholung der Bevölkerung sowie für die Regeneration von Luft und Wasser, ..." liegen (1.4.2.3).

Es wird betont, dass bei Siedlungserweiterungen zunächst die Möglichkeit der Verbesserung der Siedlungsbestandsflächen zu prüfen ist und Nutzungsmöglichkeiten im Bestand bevorzugt vor dem Neubau auf Naturflächen ausgeschöpft werden sollen. Die Begründungen stellen außerdem heraus, dass bei notwendigen Siedlungserweiterungen das Ziel der Verbesserung des Bestandes besonders beachtet werden soll (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.43).

In klimatischer Sicht betrifft dies besonders die Vermeidung einer weiteren Überwärmung der Siedlungsbestände durch Erweiterungen, die auch unter diesen Grundsatz des Regionalplans fallen.

Desweiteren wird in 1.4.2.6 auf die Möglichkeit bei zurückgehendem Bedarf an Bauflächen und in bereits stark belasteten Bereichen zur verbesserten Freiflächensicherung und zur Vermeidung von Fehlentwicklungen ein Rückbau und die Zurücknahme von Planungen verwiesen.

Im zweiten Kapitel des Regionalplans werden **Siedlungsbereiche und Entwicklungsachsen** (2.3) abgegrenzt. Den Ausgangspunkt der Entwicklungsachsen stellt die Stadt Stuttgart dar. Im Stadtgebiet gehören alle Stadtteile außer Rotenberg und Frauenkopf zur Entwicklungsachse. Die Schwerpunkte der Siedlungsentwicklung sind das Birkacher Feld, Stammheim Ost, Stuttgart 21 der Burgholzhof und Vaihingen. Nur bei der Siedlungsergänzung des Birkacher Feldes ist als besonderer Verweis für die weitere Entwicklung, auf die Berücksichtigung des Klimas hingewiesen (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.80ff).

In den Begründungen wird dargelegt, dass neben der vorrangigen Nutzung von Bestandsflächen die Siedlungsverdichtung ein weiteres Instrument zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme darstellt, wobei in der Bauleitplanung der Ausgleich zwischen Bauflächen mit höherer Verdichtung und solchen mit niedrigerer Verdichtung umgesetzt werden soll (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.110). Der aktuelle Flächennutzungsplan der Landeshauptstadt Stuttgart sieht sein Potenzial auch hauptsächlich in der Innenentwick-

lung und hat damit die Forderungen der Regionalplanung umgesetzt. Die damit verbundenen Auswirkungen auf die lokalklimatische Situation wird im Kapitel 2.2.2 erläutert.

Durch die Wiedernutzung von regionalbedeutsamen **Schwerpunkten für Industrie, Gewerbe und Dienstleistungseinrichtungen** (2.6) sollen die durch die bisherige Nutzung oft beeinträchtigten Freiraumbelange durch neue, ausgewogene Planungskonzepte angemessen berücksichtigt werden. Genannt sind in Punkt 2.6.3 u. a. die langfristige Sicherung und Wiedergewinnung klimatischer Funktionen wie Kaltluftschneisen, sowie die Verbesserung der Vernetzung vorhandener oder neuer innerörtlicher Grünbereiche mit den Regionalen Grünzügen und Grünzäsuren.

Punkt 2.6.5 legt fest, dass bei der Planung, Erschließung und Nutzung der regionalbedeutsamen Schwerpunkte für Industrie, Gewerbe und Dienstleistungseinrichtungen insbesondere die Aspekte (u.a.) Inanspruchnahme weniger empfindlicher Landschaftsräume, Vermeidung einer Beeinträchtigung benachbarter Wohngebiete zu berücksichtigen sind. Bei Schwerpunkten in Bestandsgebieten sind zusätzlich die Verbesserung von Freiraumfunktionen (genannt sind beispielhaft die Freihaltung von Talbereichen, Klima, Vernetzung der innerörtlichen Grünverbindungen mit den regionalen Grünzügen und Grünzäsuren) zu berücksichtigen.

Im Regionalplan sind für die industrielle und gewerbliche Nutzung das Gebiet Stuttgart-Vaihingen "Unterer Grund", für den bereits bei der Aufstellung des Regionalplans ein Bauungsplan vorlag, verzeichnet. Dies wurde aber aufgrund der Lage in der Hauptbelüftungssachse des Stuttgarter Talkessels nur in Teilen umgesetzt. Nachrichtlich sind Brachflächen in den Gebieten Zuffenhausen-West, Feuerbach-Mitte, Wangen-Ost, Güterbahnhof Bad Cannstatt, Schlachthof, Augsburgener Straße verzeichnet. Für Filderstadt-Bernhausen/Leinfelden-Echterdingen ist das Gebiet Bernhausen-West ausgewiesen, hier sind als besonderer Hinweis die Talauen als Freiraum-/Grünverbindungen zu berücksichtigen.

Das dritte Kapitel umfasst die für den Ballungsraum wichtigen **Freiräume**. Im Verdichtungsraum und in Zuordnung zu den Entwicklungsachsen werden ausgleichende, zusammenhängende Freiräume als Regionale Grünzüge gesichert. Zur Gliederung der Siedlungsentwicklung und zur Verbindung der Grünzüge sind Grünzäsuren ausgewiesen.

Im Vordergrund steht dabei die Sicherung eines vielfältig wirkenden Ausgleichs- und Ergänzungsraumes. Die Darstellung von Einzelfunktionen der Freiräume entfällt aufgrund dieses Grundsatzes des "vielfältig wirkenden Ausgleichsraums". Damit ist eine konkrete Sicherung klimatischer Funktionen einzelner Freiräume nicht gegeben (vgl. Empfehlungen von SCHNEIDER 4.2.1).

Wertvolle landschaftliche Einzelfunktionen, die nach dem Landesentwicklungsplan als "Schutzbedürftige Bereiche" vorgegeben sind, können im Raum zwischen den Entwicklungsachsen in den Vordergrund rücken. Die Erläuterungen zum Regionalplan geben aber

keine konkreten "Einzelfunktionen" an.

Zur Sicherung und Ordnung der vegetationsbestimmten Landschaft und ihres natürlichen Leistungsvermögens sind im Regionalplan folgende Instrumente angewandt:

Regionale Grünzüge dienen als Ausgleichsflächen in direkter Zuordnung zu den Entwicklungsachsen oder Siedlungsbereichen, die keiner weiteren Belastung insbesondere durch Bebauung ausgesetzt werden dürfen.

Kriterien für die Abgrenzung der Regionalen Grünzüge ergeben sich aus den überlagernden landschaftlichen Einzelfunktionen, durch eine Zusammenfassung kleinerer Einzelflächen die ökologischen Funktionen und die Erholungsfunktionen zu verbessern. Bereits vorhandene Eingriffe in diese Freiräume sollten beseitigt oder gemildert werden.

Die parzellenscharfe Abgrenzung erfolgt durch die Bauleitplanung oder der Fachplanung, im Regionalplan werden die Regionalen Grünzüge nur schematisch dargestellt.

Grünzäsuren sind nicht zu bebauende, naturnahe Freiflächen und Gliederungselemente der großflächig und dicht besiedelten Bereiche vor allem in den Entwicklungsachsen. Ziel ist u. a. die Erhaltung und Schonung natürlicher Lebensgrundlagen. Sie dienen als Ausgleichsräume und zur Gliederung der besonders dicht, häufig fast zusammenhängend überbauten Bereiche, insbesondere der Entwicklungsachsen. Sie sind Verbindungsglied größerer Freiräume (z. B. Regionale Grünzüge), erfüllen in der Regel mehrere wichtige ökologische Funktionen und sind für die Erholung bedeutsam. Die Begründungen in den Erläuterungen zum Regionalplan empfehlen die Schonung und Sicherung dieser Freiräume im Rahmen der Bauleitplanung mit Hilfe von Landschafts- und Grünordnungsplänen.

Genutzt werden Grünzäsuren durch Land- und Forstwirtschaft sowie Erholungseinrichtungen. Sie dienen der Erhaltung der landschaftlichen Eigenart und der morphologisch prägenden Elemente wie Bachläufe, Klingen, Kuppen, Steilhänge und Mulden. Neben den klimatischen Eigenschaften dieser Flächen (z. B. Kaltluftabfluss) ermöglichen Grünzäsuren erst ein Erfassen der Siedlungsbereiche durch deren Bewohner und eine gewisse Identifizierung.

Die Aufgaben der Grünzäsuren, eine Priorisierung oder Überlagerung verschiedener Freiraumnutzungen muss im Einzelnen an den natürlichen Voraussetzungen und dem "örtlichen Bedarf" ermessen werden. Im Regionalplan sind die mindestens zu sichernden Bereiche symbolhaft dargestellt, eine parzellenscharfe Dimensionierung und Lage soll auf Grundlage der örtlichen Gegebenheiten in der Bauleitplanung oder Fachplanung erfolgen (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.169f), die Bauleitplanung der Kommunen ist nach dem Baugesetzbuch (BauGB) an die im Regionalplan formulierten Ziele der Raumordnung anzupassen.

Im Regionalplan der Region Stuttgart sind zwar einige **Schutzbedürftige Bereiche für be-**

stimmte Landschaftsfunktionen (z. B. für die Erholung, für die Landwirtschaft, für die Wasserwirtschaft, für den Abbau von Rohstoffen) (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.193ff) ausgewiesen, explizit für die klimatische Funktion von Flächen ist kein Bereich festgehalten (z. B. wie von SCHNEIDER gefordert Vorrangflächen oder Vorbehaltsflächen für das Klima 1995, S.37). Dennoch haben z. B. auch landwirtschaftlich genutzte Flächen mit entsprechender Lage und Nutzung Auswirkungen auf die klimatische Situation (Kaltluftproduktion), deren Ausweisung als Schutzbedürftige Bereiche (für die Landwirtschaft) hinsichtlich des Klimas positiv zu bewerten ist.

Im derzeitigen Regionalplan für die Region Stuttgart werden Bereiche von Regionalen Grünzügen und Grünzäsuren, in denen zur Wahrung der Ausgleichsfunktionen die Erholungs- und Artenschutzfunktionen bevorzugt zu verbessern sind, als Schwerpunktbereiche für Landschaftsentwicklung ausgewiesen.

Unter diesem Aspekt könnten auch Flächen mit klimatischen Ausgleichsfunktionen in Regionalen Grünzügen und Grünzäsuren (z. B. Kaltlufteinzugsgebiete) unter einen besonderen Schutz gestellt werden.

In den Erläuterungen zur regionalen Bedeutsamkeit der Grünzüge und Grünzäsuren ist in den meisten Fällen das Klima mit aufgeführt, besonders die Flächen auf der Filderebene mit ihrer Ausgleichsfunktion für den Stadtkessel sind alle mit einem Verweis auf ihre klimatische Bedeutung ausgewiesen.

Vorgeschlagen wird außerdem, Ausgleichsmaßnahmen nach dem Bundesnaturschutzgesetz zur Verbesserung der Ausgleichsfunktionen von Regionalen Grünzügen und Grünzäsuren vorzusehen. Damit kann die Umsetzung nicht nur örtlicher Aufwertungen nach Bauvorhaben erreicht werden, sondern darüber hinaus der "großräumige Vernetzungszusammenhang" der darauf angelegten Grünzügen und Grünzäsuren gestärkt werden (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.192). In klimatischer Hinsicht kann damit, durch die Sicherung und Vernetzung der Grünzüge zwischen den Siedlungen unter anderem die Funktion von Luftleitbahnen wahrgenommen werden.



Abbildung 48 Regionalplan Raumnutzungskarte Region Stuttgart, Ausschnitt Stadtgebiet Stuttgart

Quelle: VERBAND REGION STUTTGART 1998

Die Regionale Grünstreifen und Grünzäsuren der Region erfüllen die notwendigen Ausgleichs- und Ergänzungsfunktionen für die Belastungen durch die Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung nicht immer. Besonders in den stark verdichteten Bereichen bestehen erhebliche Defizite und Beeinträchtigungen. Trotzdem werden als Folge der weiteren Entwicklung von Siedlung, Infrastruktur und Verkehr verstärkt Ansprüche an die Ausgleichsleistungen der Regionalen Grünstreifen gestellt (VERBAND REGION STUTTGART 1998, S.192).

Klimatisch ausgleichende Funktion können die als Freiflächen ausgewiesenen Bereiche nur dann wahrnehmen, wenn sie in ausreichender Größe und Gestalt weiterhin erhalten bleiben (s. Kapitel 3).

2.2.2 Flächennutzungsplan der Landeshauptstadt Stuttgart 2010

Das vorangegangene Kapitel 2.1 zur historischen Siedlungsentwicklung hat verdeutlicht, dass die Siedlungsplanung der letzten Jahrhunderte in Stuttgart den landschaftlichen Gegebenheiten und damit in weiteren Überlegungen auch der klimatischen Problematik unterworfen war. Der folgende Ausspruch von WEVER Anfang des 20. Jahrhunderts hat in seiner Aktualität hinsichtlich der heutigen Stadtplanung nicht an Bedeutung verloren:

"Je mehr aber der Ausbau des Beckens der Vollendung entgegengeht, desto sorgsamer wird der Flächenraum ausgenutzt, und allen sozialpolitischen Maßnahmen zum Trotz, die sich am Rande der Stadt in dem Bestreben zu gesunderer Wohnweise durch den Bau von Kleinhäusern kundtut, haben sich gerade in den jüngsten Wachstumsspitzen der Stadt Gebiete mit hoher Wohndichte herausgebildet. Gleichzeitig mit diesem Wachstum nach außen aber macht sich im Stadttinneren die entgegengesetzte Erscheinung bemerkbar, indem die Citybildung eine immer weiter um sich greifende Entvölkerung hervorruft." (WEVER 1924, S.50f)

Unter dieser historischen Bemerkung soll die Planung für die zukünftige Stuttgarter Flächennutzung betrachtet werden. In den Überlegungen zum Flächennutzungsplan 2010 (1993, S.9) wurden die grundlegenden Aufgaben der Stadtentwicklung auf eine Konzentration auf die Innenentwicklung formuliert. Die Phase der Stadterweiterung ist in Stuttgart weitgehend abgeschlossen und zukünftig schwerpunktmäßig die Innenentwicklung in Form von Stadtumbau, Modernisierung und Verdichtung innerhalb bebauter Gebiete vorrangig. So trägt die Stadt dem allgemeinen deutschen Trend des zunehmenden Flächenverbrauchs Rechnung, der im Zeitraum 1997 - 2000 eine tägliche Zunahme an Siedlungs- und Verkehrsflächen von 129 ha betrug und der besonderen Situation in der Region Stuttgart, hier wuchs die Bevölkerung zwischen 1970 und dem Jahr 2000 um 11 Prozent, die bebaute Fläche aber um 45 Prozent (VORHOLZ 2002, S.19). Im FNP 2010 sind 106 ha Neubauf Flächen für die Wohnnutzung und 53 ha für das Arbeiten gegenüber 415 ha und 208 ha im FNP 1990 ausgewiesen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.27f).

Das Verhältnis zwischen Beschäftigten und Wohnbevölkerung hat sich in Stuttgart seit 1970 zu Lasten der Wohnfunktion verschoben. 1970 kamen auf 1000 Einwohner 700

Beschäftigte 1987 lag das Verhältnis bei 801 Beschäftigte/1000 Einwohner, 2000 wurden nur noch knapp 600 Beschäftigte/1000 Einwohner verzeichnet. Die Zahl der Einpendler lag 1970 bei rund 144.000, 1987 bei ca. 210.000, was bis heute mit ca. 197.600 relativ konstant geblieben ist (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1993, S.7 und STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 2004). Zu erklären sind diese Zahlen mit der Tatsache, dass die Landeshauptstadt wegen der Funktion als Oberzentrum eine Arbeitsplatzzentralität darstellt und sich durch den Wegzug aus der Stadt der Wohnflächenbedarf durch einen verstärkten Siedlungsdruck auf die umliegenden Gemeinden bemerkbar macht. Durch das Baulandgesetz muss grundsätzlich mit der Gewerbeansiedlung auch der Wohnungsversorgung der Beschäftigten auf der Gemarkung "Rechnung getragen werden" (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1993, S.7). Aber auch aus raumplanerischer und klimatischer Sicht ist eine weitere Trennung der Funktionen "Wohnen" und "Arbeiten" nicht erwünscht, da damit eine höhere Verkehrsbelastung durch den Individualverkehr zu erwarten ist. Dies führt zu einer vermehrten lufthygienischen Belastung und Lärm und damit zu einer weiteren Verringerung der Wohnqualität in der Stadt.

Die nun vorrangige Innenentwicklung soll unter dem Stichwort der "qualifizierten Dichte" Wohngebiete mit einer Geschossflächenzahl von über 1,2 wie etwa im Stuttgarter Westen durch Nachverdichtung entwickeln. Auf die besonderen Anforderungen was dies an das Stadtumfeld stellt, wie ausreichend öffentlichen Raum und Grünanlagen, wird vom Stadtplanungsamt hingewiesen. Die Grenzen der Verdichtung ergeben sich demnach aus der Qualität des Stadtumfeldes und aus der Funktion der Fläche für das Stadtklima bzw. ihrer Funktion als innerstädtischer Freiraum. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die gegenwärtig bereits dicht bebauten Gebiete der Stuttgarter Innenstadt, der Stuttgarter Westen, die Altstadt und die Gebiete östlich des Schlossparks im FNP 2010 als "Grünanierungsbereiche" ausgewiesen werden. In diesen Gebieten soll durch möglichst viele, auch punktuelle Maßnahmen wie Blockentkernung und Hinterhofbegrünung, Fassaden- und Dachbegrünung, Entsiegelungsmaßnahmen, das vorherrschende Defizit an Stadtgrün verringert werden (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.130). Auch die Hochhausbebauung wird als geeignete Form für die geplante Nachverdichtung genannt (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1993, S.15).

Der Flächennutzungsplan 2010 der Stadt Stuttgart enthält dazu das bereits erwähnte Standortkonzept für die "Hochhäuser in Stuttgart" als Leitlinie für die Bauhöhenentwicklung im Stadtgebiet. Das Konzept definiert zwei Eignungszonen, eine Schutzzone als Tabufläche für Hochhausbebauung aufgrund topographischer, stadtklimatischer und stadtgestalterischer Randbedingungen und einen Untersuchungsbereich in dem höhere Häuser bei Berücksichtigung der Umwelt- und Sozialverträglichkeit möglich sind, eine Einzelfallprüfung der städtebaulichen und klimatologischen Auswirkungen ist vorgesehen. In den Schutzzonen ist eine Hochhausbebauung in Bereichen mit wesentlicher Funktion für das Stadtklima (Hauptluftleitbahnen entsprechend Klimaatlas) nicht zulässig. Die Regelhö-

he der Gebäude ergibt sich nach der Eigenart der näheren Umgebung (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.41).

Wie das Zitat von WEVER bereits 1924 angedeutet hat, ist die Problematik mangelnder Wohnungen aber nicht ausschließlich das Defizit an Wohnflächen, sondern die Standortwünsche des expandierenden Verwaltungs- und Dienstleistungssektors, die die Wohnnutzung zunehmend aus der Innenstadt verdrängen. Beliebtes Nachfragegebiet ist der innenstadtnahe und hervorragend erschlossene Westen. Erst in der weitläufigeren Bebauung der oberen Kesselhänge und in den zentrumsfernen Stadtvierteln wie Ostheim oder Botnang verringert sich der Umnutzungsdruck (MARKELIN & MÜLLER 1991, S.151f). Die Stadtplanung muss diesem Trend entgegenwirken um die bekannten Folgen der Nutzungsentmischung wie lange Wege oder die mangelnde Aufenthaltsqualität und Sicherheit in Geschäftsvierteln nach Laden- und Büroschluss zu vermeiden. Eine gewerbliche Nutzung in Wohngebieten führt außerdem meist zu zusätzlichen Ansprüchen, wie Erweiterungsmöglichkeiten, einer besseren Erschließung oder mehr Stellplätzen, für die diese Gebiete nicht ausgelegt sind (KRIEGER 2005, mdl. Mitt.). Im FNP 2010 wird eine Revitalisierung der Städte durch Dichte, Mischung und Polyzentralität für Stuttgart gefordert (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.11) außerdem ein ausgewogenes Nutzungsverhältnis zwischen Wohnen und Arbeiten durch Ermittlung der Bereiche in denen der Wohnanteil erhöht werden kann (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1993, S.13).

Betrachtet man die Planungen aus klimatischer Sicht, ist die Tatsache, dass das Stadtklima für die Stadtplanung bereits im Vorfeld einer Planung berücksichtigt wird, beispielsweise in dem Vermerk in den Überlegungen zum Flächennutzungsplan 2010, dass sich die Grenzen einer "qualifizierten Dichte" unter anderem aus der Funktion der Fläche für das Stadtklima ergeben (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1993, S.15), positiv zu werten. Nach den entsprechenden Festsetzungen im BauGB zur Beteiligung der Behörden und Träger öffentlicher Belange und Aussagen des Stadtplanungsamts von Stuttgart wird die Abteilung Stadtklimatologie des Amts für Umweltschutz frühzeitig bei allen Fällen der Neubebauung in die Planung integriert. Als Planungs- und Entscheidungsgrundlage dient hier auch der Klimaatlas für die Region Stuttgart, der klimatische Planungsempfehlungen auf der Ebene der Flächennutzungsplanung beinhaltet (KRIEGER 2005, mdl. Mitt.).

Unter klimatischen Gesichtspunkten muss die Innenentwicklung differenziert betrachtet werden. Eine flächensparende Entwicklung verhindert eine weitere Ausdehnung der städtischen Wärmeinsel und kommt vor allem dem Erhalt der klimatischen Ausgleichsräume zugute, in dem keine weiteren vegetationsbestandenen Flächen im Umgriff der Stadt versiegelt werden und somit nicht mehr zur Kaltluftproduktion sondern ganz im Gegenteil zur weiteren Überwärmung des Siedlungskörpers beitragen. Zu berücksichtigen ist andererseits, dass eine Verdichtung der städtischen Quartiere eine Verschärfung der bereits vorhandenen stadtklimatischen Effekte zur Folge hat. Die Wohndichte und der damit verbundene Versiegelungsgrad korrelieren mit der thermischen Belastung, dem

vermehrten Schwüleempfinden und der verminderten Windgeschwindigkeit. Ein Beispiel dafür stellt der dicht bebaute Stuttgarter Westen dar, wie es bereits in den vorangegangenen Kapiteln erläutert wurde.

Die klimatischen Gegebenheiten sind aber direkt mit der Wohnqualität für die Bevölkerung verknüpft, attraktive Wohnstandorte in der Stadt können nur durch die Berücksichtigung dieser erhalten und geschaffen werden.

So gibt die Stuttgarter Bevölkerung folgende Eigenschaften für ihr gewünschtes Wohnumfeld an: Im Allgemeinen ist die Zufriedenheit der Bürger mit der Lebensqualität seit 1997 angestiegen, bei der Bürgerumfrage 2003 schätzen 67 % der Bürger die Lebensqualität als durchweg oder überwiegend gut ein. Die Problematik des Straßenverkehrs in der Stadt wird derzeit als Problem von 70 % der Stuttgarter, das mangelhafte Wohnungsangebot von 46 % angegeben. Die Umweltprobleme unter dem Stichwort Luft, Wasser, Lärm, Abfall ist für 39 % der Stuttgarter relevant und hat damit in der Besorgnis seit 1999 abgenommen. Mit den Parks und Grünanlagen die zu den knapp 19 m² Erholungsfläche je Einwohner zählen, zeigen sich 2003 77 % der Bürger zufrieden oder sehr zufrieden (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2003).

Eine zunehmende Verdrängung der Wohnnutzung durch den Verwaltungs- und Dienstleistungssektor und durch eine gewerbliche Nutzung macht sich vor allem in der Stuttgarter Innenstadt aber auch an den Hanglagen bemerkbar (KRIEGER 2005, mdl. Mitt.). In Anbetracht dieser Entwicklung kann die Argumentation einer weiteren Verdichtung der Hangbebauung zu Gunsten der Wohnbebauung mit unter anderem gravierenden Folgen für das Stadtklima nicht geltend gemacht werden. Die Forderung den Wohnanteil in bereits bebauten Gebieten zu erhöhen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1993, S.13) erscheint hier zielführender.

Der FNP 2010 hat zwar die Innenstadt und Teile des Stuttgarter Westens mittels Nachverdichtung als Flächen mit Bauflächenpotenzial ausgewiesen, die Hanglagen des Stadtkessels fallen jedoch nicht in diese Kategorie (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.18). Diese Wohnbauflächen Kesselrand sind als Bestand einer Kombination

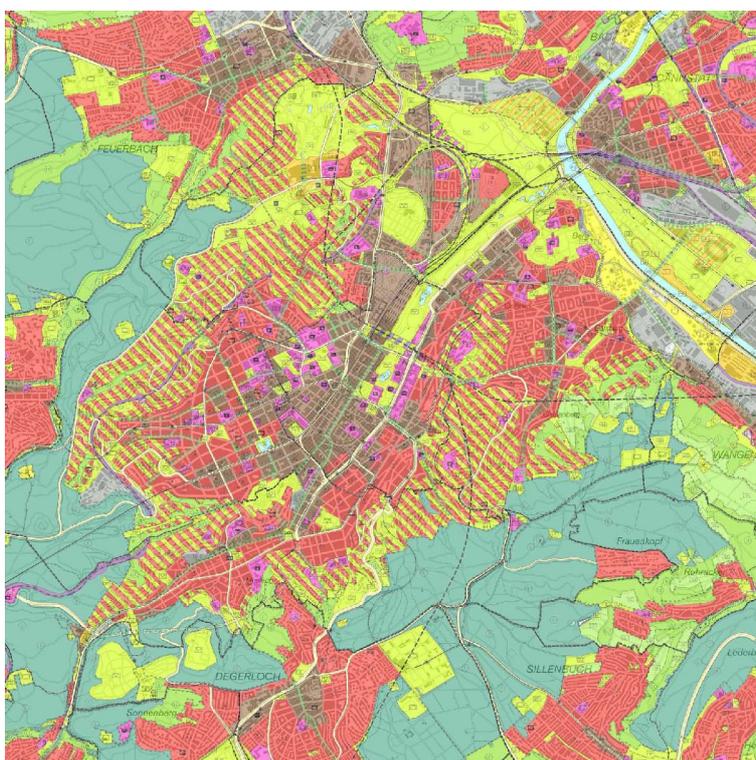


Abbildung 49 Flächennutzungsplan 2010 Landeshauptstadt Stuttgart - Ausschnitt des innerstädtischen Talkessels

Quelle: LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a

von zwei unterschiedlichen Nutzungsarten als Wohnbau- und sonstige Grünfläche im FNP 2010 eingetragen. Diese Nutzungskombination stellt eine Flächenkategorie dar, die angesichts der speziellen Situation der Stuttgarter Hanglagen vom Stadtplanungsamt erst eingeführt wurde. Sie bedeutet, dass die bestehende Wohnbebauung stark durchsetzt sein soll von Grünflächen durch eine geringe Überbauung der Grundstücke und ausgewiesene Flächen, die von Bebauung freizuhalten sind. Größe und räumliche Lage dieser freizuhaltenden Flächen werden

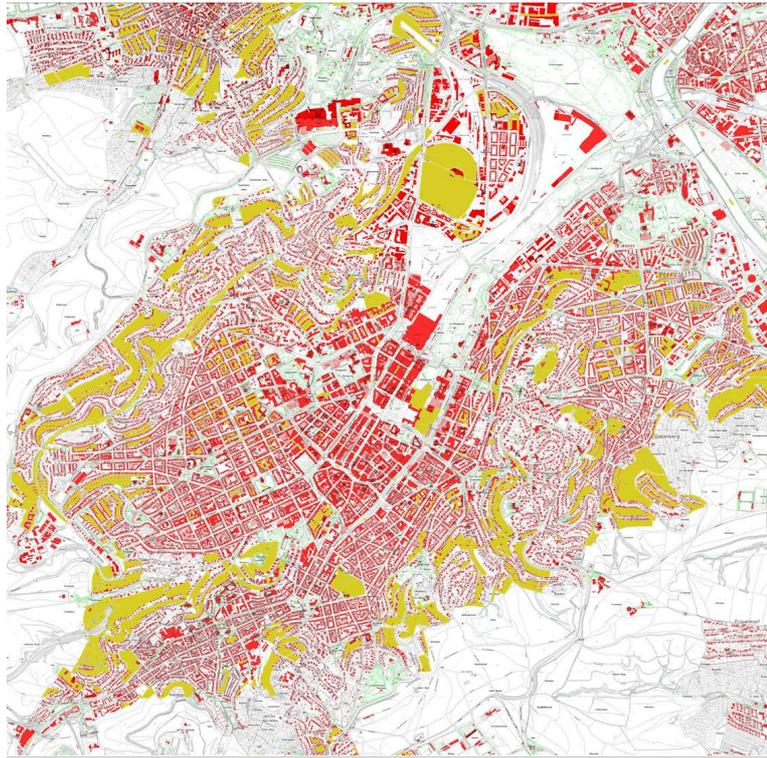


Abbildung 50 Bauverbotsflächen im Stuttgarter Talkessel

Quelle: STUCKENBROCK 2005

im Bebauungsplan festgesetzt (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.128), eine Übersicht dieser ehemaligen "Bauverbotsflächen" zeigt die Abbildung 50.

Zusätzlich sind in einigen Hangbereichen Grünkorridore verzeichnet, sie kennzeichnen symbolisch Bereiche in denen durch Maßnahmen wie beispielsweise Baumpflanzungen, Begrünung einer Abfolge von Plätzen oder Wegeverbindungen die Verbindung zwischen Freiflächen durch die bebauten Gebiete hindurch und an den Kesselrändern auch zwischen den außerhalb liegenden unbebauten Flächen und den Freiflächen innerhalb der Siedlung, verbessert werden soll (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, S.130). Trotzdem unterliegt die bauliche Entwicklung der Stuttgarter Hänge einer besonderen Problematik, die im nachfolgenden Kapitel dargestellt wird.

2.2.3 Problematik der Hanglagen

Architekten, Stadt- und Landschaftsplaner sowie Fachplanungen aus dem Bereich der Klimatologie haben sich bereits Gedanken zum Thema der Hangbebauung gemacht, im Allgemeinen kommt beispielsweise FEZER (1995, S.131) zu der Empfehlung, die Bebauung auf sanfte Hänge mit Neigungen unter 30 % (17 Grad) zu beschränken, da steilere Hänge zwar wegen "unverbaubarer Aussicht bei finanzkräftigen Bauherren besonders begehrt" seien, andererseits aber auch aus großer Entfernung sichtbar sind. Um die Hangwinde (tags auf-, nachts abwärts) zu erhalten, kommt nur eine lockere Bebauung in Frage. Die ohnehin hohen Erschließungskosten teilen sich unter verhältnismäßig wenigen Bauherren

auf. So soll jeder Planer und Gemeinderat berücksichtigen, ob sich eine vorgesehene Hangbebauung lohnt bzw. überhaupt zu verantworten ist. Eine Nutzung als Park mit Aussichtsplattform, Wald, Obstgarten oder Weinberg bekäme dem Stadtbild viel besser.

2.2.3.1 Funktionen der Hanglagen

So haben die Hänge und Randhöhen des Talkessels wichtige Funktionen, die nicht nur die stadtklimatischen Belange betreffen und hier nur kurz angesprochen werden sollen:

- unbebaute Gebiete wie Klingen, Weinberge, Obstwiesen und Waldflächen auf den Randhöhen als prägende Elemente des **Landschaftsbildes**
- locker bebaute, stark durchgrünte Quartiere entlang den Höhenlinien angeordnet als prägendes Element für das **Stadtbild**
- Zeugnis der städtebaulichen Entwicklung Stuttgarts und damit gelebte und erlebbare **Stadtgeschichte**
- qualitativ hochwertige städtische **Wohngebiete**
- innerstädtische **Erholungsgebiete** mit Spazierwegen, Rundwanderungen und **Ausblicken**
- wichtiger Ausgleichsraum für das **Stadtklima** (s. Kapitel 1.4)

Hinsichtlich des Stadtbildes sind die grünen Hänge als Kontrast zum dicht bebauten Talkessel notwendig, durch die geringe Dichte sind die Halbhöhen qualitativ hochwertige Wohngebiete, die ein Markenzeichen für Stuttgart darstellen (STUCKENBROCK 2005). Die umgebenden, meist bewaldeten Randhöhen verbinden die kleinteilige Struktur der tiefer liegenden Gärten und Häuser, geben dem Stadtbild seinen grünen Rahmen und dienen zugleich der Naherholung (LUDWIG & MÖHRLE 2005).

Die Aussichtspunkte, die die Stadt in ihrer dritten Dimension erlebbar machen, bieten in Stuttgart besondere landschaftliche Attraktionen mit Erholungsfunktion. Der Verschönerungsverein der Stadt Stuttgart unterhält in den Hanglagen und auf den Randhöhen des Talkessels fast 40 Denkmäler, Aussichtspunkte und Anlagen auf eigenen, städtischen und staatlichen Grundstücken,



Abbildung 51 Spazierwege mit Ausblick über dem Talkessel Stuttgarts

Foto: BAUMÜLLER

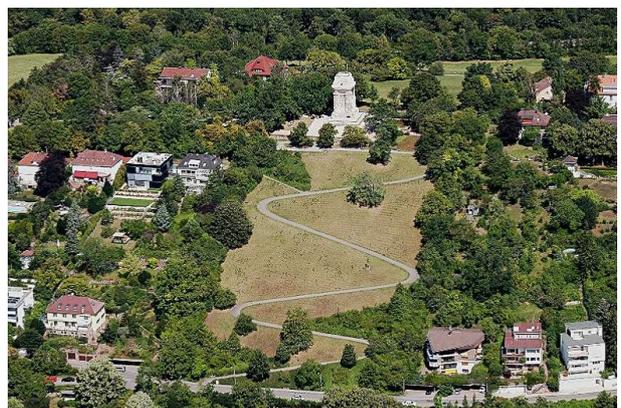


Abbildung 52 Beispiel eines Aussichtspunktes der Hanglagen: Der Bismarckturm

Foto aus STUCKENBROCK 2005

die der Bevölkerung zugänglich sind (VV 1961, S.48). Die Bedeutung der Hanglagen als weniger dicht bebaute Stadtteile und damit Ziel von Erholungssuchenden wird in den Zahlen des Stadtentwicklungskonzepts deutlich, dass den Stuttgarter Bürgern nur 5,2 % des Stadtgebiets als Grünanlagen, Parks, Spiel- und Sportflächen zur Verfügung stehen. Die Stadt stellt damit neben Dresden im bundesweiten Vergleich den geringsten Anteil an reinen, innerstädtischen Erholungsflächen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d, S.20).

Die seit Anfang des 20. Jahrhunderts bestehenden Panoramastraßen, deren einseitige Bebauung festgelegt ist und die mit den Baustaffeln verankerte, eingeschränkte Überbaubarkeit, die heute noch im Baurecht umgesetzt werden, spiegeln die historische Entwicklung der Stadt Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts wider.



Abbildung 53 Bebauung entlang der Panoramastraßen im Stuttgarter Westen

Foto: SCHMIDT - CONTAG

Die klimatischen Eigenschaften und

Funktionen der Hanglagen wurden bereits im Punkt 1.4 ausführlich dargestellt.

Eine weitere Verdichtung der Hanglagen würde zudem eine leistungsfähigere Erschließung erforderlich machen, ein verbessertes Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln und Stellplätzen. Der überdurchschnittliche bauliche Aufwand, für Straßen, Tiefgaragen und Gründungen an den steilen, rutschungsgefährdeten Hängen muss somit auch aus wirtschaftlichen Gründen in Bezug zu den Bauvorhaben gesehen werden.

2.2.3.2 Zielsetzungen

Die Zielsetzungen der übergeordneten Bauleitplanung für die weitere Entwicklung der Hanglagen hat bereits das vorangegangene Kapitel 2.2.2 mit den Festsetzungen im Flächennutzungsplan erläutert. Dennoch werden in der informellen Planung des Stadtentwicklungskonzepts Ziele formuliert, die den Flächennutzungsplan konkretisieren sollen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den vorliegenden Entwurf des Stadtentwicklungskonzepts vom September 2004.

Das Konzept soll eine "Navigationshilfe für zukünftige Planungen" darstellen um eine zielgenaue Stadtplanung zu ermöglichen, in dem "wichtige Trends erkannt, zukünftige Entwicklungen vorhergesehen und Leitziele formuliert werden". Es stellt einen "städtebaulichen Orientierungsrahmen für einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren" dar (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d, S.9).

So sieht man Stuttgart im europäischen Städtenetz, die Pflege lokaler Tradition und Eigenart in einer globalisierten Welt soll als Markenzeichen und zur Identitätsstiftung genutzt

werden. Punkte der "identitätsstiftenden Merkmale" sind unter anderem die reizvolle Topographie und die "natürlichen Begabungen" wie die Höhenzüge und Halbhöhenlage. Außerdem die Besonderheit der Stuttgarter Stadtgeschichte, die sich in der charakteristischen Siedlungsstruktur gefunden hat und die "große Stuttgarter Architektur- und Städtebautradition" (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d, S.9).

Bezüglich der Wohngebiete an den Hängen wird folgendes Ziel formuliert: "Die Halbhöhenlagen des Stuttgarter Talkessels stellen ein einzigartiges, qualitativ sehr hochwertiges Wohnungsangebot dar, das es in Bezug auf Architektur und Freiraum behutsam weiterzuentwickeln gilt." Es wird die Problematik der übermäßigen Nachverdichtung und schleichenden Tertiärisierung in den letzten Jahrzehnten in diesen Gebieten angesprochen. Dazu wird empfohlen, die planungs- und bauordnungsrechtlichen Möglichkeiten zur Sicherung des Grünanteils (z. B. die Erhaltung der Bauverbotsbereiche) offensiv zu nutzen, um den charakteristischen Gartenanteil zwischen den Gebäuden zu erhalten (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d, S.47).

Zum Stadtklima wird im Stadtentwicklungskonzept ganz allgemein die problematische Situation des Stuttgarter Talkessels angesprochen und die damit verbundene Wärmebelastung und der schlechte Luftaustausch. Die Relevanz von Kaltluftentstehungsgebieten und -schneisen wird aufgeführt, außerdem wird auf die im Klimaatlas als Freiflächen mit bedeutender Klimaaktivität ausgewiesen sind und ihrer Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen hingewiesen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d, S.115). Auf die "bebauten Gebiete mit bedeutender klimarelevanter Funktion" und der zukünftige Umgang zu der auch die Hanglagen des Talkessels gehören wird nicht eingegangen.

Für die städtischen Freiräume wird die Vernetzung des Kesselrandes mit dem Neckar und dem "grünen U" zum "grünen Ring" vorgeschlagen und die Verknüpfung der Innenstadt mit dem Kesselrand über "attraktive Raumfolgen". Die topographisch geprägte Raumkante der Randhöhen ist als prägendes Element für die Stuttgarter Innenstadt ausgewiesen. Wohnen auf der Halbhöhe soll durch die Sicherung und behutsame Weiterentwicklung der charakteristischen Villenbebauung ermöglicht werden. (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d, S.129 und 159).

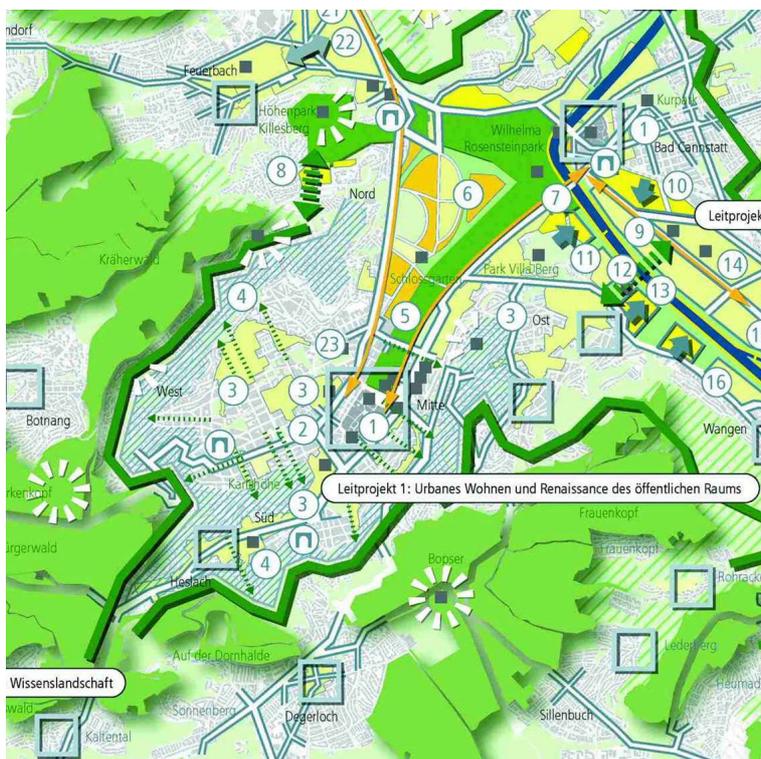


Abbildung 54 Stadtentwicklungskonzept Gesamtplan (Ausschnitt)

Quelle: LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d

Die konkrete Umsetzung der im Stadtentwicklungskonzept formulierten Ziele werden über die Planungsentscheidungen zu den einzelnen Vorhaben der Stadt entschieden. Die Hanglagen unterliegen hierbei einer besonderen planungsrechtlichen Problematik, die im Folgenden dargestellt wird.

2.2.3.3 Planungsrecht an den Hängen

Die rechtlichen Grundlagen für die Bebauung auf Stuttgarter Markung wurden in den Ortsbausatzungen von 1919 und 1935 geschaffen. Der Baustaffelplan von 1935 teilt das Stadtgebiet nach Zweckbestimmungen und Überbaubarkeit, wie in Kapitel 2.1 verdeutlicht, in Baustaffeln, sprich Baugebiete ein. In Einzelfällen und in einigen Gebieten wurde diese Einteilung durch neues Baurecht ersetzt, ansonsten ist sie für die Flächen auch gegenwärtig rechtskräftig (STUCKENBROCK 2005).

Die bereits erwähnte Darstellung der Hanglagen als Kombination von zwei unterschiedlichen Nutzungsarten als Wohnbau- und sonstige Grünfläche im FNP 2010 ist auch in den beiden Vorgängern dem FNP 1990 und 1974 verzeichnet und wurde im aktuellen Plan Richtung Feuerbacher Tal ausgedehnt. Dies ist auch eine politische Willenserklärung, dass das geltende Baurecht der Baustaffeln und die damit verbundenen Bauverbotsflächen erhalten bleiben sollen und signalisieren, dass Ausnahmen von diesem Baurecht nicht erwünscht sind. Das verfolgte Planungsziel ist es auch zukünftig den Grünanteil in den Hanglagen zu erhalten (KRIEGER 2005, mdl. Mitt.).

Einzelfallentscheidungen für Bauvorhaben an den Hanglagen Stuttgarts, vor allem auf Bauverbotsflächen, begründen sich auf den § 31 BauGB Ausnahmen und Befreiungen und dem 1967 gefassten Beschluss des Städtebau-Ausschusses, "bestehende Bauverbote nur in besonderen Ausnahmefällen zurückzunehmen" (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1967, S.5). Sie sind aber aktuell von den betroffenen Bezirksbeiräten der Stadt nicht weiter erwünscht. Es besteht die Überlegung beispielsweise in einem Rahmen- oder Masterplan das Für und Wider einer Hanglagenbebauung grundsätzlich zu klären, Untersuchungsgegenstand sollen dabei eine stadtbildprägende Verträglichkeit, die strukturellen und die

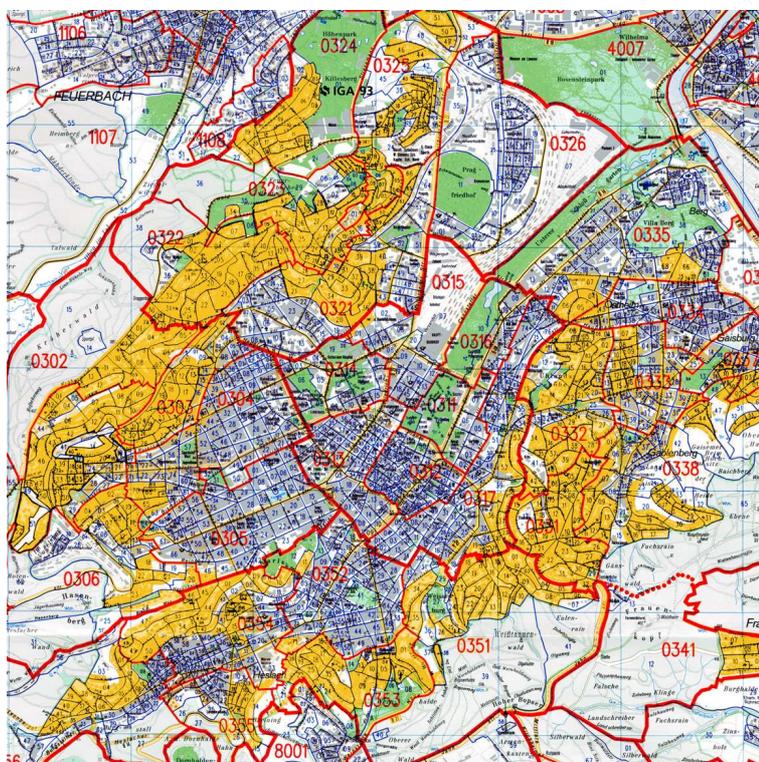


Abbildung 55 Abgrenzung der bebauten Hanglagen im Geltungsbereich der Baustaffeln im heutigen Stadtgebiet (gelb)

Quelle: STUCKENBROCK 2005

klimatologischen Auswirkungen sein (HOPPMANN 2005). Eine grundsätzliche Zielsetzung der Stadtplanung ist es die Bauverbotsflächen der Hanglagen auf Bebauungsplanebene z. B. an den Panoramastraßen zu erhalten, die Klimaaktivität der Flächen weiterhin zu gewährleisten und mit einer konkreten Planung der Politik eine Entscheidungsgrundlage an die Hand zu geben (KRIEGER 2005, mdl. Mitt.).

OSTERTAG (2004) formuliert das Problem für die zunehmende Wandlung der Hanglagen in der sozialen Struktur ihrer Bewohner: "Die Generation der ursprünglichen Bauherren, der Erstbebauer bewohnt die nun zu großen Landhäuser nur noch mit wenigen Personen. Die Nachkommen haben häufig kein Interesse, die (zu) großen Häuser zu bewohnen. Ihr Interesse gilt dem Verkauf - meist an nur verwertungsinteressierte Käufer, die die großen Grundstücke maximal ausnutzen." So wird "die Forderung nach nur einseitiger, hangseitiger Bebauung der Halb- und Ganzhöhen- sowie der Panoramastraßen (...) zunehmend verlassen, die Säume der Wälder, der Höhenzüge, der Silhouetten werden dem Zufall überlassen. So ist die Stadtsilhouette kaum mehr erkennbar."

Ein aktuelles Beispiel dokumentiert die Problematik des bestehenden Baurechts und die damit verbundene schleichende Nachverdichtung sehr anschaulich: Die Planungen eines Architekten am Reichelenberg in der Nähe des Bopsers sehen rund 20 neue Wohneinheiten auf einem 8000 m² großen Areal in Steillage vor. Zur Erschließung der Anlage müsste das vorhandene Wegenetz ausgebaut werden und ein Schrägaufzug installiert werden, damit die Bewohner von der Straße aus ihre Häuser erreichen könnten. Unter Berücksichtigung des grünen Stadtbildes der Hanglagen, der kostenaufwendigen Erschließung, der das Stadtbild negativ beeinträchtigenden baulichen Anlage eines Schrägaufzugs und der für das Stadtklima wichtigen Funktion der derzeit in Teilen unbebauten Lufteinfallsschneise auf diesen Flächen wurde das Vorhaben bisher von den Bezirksbeiräten abgelehnt (BORG-MANN 2005).

Ein Beispiel gegen eine Bebauung aus klimatischen Gründen stellen die Flächen "Auf der Heide" im Stuttgarter Osten dar. Auch bei der Bürgerbeteiligung zum ersten Entwurf des FNP 2005 (jetzt 2010) wurde dieses Gebiet, dass teilweise als Fläche für Landwirtschaft mit Ergänzungsfunktion (LE) und der Planung als Gartenhausgebiet vermerkt ist, wieder als Wohnbaufläche beantragt. Das dazu durchgeführte Klimagutachten kam zu dem Ergebnis, dass der Anteil an bebauter zu unbebauter Fläche von 1:7 den Temperaturanstieg auf 0,5 °C begrenzen würde. Auch ein standortökologisches und städtebauliches



Abbildung 56 Gebiet "Auf der Heide" (Ausschnitt)

Foto: BAUMÜLLER

Gutachten und die Untersuchung einer Planungsvariante mit 140 Wohneinheiten wurden durchgeführt. Woraufhin das Gebiet aufgrund der durch die Untersuchungen untermauerten Erkenntnisse seiner besonderen ökologischen Qualitäten und seiner Ausgleichsfunktion für das angrenzende dichtbesiedelte Gebiet von Stuttgart-Ost weiterhin nicht zur Bebauung vorgesehen ist. Diese Hangzone ist daraufhin in das Verfahren zur Neuabgrenzung des Landschaftsschutzgebietes 21n einbezogen worden (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 1998, S.116f).

Bei einer umstrittenen Wohnbebauung an den steilen Nordhängen in Stuttgart-Wangen zeigte sich der Aspekt der Belichtung und Besonnung in den bereits bebauten Gebieten und auf den Neubauf Flächen als ausschlaggebend dafür, in diesem Bereich keine weiteren Wohnbauflächen auszuweisen. An einigen Messpunkten auf den Flächen des Gebietes "Jägerhalde" wurde die minimal erforderliche Sonnenscheindauer von 1 h am 17.01. in Fenstermitte nach DIN 5034 nicht erreicht, wegen der umliegenden Bebauung und Vegetation (KOHFINK 2003). Der Besonnung und Belichtung sind zwar ein wichtiges Instrument in der Abwägung, dennoch gibt es in Stuttgart keine Hangflächen oder auch Innenstadtgebiete, die aus diesem Grund vollständig von Bebauung ausgenommen sind.

Im klimatischen Sinne zeigt sich die derzeitige Praxis der Einzelfallentscheidungen hauptsächlich darin, dass die Summenwirkung vieler kleinerer baulicher Verdichtungen und Erweiterungen in der Abwägung nicht berücksichtigt wird. Im Bereich der Hanglagen darf das Abstandsgrün der Baukörper nicht "verzettelt" werden, sondern muss sich an richtiger Stelle zu einer noch funktionsfähigen Frischluftschneise ergänzen (HOFFMANN 1995, S.11). Besonders dieses Argument spricht aus stadtklimatischer Sicht für einen Rahmenplan für die Hanglagenbebauung in Stuttgart.



Abbildung 57 durch Nachverdichtung geprägte Hanglagen in Stuttgart

Foto: BAUMÜLLER

Zusammenfassend lässt sich zu Kapitel zwei sagen, dass bereits die Entwicklung der Stadt die schwierige Situation, die die dichte Besiedelung der Stuttgarter Bucht mit sich bringt aufzeigt. Schon lange übersteigt der Wasserbedarf das natürliche Wasserangebot, die Region lebt "auf Pump" zu Lasten anderer Landschaftsräume (Bodenseeraum und der Donauraum um Ulm), nur dadurch wird die vorhandene Industrie- und Siedlungsdichte ermöglicht, die über das natürliche Potenzial der Landschaft weit hinausgeht (NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART 1981, S.30).

Um eine vielfältige und langfristige Nutzbarkeit der Landschaft und gesunde Umweltbedingungen für den Menschen sicherzustellen, dürfen die Grenzen der natürlichen Systeme nicht überschritten werden. Bei der Abwägung der verschiedenen Interessen untereinander und der Festlegung vorrangiger Nutzungsansprüche ist es u.a. notwendig, die jeweilige Standortabhängigkeit der alternativen Nutzungen zu berücksichtigen: Die Transportierbarkeit von Naturgütern spielt bei Standortentscheidungen eine ausschlaggebende Rolle. Nahrungsmittel und Wasser (in Stuttgart die Fernwasserversorgung) können heute in einen Verdichtungsraum eingeführt werden. Manche Naturgüter sind aber vollkommen, wie die Frischluftproduktion, oder sehr stark wie wohnungsnahe Erholungsräume, standortgebunden (NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART 1981, S.14).

Eine nachhaltige, zukunftsfähige Entwicklung des Stadtgebiets und der Erhalt der vorhandenen Lebens- und Wohnqualität in der Innenstadt kann nur unter Berücksichtigung der Naturgüter ermöglicht werden, dabei sind in einem Stadtgebiet für die Bewohner vor allem Luft und Klima ausschlaggebend. Stadtplanung und politische Entscheidungsträger sind verpflichtet, den Bewohnern Stuttgarts eine lebenswerte Wohnumwelt zu erhalten, dazu gehört auch, die beeinträchtigte klimatische Situation durch eine weiter bauliche Verdichtung vor allem der Flächen mit klimatischen Funktionen wie die Hanglagen, nicht zusätzlich zu verschärfen.

3 klimarelevante Leitbilder und Zielsetzungen in der Planung

Um klimatische Zielsetzungen im Städtebau berücksichtigen zu können und Leitbilder zu formulieren, ist es notwendig, die Erkenntnisse der unterschiedlichen Messungen, Untersuchungen und Modellierungen für die Planungsebene zu interpretieren und zu konkretisieren.

Das Kapitel 3 soll darstellen, durch welche Maßnahmen das klimaökologische Leistungsvermögen gesichert und verbessert werden kann. Grundlegend werden die Planungsziele nach den Funktionen und Eigenschaften der einzelnen Teilräume gegliedert und die Anwendung in den regionalen und kommunalen Planungsebenen verdeutlicht. Hier soll im Speziellen jeweils auf die Hangbebauung des Stuttgarter Talkessels und ihre zukünftige Entwicklung nach stadtklimatischen Gesichtspunkten eingegangen werden.

3.1 planungsrelevante Teilräume - Funktionen und Eigenschaften

Die einzelnen Maßnahmen werden in der Planung nach ihren Funktionen gegliedert. Bedeutend ist der räumliche und inhaltliche Zusammenhang Ausgleichsraum - Leitbahn - Wirkungsraum. Somit werden die unterschiedlichen Planungsgrundsätze je nach Funktion, Lage und Nutzung der Flächen formuliert (SCHNEIDER 1995, S.38 und KRESS et al. 1979, S.15f).

Es geht um das Raumpaar Ausgleichsraum - Wirkungsraum und deren räumliche Verknüpfung. Ausgangspunkt sind im Wirkungsraum bestehende klimahygienische und lufthygienische Belastungen, wie sie in den vorangegangenen Kapiteln für Stuttgart ausführlich dargestellt sind. Auf Grund von Lagebeziehungen zwischen beiden Räumen und Luftmassenaustauschvorgänge zwischen ihnen kommt es zu Belastungsverminderungen (KRESS et al. 1979, S.15).

Belastungen und Ausgleichsleistungen sind witterungsabhängig, d. h. sie sind nicht ständig voll wirksam, sondern an bestimmte Wetterlagen sowie Tages- und Jahreszeit gebunden (KRESS et al. 1979, S.16). So wird z. B. die Produktion von Kaltluft in Ausgleichsräumen nur wirksam, wenn die Einstrahlung auf der Fläche endet, sprich am späten Nachmittag bis in die Morgenstunden und teilweise sogar noch am Vormittag, außerdem eine austauscharme, windschwache Wetterlagen vorherrscht mit geringer Bewölkung (s. a. Kapitel Kaltluft).

Nachfolgend werden die hinsichtlich des Klimas planungsrelevanten Gebiete definiert, ihre Funktionen und Eigenschaften dargestellt. Um die größtmögliche Belastungsverminderung im Wirkungsraum erreichen zu können müssen entsprechende planerische Gesichtspunkte in den einzelnen Teilräumen berücksichtigt werden, konkrete Umsetzungsempfehlungen für die Hanglagen des Stuttgarter Talkessels sind in Kapitel 6 formuliert.

3.1.1 klimaökologischer Ausgleichsraum

Ein klimaökologischer Ausgleichsraum ist ein Raum, der einem benachbarten, belasteten Raum zugeordnet ist und in diesem Raum bestehende klima- und lufthygienische Belastungen auf Grund von Lagebeziehungen und Luftmassenaustauschvorgängen abbauen soll (KRESS et al. 1979, S.15).

Die raumordnerische Relevanz der klimaökologischen Ausgleichsräume wird durch die erreichbare Belastungsverminderung bestimmt. Diese Verminderungen sind in KRESS et al. (1979, S.15) als klimaökologische Ausgleichsleistungen wie folgt definiert: die in einem klimaökologischen Ausgleichsraum erzeugten Lokal- bzw. Regionalzirkulationen sowie der dortige Abbau von Luftverunreinigungen.

Ein klimaökologischer Ausgleichsraum kann auf zwei prinzipielle Arten wirksam werden (KRESS et al. 1979, S.15f):

1. Abbau von Luftverunreinigungen, die in den Ausgleichsraum transportiert werden (Abbau im Ausgleichsraum).

Beispielhaft ist hier die bereits oben dargestellte staubfilternde Wirkung städtischer Grünflächen und stadtnaher Waldflächen zu nennen.

2. Minderung von Faktoren wie z. B. thermische oder lufthygienische Belastungen durch eine bessere Durchmischung bzw. günstigere Transportbedingungen der Luftmassen auf Grund einer vom Ausgleichsraum ausgehenden, bis in den Wirkungsraum wirksam werdenden Zirkulation (Abbau im Wirkungsraum).

Sind dem Wirkungsraum überwiegend hoch aktive Ausgleichsflächen zugeordnet, so sollten sie ca. die 5-fache Größe besitzen. Sind dem Wirkungsraum überwiegend aktive Ausgleichsflächen zugeordnet, sollten sie ca. die 8-fache Größe besitzen (REINHOLD 1998, S.67).

Nach KRESS et al. (1979, S.55) bilden sich klimaökologisch ausgleichende Wirkungen von Hangabwinden von $10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ erst bei einem Mindesteinzugsgebiet von 3 km^2 an acker- und weidewirtschaftlich genutzten Flächen, einer Mindestreliefenergie, sprich dem Höhenunterschied zwischen Ausgleichsraum und Wirkungsraum von 50 m , einem Neigungswinkel der Hänge von mehr als 5 Grad und ein Gefälle der Talsohle von mehr als 1 Grad .

In den Ausgleichsräumen gilt es die für den Wirkungsraum relevanten Klimafaktoren zu sichern und gegebenenfalls zu verbessern, was vor allem die Faktoren die den Luftaustausch und die Temperaturabnahme im Wirkungsraum betreffen umfasst.

Dazu zählen die Flächen die der Kaltluftproduktion und dem Kaltluftabfluss dienen, also ein dem Wirkungsraum zugeordnetes Kaltlufteinzugsgebiet, thermisch ausgeglichene Flächen, die tagsüber bioklimatisch günstige Aufenthaltsqualitäten bieten wie die stadtnahen Waldflächen, außerdem die innerhalb städtischer Siedlungen gelegenen, ausreichend großen Grünflächen und Parkanlagen mit lufthygienischer Wirkung.

Zu den in Stuttgart wirksam werdenden Ausgleichsleistungen zählen die durch die Bildung

von Kaltluft entstehenden Hangabwinde, tagsüber die aus den umliegenden Waldflächen einströmende kühlere Luft, die Filterleistung der Wald- und Grünflächen im und um das Stadtgebiet, die bioklimatisch und lufthygienisch positiv zu beurteilende Aufenthaltsqualität der Wald- und Grünflächen für die wohnungs- und stadtnahe Erholung.

Besonders relevant sind vor allem die Ausgleichsleistungen der kühlenden Wirkung der nächtlichen Kaltluftflüsse von den Fildern und den Randhöhen in das Stadtgebiet.

Die räumliche Verteilung der un bebauten Ausgleichsräume im Stadtkreis Stuttgart zeigt Abbildung 58: die Wälder dunkel dargestellt, heller die landwirtschaftlichen Flächen und die innerstädtischen Grünflächen.

Karte 1 im Kapitel 6 zeigt den klimatischen Ausgleichsraum der direkt dem Talkessel der Innenstadt zugeordnet ist im Verhältnis zur vorhandenen Bebauung.

Für die einzelnen Ausgleichsräume ergeben sich folgende plane-rische Maßnahmen.

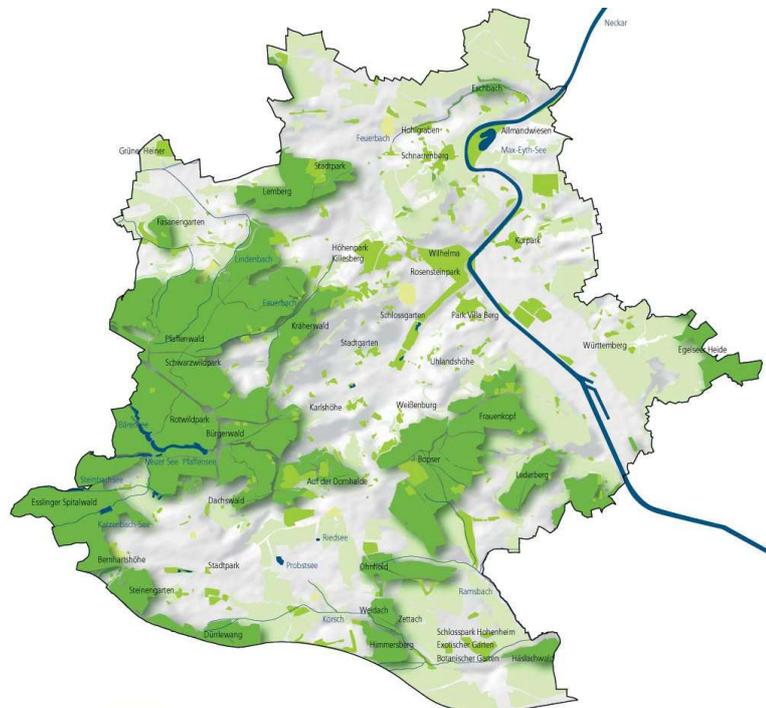


Abbildung 58 Ausgleichsraum im Stadtkreis Stuttgart: Wald, landwirtschaftliche Flächen, innerstädtisches Grün

Quelle: LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d

3.1.1.1 Flächen zur Kaltluftproduktion

Das Maß der Abkühlungsrate der Luft über einer Fläche wird unter anderem durch die Art der Oberfläche, durch Bodenart und -beschaffenheit bestimmt (VDI 2003, S.19). Bevorzugte Kaltluftentstehungsgebiete sind unbebaute Flächen mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der Oberflächen (VDI 2003, S.21). Diese Eigenschaften erfüllen hauptsächlich landwirtschaftlich genutzte Flächen, v. a. Grünland, Ackerland und Heiden, auf denen bis zu 12 m^3 Kaltluft pro m^2 und Stunde entsteht. Bei fehlendem Abfluss oder Zufluss nimmt die Kaltluftschicht um bis zu 12 m pro Stunde zu (KRESS et al. 1979, S.36). Aber auch Waldflächen in Hanglagen bilden ebenfalls Kaltluft, die aus dem Stammraum ausfließt. In Waldgebieten werden größere Luftmassen als im Freiland abgekühlt, die Luft ist in der Regel jedoch nicht so kalt wie die über landwirtschaftlich genutzten Flächen (VDI 2003, S.25 und INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Entscheidend über den Wirkungsgrad der Kaltluft im Siedlungsgebiet ist unter anderem die Reliefsituation, die sich bei einem Stadtgebiet in Tallage als besonders günstig erweist, da die entstehende Kaltluft über die Hänge in den Wirkungsraum einfließt (HORBERT 2000, S.292).

Die Anforderungen an optimale Kaltluftentstehungsgebiete mit maximaler Leistungsfähigkeit für den Wirkungsraum werden wie folgt formuliert:

- Erhalt und Ausweitung der acker- oder weidewirtschaftlich genutzten Flächen, in Hanglagen auch Waldflächen
- Nutzungsumwidmungen sind zu vermeiden (Aufforstung oder Besiedelung)
- eine Verminderung der Flächen um mehr als 5 % ist zu vermeiden
- beim Brachfallen der Flächen soll Kaltluftproduktion und -abfluss durch entsprechende Pflegemaßnahmen erhalten oder wenigstens nicht beeinträchtigt werden
- Strömungshindernisse v.a. durch Besiedelung und hangparallele Bebauung oder Bepflanzung vermeiden
- Beeinträchtigungen der Luftqualität durch emissionsträchtige Nutzungen im Kaltluftinzugsgebiet ist zu vermeiden
- Erhalt des räumlichen Zusammenhangs zwischen den kaltluftproduzierenden Flächen
- direkter Anschluss an ein stömungshindernis- und emisionsfreies Kaltluftabflussgebiet (vgl. 4.2) und dadurch Verbindung zum klimatisch belasteten Siedlungsgebiet

(KRESS et al. 1979, S.63 und SCHNEIDER 1995, S.56)

Vor allem die unbebaute, landwirtschaftlich genutzte Filderlandschaft fungiert durch ihre topographische Lage oberhalb der Stadt als wichtiger Ausgleichsraum. Wie die Karte des Ausgleichsraums für das Stuttgarter Stadtgebiet zeigt (s. Karte 1, Anhang) ist die Minderung der thermischen Belastung und die Zufuhr von Frischluft bei austauscharmen Wetterlagen in den Stadtkessel von einem relativ geringen Einzugsgebiet an kaltluftproduzierenden Flächen abhängig. Diese Funktion wird zusätzlich durch die Bautätigkeit in Vaihingen und Möhringen sukzessive verringert, aus dem eigentlichen Ausgleichsraum wird zunehmend selbst ein Belastungsraum.

3.1.1.2 Waldflächen mit thermisch ausgleichender Wirkung

Der ausgeglichene Tagesgang der Temperaturen im Wald ermöglicht einerseits, dass sich in stadtnahen Wäldern auch am Tage Kaltluft für den Siedlungsraum bildet. Dabei zeigen sich Waldgebiete an Nord- und Osthängen, die nur einer geringen Sonneneinstrahlung unterliegen als besonders günstig für die Abkühlung am Tag (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Dennoch muss bei der Planung berücksichtigt werden, dass Waldgebiete ein Strömungshindernis darstellen, wodurch die Windgeschwindigkeit herabgesetzt wird und der Kaltluftabfluss behindert werden kann. Die planerischen Maßnahmen in den Waldgebieten sollten vor allem in Stuttgart darauf abzielen, an den Hängen den Kaltluftfluss zu erhalten und ein weiteres Herabsetzen der Ventilation zu verhindern (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Dieser vermeintliche Nachteil der Reduktion der Windgeschwindigkeit bedingt jedoch die lufthygienische Wirkung der Waldflächen. Besonders locker strukturierte Waldbereiche, die

vom Wind durchblasen werden können Schadstoffe aus der Luft "auskämmen". Die Ablagefähigkeit von Partikeln in geschlossenen Waldflächen ist gegenüber landwirtschaftlich genutzten Flächen erheblich höher, dies begründet sich neben der reduzierten Windgeschwindigkeit auf die erheblich größere Oberfläche der Vegetationsbestände in Wäldern. Um die Ausfilterung von Luftschadstoffen auch im Winter aufrecht zu erhalten sollte der Baumbestand aus Laub- und Nadelgehölzen bestehen (HORBERT 2000, S.295 und 110f).

Positiv für die klimatische und lufthygienischen Verbesserungen des Stuttgarter Talkessels zeigen sich die umliegenden Waldflächen an den Hängen und auf den Randhöhen. Nicht nur die Wirkung als Kaltluftproduzent und Kaltluftabflussbahn (z. B. der Bürgerwald am Schattenring), sondern auch als Luftfilter für die Emissionen im Talkessel, die durch den Aufwind tagsüber an die Hänge transportiert und dort ausgefiltert werden. Außerdem spielt die Aufenthalts- und Erholungsfunktion mit ihren positiven bioklimatischen Eigenschaften für die dicht besiedelte Region mit ihren ausgeprägten klimatischen und lufthygienischen Belastungen im Siedlungsraum eine sehr große Rolle.

Für die Waldflächen Stuttgarts gelten folgende planerische Zielsetzungen:

- Erhalt und Förderung der Kaltluftbildung und des Kaltluftabflusses durch eine geringere Oberflächenrauigkeit am Waldboden und über den Waldrand eine Verbindung mit dem Wirkungsraum (s. a. 4.1.2 Luftleitbahn)
- Förderung und gezielte Nutzung der luftfilternden Wirkung durch Mischwaldbestände
- Erhalt und Förderung des Kaltluftabflusses und damit Vermeidung von Aufforstungen oder Waldbeständen in Kaltluftabflussschneisen (s. a. 4.1.2 Luftleitbahn)
- Erhalt der stadtnahen Waldgebiete und dem damit verbundenen bioklimatisch positiven Bestandsklima für Aufenthalt und Erholung

3.1.1.3 innerstädtische Grünflächen

Innerstädtische Grünflächen, die als Ausgleichsraum dienen, haben zwei klimatische Funktionen zu erfüllen, die Schaffung günstiger bioklimatischer und lufthygienischer Verhältnisse für die Benutzer und ein Beitrag zum Abbau von Überwärmung, Schwüle und Immissionsbelastung in ihre bebaute Umgebung (HORBERT 2000, S.182).

Die Eigenschaften innerstädtischer Grünflächen sind von der Flächengröße, dem Versiegelungsgrad, Vegetationsanteil und -struktur und der damit verbundenen Rauigkeit abhängig. Außerdem spielen Windrichtung, Relief, Lage und Ausrichtung der Flächen eine große Rolle (FITGER & MAHLER 1996, S.78ff).

Messbare klimatische Fernwirkung haben nur sehr ausgedehnte Grünflächen mit mehr als 50 ha, die vergleichsweise geringen Temperaturdifferenzen kleinerer Parkanlagen werden durch die klimatischen Wechselwirkungen zwischen der dicht bebauten und überwärmten Umgebung angeglichen (HORBERT 2000, S.177). Eine optimale Fernwirkung wird durch lo-

ckere, offen bebaute Randbereiche erzielt, in die die kühleren Luftmassen eindringen können.

Grünflächen die entsprechend der Hauptwindrichtung oder den Belüftungsachsen (Einfließen der nächtlichen Kaltluft) orientiert sind und eine zusammenhängende Leitbahn mit geringer Oberflächenrauigkeit bilden, ermöglichen die Belüftung des dicht bebauten Wirkungsraums, vermindern die thermische Belastung bzw. den Wärmeinsel-Effekt. Diese erreichen auch eine große Anzahl kleinerer Grünflächen durch ihre Summenwirkung (FITGER & MAHLER 1996 und INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Durch die Reduktion der Windgeschwindigkeit auf Grünflächen mit aufgelockertem Vegetationsbestand kommt es auch hier zur Sedimentation von Luftpartikeln. Durch diesen Effekt können Grünflächen bei entsprechender Anlage die Belastungen emissions-trächtiger gegenüber empfindlicher Nutzungen abgrenzen und Emissionen ausfiltern. Es gilt jedoch die damit verbundene Minderung der Aufenthaltsqualität durch eine größere lufthygienische Belastung der Freiflächen zu beachten (HORBERT 2000, S.183).

Wie bereits in Kapitel 1.4.1.4.2 erläutert haben die Untersuchungen zu den Planungsvorhaben von Stuttgart 21 ergeben, dass die Anlagen des Schlossparks zwar keine Fernwirkung auf die umgebende Bebauung haben, aber dennoch ein bioklimatisch positives Eigenklima aufweisen. Außerdem ergaben die Temperaturmessfahrten von HAMM 1969, dass der nächtliche Kaltluftfluss bei optimalen Bedingungen bis in die Anlagen des Schlossparks vordringen und somit die Belüftung eines großen Teils des Talgrunds ermöglicht. Auch die luftfilternde Wirkung der Grünflächen Stuttgarts hat bereits HAMM durch Messungen nachgewiesen (s. a. 1.4.3.2 Luftqualität).

Nach HORBERT (2000, S.183) lassen sich für innerstädtische Grünflächen folgende Grundsätze für die Stadt- und Landschaftsplanung festlegen:

- Anlage großer Grünflächen um den Wärmeinsel-Effekt in der Innenstadt zu mindern und eine möglichst große nächtliche Abkühlung zu erzielen
- durchlässige, wenig dichte Randbebauung an großen Parkanlagen und damit eine Unterstützung der Wechselwirkung zwischen Grünflächen und Belastungsraum
- ausreichende Versorgung aller Stadtteile mit Grünflächen um für die Bevölkerung bioklimatische Gunsträume als Aufenthaltsflächen zur Verfügung zu stellen
- die Vegetation von innerstädtischen Freiräumen sollte eine lockere Struktur aufweisen, um die Durchlüftung zu verbessern und den damit verbundenen Wirkungsgrad hinsichtlich der Ablagerung von Feinstäuben zu erhöhen; ein großer Anteil an offenen Rasenflächen und Bodendeckern fördert die nächtliche Kaltluftproduktion und ermöglicht durch die geringe Oberflächenrauigkeit die Belüftung
- Vernetzung der kleineren Grünanlagen mit geringer Oberflächenrauigkeit um eine möglichst große Reichweite der klimatischen Wirkungen zu erreichen und damit die nächtliche Belüftung zu ermöglichen

3.1.2 Luftleitbahn

Flächen, die städtische Agglomerationsräume auch bei Schwachwindlagen die Durchlüftung aufrechterhalten, nennt man Luftleitbahnen (SCHNEIDER 1995, S.203).

Stadtklimarelevante Luftleitbahnen sind Freiflächen, die auf Grund niedriger aerodynamischer Oberflächenrauigkeit, d.h. eines geringen Strömungswiderstandes, den Transport von Luftmassen aus dem Ausgleichsraum im Umland in die Stadt, insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen nicht beeinträchtigen, sie dienen damit der Reduzierung von thermischen und lufthygienischen Belastungen im Wirkungsraum (MAYER et al. 1994, S.265).

Luftleitbahnen werden nach der thermischen und lufthygienischen Qualität der herant transportierten Luftmassen bzw. ihrer Einzugsgebiete wie folgt unterteilt:

- Ventilationsbahnen (Luftleitbahn mit unterschiedlichem thermischem und lufthygienischem Niveau auf der lufthygienisch belastete oder unbelastete Luftmassen mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften in den Belastungsraum transportiert werden; die Funktion wird ausschließlich durch den geringen Strömungswiderstand erfüllt, Lufttemperatur und -qualität wird nicht berücksichtigt)
- Frischluftbahn (Luftleitbahn mit unterschiedlichem thermischen Niveau, aber ohne Schadstoffemissionen; es werden unbelastete Luftmassen in die Stadt transportiert, die Lufttemperatur wird nicht berücksichtigt)
- Kaltluftbahn (Luftleitbahn mit unterschiedlichem lufthygienischen Niveau, aber mit geringerer bzw. ohne Wärmebelastung im Verhältnis zum angrenzenden Wirkungsraum; es werden kühlere Luftmassen als die Temperatur der Stadtatmosphäre in die Stadt transportiert, die Luftqualität wird nicht berücksichtigt)

(MAYER et al. 1994, S.265)

Ob eine Fläche als stadtklimarelevante Luftleitbahn geeignet ist, und welchem Typ sie dann zuzuordnen ist, hängt von folgenden Faktoren ab:

- geometrische Kennzeichen der Fläche (Orientierung, Länge in einer Richtung, Breite und Höhe der Randbebauung bzw. -begrünung)
- Flächennutzung hinsichtlich aerodynamische Rauigkeit der Fläche und Einzelhindernisse auf der Fläche (z. B. freistehende Gebäude oder große Bäume)
- thermische und lufthygienische Eigenschaften sowohl der Fläche und deren Nutzung, als auch des Einzugsgebietes der Luftmassen (Wärme- und Schadstoffemissionen)
- Topographie und Relief in der Stadt und Berücksichtigung lokaler, tageszeitlich variierender Windzirkulationen (in Stuttgart v.a. Hangauf- und Hangabwinde)
- großräumige Windverhältnisse und deren regionale und lokale Modifikationen

(MAYER et al. 1994, S.265)

Auf Grund der oben genannten Faktoren lässt sich ableiten, dass sich Täler und Rinnen für die Belüftung meist sehr wichtig darstellen, da sich hier vor allem nachts die Kaltluft sammelt und abfließt. Auch in Zusammenhang mit anderen ökologischen Faktoren sind diese damit von einer Versiegelung und Bebauung freizuhalten (HORBERT 2000, S.93).

Als Ventilationsbahnen wirken vor allem Grünflächen mit niedriger Vegetationshöhe, Wasserflächen, sonstige Freiflächen, breitere, langgestreckte Gleisanlagen, breitere, geradlinige Straßenschluchten und Ausfallstraßen (MAYER et al. 1994, S.267).

Straßenzüge besitzen nur eine bedingte Eignung als Ventilationsbahn, da besonders tagsüber durch den Verkehr und angrenzende Nutzungen Immissionsanreicherungen erfolgen und sich die Oberflächen und damit die Luftmassen sehr stark erwärmen. Gleisanlagen mit geringeren Oberflächentemperaturen vor allem durch die starke nächtliche Abkühlung und den geringen Emissionen haben sich als geeigneter herausgestellt.

Bei Gewässern besteht der Vorteil, dass die am Tage transportierten Luftmassen sogar zusätzlich abgekühlt werden, nachts allerdings mit einer leichten Erwärmung zu rechnen ist. Fehlende Emissionen und die Fähigkeit dieser Flächen zur Bindung von Luftverunreinigungen senken den Schadstoffgehalt der Luft.

Grünflächen, die durch die eigene Kaltluftproduktion nachts die Wirksamkeit und Reichweite der transportierten Luft erhöhen, sind besonders gut als Luftleitbahn geeignet (HORBERT 2000, S.93f).

Die größte Bedeutung als stadtklimarelevante Luftleitbahn für den Stuttgarter Talkessel hat, nach dem Klimaatlas des Nachbarschaftsverband das Nesenbachtal. Durch die vorgegebene Topographie werden die überregionalen Winde im Tal kanalisiert und damit verstärkt. Bei austauscharmen Wetterlagen strömt hier die frische und kalte Luft aus dem Einzugsgebiet der unbebauten Flächen der Fildern in den dicht bebauten Stadtkessel. In ROBEL et al. (1978, S.155) zeigen die Wärmebilder das Gebiet zwischen Sonnenberg, Möhringen und Vaihingen als kaltluftproduzierender Ausgleichsraum für die wärmere Innenstadt, die über das Nesenbachtal als Luftleitbahn verbunden sind.

Aber auch die Hangbereiche, die den Stadtkessel im Süden, Osten und Westen begrenzen, nehmen in Teilen die Funktion von Luftleitbahnen war. Durch die Art der Flächennutzung, sprich die noch aufgelockerte Bebauung mit hohem Grünanteil, kann die kältere Luft der umliegenden Höhen in das Stadtgebiet einfließen. Im Besonderen bilden die Klingen, als natürliche Rinnen an den Hängen Abflussbahnen für den nächtlichen Kaltluftfluss. Sie ermöglichen ein tiefes Eindringen der Luftmassen in den dicht bebauten Kessel, sind somit für die Entlastung des Siedlungskörpers ausschlaggebend und auch zukünftig von Bebauung und Versiegelung unbedingt freizuhalten.

Die Hänge Stuttgarts haben damit eine wichtige Zwischenstellung, sie sind in den Planungsempfehlungen des Klimaatlases als Siedlungsfläche mit wichtiger klimatischer

Funktion und damit auch mit noch geringen Belastungen ausgewiesen. Eine ausführliche Darstellung zeigt Kapitel 6.

Eine wirksame Verbesserung in klimatisch belasteten Räumen kann nur über den Erhalt oder die Einrichtung von geeigneten Luftleitbahnen erreicht werden. Das System der nächtlichen Hangabwinde in Form von Kaltluftabflüssen und der tagsüber vorherrschenden Hangaufwinde durch die Konvektion des Stadtgebiets, das die Be- und Entlüftung des Stuttgarter Talkessels darstellt, erfordert Belüftungsbahnen, die vom klimatisch unbelasteten Umland möglichst weit in die Zentren der Ballungsgebiete führen (HORBERT 2000, S.92).

Nach MAYER (1994, S.266) gelten folgende planerische Anforderungen an stadtklimarelevante Luftleitbahnen:

- aerodynamische Oberflächenrauigkeit (Rauigkeitslänge) z_0 kleiner/gleich 0,5 m
- vernachlässigbare Verdrängungshöhe d
- genügend große Länge der Luftleitbahn in einer Richtung, mindestens 1000 Meter
- genügend große Breite, mindestens 50 Meter
- möglichst glatte Ränder, d.h. keine großen Bebauungs- und Bewuchsvorsprünge
- die Breite von eingelagerten Hindernissen sollte nicht mehr als 10 Prozent der Breite der Luftleitbahn betragen
- die Höhe von eingelagerten Hindernissen sollte zehn Meter nicht übersteigen
- Hindernisse sollten in die Abflussrichtung der Luftmassen gedreht werden, d.h. die effektive Breite eines Hindernisses quer zur Windströmung in der Luftleitbahn ist möglichst gering
- bei mehreren einzelnen Hindernissen in der Luftleitbahn sollte das Verhältnis von Hindernishöhe zu horizontalem Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Hindernissen nicht größer als 0,1 für Gebäude bzw. 0,2 für Bäume sein

KRESS et al. (1979, S.63) fordert zudem ein 400 - 500 Meter (im Minimum 200 m) breites Kaltlufttransportgebiet.

Da die Hangpartien auch als Luftleitbahn fungieren gilt es die Bebauung nach diesen Grundsätzen auszurichten, bzw. in den bebauten Hängen die Klingen als natürliche Abflussbahnen entsprechend der genannten Eigenschaften zu gestalten.

Zitat Häckel (1999, S.332): "Die Zerstörung von Frischluftquellen durch Besiedelung und die Behinderung des nächtlichen Frischluftzuflusses durch größere Bauwerke, die quer zur Fließrichtung errichtet werden, gehören zu den Sünden der Stadtplaner, deren Bestrafung sich Belzebug persönlich vorbehalten hat."

3.1.3 Wirkungsraum/Belastungsraum

Ein Wirkungsraum ist ein bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum, der einem klimaökologischen Ausgleichsraum zugeordnet ist und in dem die dort erzeugten Ausgleichsleistungen zum Abbau von klima- und lufthygienischen Belastungen führen (KRESS et al. 1979, S.15).

Zielsetzung der städtischen Planung muss es sein, nicht nur die Ausgleichsleistungen im Wirkungsraum optimal auszunutzen, sondern auch die vorhandenen Belastungen zu minimieren. Dies umfasst Einzelmaßnahmen, die auf die Verringerung des Wärmeinsel-Effekts abzielen und die lufthygienischen Belastungen vermindern.

Grundsätzlich gilt es die Bebauungsdichten als Ursache der Ausbildung von städtischen Wärmeinseln und der Luftstagnation den örtlichen klimatischen Verhältnissen anpassen, d. h. in bioklimatisch ungünstigen Räumen (bereits stark überwärmte Gebiete und/oder durch häufige Austauscharmut lufthygienisch belastete Gebiete) die Bebauung einschränken oder ganz verhindern. In bereits bebauten und belasteten Siedlungen müssen durch geeignete Aufwertungsmaßnahmen die klimatischen Belastungen vermindert werden (BUNZEL & HINZEN 2000, S.55).

Thermische Belastungen im Stadtgebiet kann durch die Wahl von Oberflächen, die sich weniger stark aufheizen verringert werden, z. B. durch

- Verringerung der Bodenversiegelung v. a. auf Stellplätzen, Wegen etc.
- geringere Baudichten mit hohem Grünanteil, d. h. bei Neuplanungen die überbaubare Fläche begrenzen, im Bestand hochverdichtete Blockbebauung entkernen
- Anteil der thermisch ausgeglichenen Grün- und Wasserflächen im Siedlungskörper erhöhen, z. B. in Form von öffentlichen oder privaten Freiflächen, Fassaden- und Dachbegrünung, Fließ- und Stillgewässern
- bioklimatische Belastungen städtischer Freiräume verringern, und die Aufwertung von Straßenräumen und Häuserblöcken durch Begrünungsmaßnahmen (großkronige Bäume, Fassadenbegrünung, Rasenflächen, Entsiegelungsmaßnahmen)

(Zusammenstellung nach INNENMINISTERIUM B.-W. 2004, VDI 2002, S.31, BUNZEL & HINZEN 2000, S.55, KRESS et al. 1979, S.63)

Für die Minderung der lufthygienischen Belastungen werden folgende Maßnahmen gefordert:

Vermeidung von Emissionen durch

- die Minderung des motorisierten Individualverkehrs und Förderung des öffentlichen Verkehrs
- Vermeidung hoher Verkehrsdichte und Emissionen in schwach durchlüfteten Bereichen, wie engen Straßenschluchten oder besonders windarmen Stadtgebieten
- Sicherstellung von emissionsarmer Energieversorgung und Fernwärmeversorgung

Sinnvolle räumliche Zuordnung von emissionsträchtigen Nutzungen:

- ausreichend Abstandsflächen gegenüber sensibleren Nutzungen
- Emissionsquellen nicht in die Hauptwindrichtung bzw. in planungsrelevanten Luftleitbahnen oder gar Kaltluftentstehungs- und -sammelgebiete

(Zusammenstellung nach INNENMINISTERIUM B.-W. 2004, VDI 2002, S.31, BUNZEL & HINZEN 2000, S.55, KRESS et al. 1979, S.63)

Um die Reichweite der vorhandenen Ausgleichsleistungen im Wirkungsraum optimieren zu können müssen dort bestimmte Planungsgrundsätze und Maßnahmen berücksichtigt werden.

Von der Bebauung muss verlangt werden, dass sie das Eindringen der ausgleichenden Luftmassen auch bei schwachen Windströmungen, v. a. der Kaltluft zwischen die Baukörper ermöglicht (KRESS et al. 1979, S.61):

- grundsätzlich eine Minimierung der Flächenausdehnung des städtischen Siedlungskörpers und des damit verbundenen Wärmeinseleffekts
- keine hohe, dichte Bebauung, die die Kaltluft staut oder von den Luftmassen überströmt wird, z. B. durch eine aufgelockerte Bebauung in Form von kleineren Reihenhäusern und Ein- bis Zweifamilienhäusern
- in den Randbereichen des überwärmten Siedlungskörpers eine aufgelockerte, offene Bebauung mit Abstandsgrün, die den ausgleichenden Luftmassen ein Vordringen bis in die dicht bebaute Innenstadt ermöglicht
- durch eine lockere Bebauung in den Randbereichen eine frühzeitige Erwärmung der Kaltluftflüsse verhindern; eine Erwärmung würde zur Konvektion führen und die kühlende Wirkung nicht mehr bis zum Siedlungskern vordringen
- offene Randbebauung an klimatisch wirksamen Grünflächen

Frischlufthbahnen bis weit in den Siedlungskörper erhalten, durch:

- Freihalten von Ventilationsbahnen z. B. in Form von Bahntrassen
- Erhaltung von Vernetzung innerstädtischer Grünflächen vom Stadtrand bis in den Stadtkern

(Zusammenstellung nach INNENMINISTERIUM B.-W. 2004, VDI 2002, S.31, BUNZEL & HINZEN 2000, S.55, KRESS et al. 1979, S.61f)

HORBERT schlägt vor, die Städte entlang der aus den Zentren führenden Verkehrsachsen zu entwickeln und somit Ausgleichsräume bis weit in das Stadtgebiet hinein zu erhalten (2000, S.292f).

Die ideale Bebauung eines Belastungsraums im Tal, in dem Hangabwinde wirksam werden, wie im Stuttgarter Talkessel ist nach KRESS et al. eine mehrgeschossige Bebauung mit einzelnen, durch größere Rasenflächen getrennten Blöcken (1979, S.61).

3.1.3.1 Hangbebauung

Die Hanglagen von Städten in Tälern oder Becken, zu denen auch Stuttgart zählt, unterliegen besonderen klimatischen Funktionen und damit auch planerischen Maßnahmen.

Die Hanglagen des Talkessels in Stuttgart gehören, auf Grund ihrer randlichen Lage zur verdichteten Innenstadt und der noch zum großen Teil erhaltenen lockeren Bebauung zu den Gebieten mit bedeutender klimarelevanter Funktion. Sie weisen eine geringe bioklimatische Belastung auf und übernehmen Transportfunktionen für ausgleichende klimatische Elemente wie Frisch- und Kaltluft, sie sind damit klimatisch und lufthygienisch erheblich gegenüber Nutzungsintensivierung empfindlich. Um die Flächen mit ihren bioklimatischen Vorzügen und den für die Stadtteile am Kesselboden wichtigen klimatischen Funktionen zu erhalten, gilt es diese in der Planung besonders zu berücksichtigen (NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART, 1992).



Abbildung 59 Verzahnung des bebauten Belastungsraums mit den ausgleichend wirkenden Wald- und Freiflächen der Hänge und Randhöhen - im Vogelsangtal (li) und in Heselach (re, Foto: BAUMÜLLER)

Ist eine Bebauung der Hanglagen nicht zu vermeiden, muss durch planerische Maßnahmen das regionale Zirkulationssystem in Form von Hangauf- und -abwinden aufrecht erhalten werden, dabei gilt es zu berücksichtigen, dass Hangabwinde langsam, fast laminar strömende Kaltluftmassen sind. Sie können nur in Bebauung mit größeren, offenen Abständen zwischen den Gebäuden eindringen (KRESS et al. 1979, S.61).

Im Einzelnen gilt es bei der Planung für Hangbebauungen in klimatischer Hinsicht die folgenden Punkte zu berücksichtigen.

Minimierung der thermischen Belastung um Konvektion (s.o.) zu vermeiden, durch:

- offene Bebauung mit großen Abständen der einzelnen Gebäude untereinander; nach KING (in BAUMÜLLER 1974, S.48) haben sich 10 m breite Durchlässe in Bezug auf den Durchfluss aufgestauter Kaltluft als wirkungsvoll erwiesen, dennoch muss dazu berücksichtigt werden, dass die Gebäude Wärme abgeben und deshalb größere Abstände vorteilhaft sind, um die vorzeitige Erwärmung der Luft zu verhindern
- niedriges Nutzungsmaß und verhältnismäßig große, nicht überbaute Flächen auf den Baugrundstücken

Freihalten von Luftleitbahnen für die ausgleichenden Wirkungen der Hangauf- und

-abwinde, durch:

- Schneisen senkrecht zum Hang, die von Bebauung freigehalten werden, z.B. Hangeinschnitte und Klingen
- Orientierung der Gebäude senkrecht zum Hang, keine abriegelnde Zeilenbebauung (und Begrünung z.B. Baumreihen) quer zur Kaltluftabflussbahn
- niedrige Gebäudehöhen bis maximal in Baumhöhe (entspricht der natürlichen Hinderhöhe), stellt sich für die bodennahen Strömungsverhältnisse günstig dar
- Beachtung der Kaltluftabflussrichtung bei der Bebauung durch Lage und Gestaltung der Erschließungsachsen, der Firstrichtung der Gebäude und der Freiflächen
- bei flachen Hängen wird durch eine punktförmige Bebauung mit größeren Grün- und Freiflächen eine ausreichende Durchlüftung gewährleistet, sowie die Kaltluftproduktion unterstützt
- Baugebiete an bewaldeten Hängen, müssen eine ausreichend große Abstandsfläche zum Waldrand freihalten, um den Abfluss der bei Tag besonders wertvollen Kaltluft aus dem Stammraum des Waldes zu gewährleisten

Besonders die Hanglagen sind aus lufthygienischer Sicht von Emissionsquellen freizuhalten, da diese Luftverunreinigungen durch die stabile Schichtung der Hangabwinde konzentriert in die tiefer gelegenen Siedlungsräume transportiert werden und zu zusätzlichen Belastungen führen.

(Zusammenstellung nach INNENMINISTERIUM B.-W. 2004, VDI 2002, S.30f, BAUMÜLLER 1974, S.47f)

3.2 planerische Zielsetzungen der einzelnen Teilräume

Wie im BauGB und den Naturschutzgesetzen formuliert soll jeder räumlichen Planung die Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes zu Grunde liegen, außerdem das Schaffen und Erhalten günstiger Lebensbedingungen für die Menschen. In klimatischer und lufthygienischer Hinsicht heißt das, die Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen zur Verbesserung bzw. Erhaltung günstiger bioklimatischer Verhältnisse, der Luftqualität und besonderer Lokalklimate (MOSIMANN et al. 1999, S.204).

Im Landschaftsentwicklungsprogramm von Rheinland-Pfalz 1994 werden für hochverdichtete Räume für den Funktionsbereich Klimaschutz folgende Oberziele formuliert:

- Sicherung und Verbesserung der bioklimatischen Bedingungen
- Sicherung und Verbesserung von Bestand und Funktion klimatischer Regenerationsgebiete
- Freihaltung der klimatischen Einzugsgebiete und Transportwege (d.h. Kaltluftentstehungsgebiete und Kaltluftabflussgebiete) von Bebauung und Emissionen
- Minderung der thermischen Belastung in Stadtgebieten

(in SCHNEIDER 1995, S.27)

Für die einzelnen Flächen mit ihren spezifischen klimaökologischen Funktionen wie sie unter 3.1 charakterisiert wurden, gelten damit folgende Unterziele (Zusammenstellung nach KRESS et al. 1979, SCHNEIDER 1995, LFU Bay 2004) :

Ausgleichsraum:

Erhalt, Schutz und Ausbau klimatisch ausgleichender Wirkungen, was im Besonderen den Erhalt von Flächen mit bedeutender Klimaaktivität bedeutet.

Leitbahn:

Erhalt und Schaffung von Verbindungen zur optimalen Verknüpfung der klimatisch ausgleichenden Wirkungen mit den belasteten Gebieten.

Wirkungsraum:

Vermeidung und Verringerung von Beeinträchtigungen des Klimas, was im Besonderen die Minderung klimatischer und lufthygienischer Nachteile in belasteten bebauten Gebieten und die Vermeidung einer weiteren Ausdehnung der stadtklimatischen Ausprägung bedeutet. Optimierung der Wirkungen von Ausgleichsleistungen in den belasteten Räumen.

Die Träger der räumlichen Planung sind auf Grund gesetzlicher Vorgaben verpflichtet, die Belange des Klimas zu berücksichtigen. Der Entwicklung von Planungszielen müssen die konkreten klimatischen Bedingungen und Funktionen am Standort bzw. im Planungsraum zu Grunde gelegt werden (VDI 2002, S.17). Die räumliche Unterteilung Ausgleichsraum - Leitbahn - Wirkungsraum dient der ersten Einteilung, was aber detaillierte standortspezifische Untersuchungen und Gutachten für einzelne Planungsvorhaben nicht ersetzt. Dennoch können daraus für die gesamträumliche Planung Ziele und Maßnahmen entwickelt werden, wie es in Kapitel 3.1 dargestellt wurde.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt nach unterschiedlichen gesetzlichen Grundlagen in den einzelnen Planungsebenen über differenzierte Instrumente, die das folgende Kapitel 4 darstellt.

4 rechtliche Möglichkeiten zum Schutz und zur Verbesserung des Klimas

4.1 Bedeutung des Klimas im Baurecht

In § 1 (Abs. 5 Satz 2 Nr. 7) des BauGB heißt es: "Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind insbesondere zu berücksichtigen (..) die Belange des Umweltschutzes, auch durch die Nutzung erneuerbarer Energien, des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere des Naturhaushalts, des Wassers, der Luft und des Bodens einschließlich seiner Rohstoffvorkommen sowie das Klima".

Der Begriff "Umweltschutz" bezeichnet dabei die Gesamtheit der Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltbelastungen und -gefahren. Der Umweltschutz hat drei Hauptziele: die Beseitigung bereits eingetretener Umweltschäden, Verhinderung oder Minderung aktueller Umweltgefährdungen, Vermeidung künftiger Umweltgefährdungen durch Vorsorgemaßnahmen. Umweltschutz ist als Oberbegriff für alle Umweltbelange zu verstehen, deren Schutz erforderlich ist, um die unbebaute und bebaute Umwelt sowie deren Lebewesen, insbesondere die Menschen vor Nachteilen (erheblichen Belästigungen, Störungen und Gefahren) zu bewahren. Gleichzeitig enthält der Schutzgedanke einen vorbeugenden Schutz (FICKERT & FIESELER 2002, S.5f).

Im Baurecht hat der Umweltschutz neben dieser grundsätzlichen Forderung spezielle Festlegungen im BauGB, die im folgenden Kapitel 4.2.2 erläutert werden. Durch zahlreiche weitere Gesetze, Verordnungen und Regelungen hat der Umweltschutz gesetzliche Verankerung erfahren. Beispielhaft wäre hier zu nennen: das Bundes-Bodenschutzgesetz, die Umsetzung der europäischen Richtlinien "Zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen" (FFH-Richtlinie) und die Wasserrahmenrichtlinie, die Eingriffsregelung im Bundesnaturschutzgesetz, das Bundesimmissionsschutzgesetz und seine Verordnungen, das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung und die seit Juli 2004 in nationales Recht umgesetzte europäische Richtlinie EAG-Bau, die eine Strategische Umweltprüfung für Pläne und Programme in der Bauleitplanung vorsieht (FICKERT & FIESELER 2002, S.5).

Die Belange von Klima und Luft in der Bauleitplanung werden durch unterschiedliche Regelwerke abgedeckt. So stellt das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) von 1974 das älteste der modernen Umweltschutzgesetze dar, wobei die Luftreinhaltung davor bereits durch die Verwaltungsvorschrift TA Luft geregelt worden ist (FICKERT & FIESELER 2002, S.7f). Dennoch unterliegt das Schutzgut Klima im Städtebau keiner besonderen gesetzlichen Regelung, die mit einem BImSchG oder dem Bundesbodenschutzgesetz vergleichbar wäre. Der Einfluss des Klimas auf die städtebauliche Entwicklung ist aus der Forderung nach der Sicherung einer menschenwürdigen Umwelt und der Anforderung an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse im BauGB in die Planung mit einzubeziehen. Andererseits ist das Klima als zu schützendes Gut zu berücksichtigen. Der unmittelbare oder mittelbare Schutz des Klimas ist Gegenstand von Planungs- und Zulassungsmaßnahmen nach verschiedenen Rechtsbereichen, deren aufeinander abgestimmtes Zu-

sammenwirken erst das Erreichen der angestrebten Schutzziele erwarten lässt (FICKERT & FIESELER 2002, S.291). Darunter fallen z. B. Richtlinien für Emittenten und Abstandsflächen zu sensiblen Nutzungen im BImSchG, aber auch die Abwägung der Auswirkungen eines Vorhabens auf das Klima in der Bauleitplanung nach dem BauGB und dem UVP-G.

FICKERT & FIESELER schränken dabei von vornherein ein, dass der Schutz des Klimas vorrangig ein globales bzw. überörtliches Ziel sei, das auch in erster Linie mit globalen bzw. überörtlichen Maßnahmen anzustreben sei. Festsetzungen im Bebauungsplan zum Zwecke des Klimaschutzes können, d.h. dürfen nach § 9 Abs. 1 BauGB nur aus städtebaulichen Gründen getroffen werden. Diese sind dadurch auf den örtlichen Bereich und vorwiegend auf das örtliche Kleinklima eingeschränkt (2002, S.291).

Der Schutz und Verbesserung der lokalklimatischen Situation um der Bevölkerung gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse zur Verfügung zu stellen wird immer relevanter. Die objektive Bedeutung der klimatologischen Auswirkungen z.B. eines B-Plans hängt nach FICKERT & FIESELER (2002, S.291) davon ab, ob sie in eine Bedrohung oder Gefährdung der Gesundheit umschlagen, die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse verletzen oder sich unzumutbar belästigend auf das allgemeine Wohlbefinden auswirken. Unterhalb dieser Schwelle sollen die örtlichen Klimabezüge als öffentlicher umweltbezogener Belang in die Abwägung eingehen (§ 1 Abs. 5 Satz 2 Nr. 1 BauGB) und, soweit unvermeidbar, ausgeglichen oder gemindert werden (§ 2 Abs. 1 Nr. 8 und § 8a BNatSchG).

Wie sich in der vorangegangenen Darstellung gezeigt hat, ist das lokale Klima im Stadtgebiet Stuttgarts bereits sehr deutlich beeinträchtigt und führt oftmals durch thermische und lufthygienische Belastungen zu Beeinträchtigungen der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse. Eine planerische Berücksichtigung dieses Schutzguts ist damit in der Bauleitplanung Stuttgarts unumgänglich und muss bis in die Ebene der Entscheidung über Baugenehmigungen einfließen. Führt ein Vorhaben über die Grenze zumutbarer Belästigungen hinaus ist es nach dem BauGB nicht zulässig.

Der globale Klimaschutz auf kommunaler Ebene wird über Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in der Bauleitplanung in einzelnen Bereichen umgesetzt, wie bei der Förderung erneuerbarer Energien oder durch bautechnische Maßnahmen an Gebäuden zum Wärmeschutz oder selbst durch intelligente Planung, die unnötige Wege und damit Verkehrsaufkommen vermeidet (FICKERT & FIESELER 2002, S.293).

Zum globalen Klimaschutz hat Stuttgart bereits Anfang der 90er Jahre ein Klimaschutzkonzept (KLIKS) verfasst, mit dem Ziel den CO₂-Ausstoß zu verringern. Es wurden dabei Szenarien aufgezeigt, wie sich die CO₂-Emissionen durch unterschiedliche Einsparkonzepte entwickeln und Maßnahmenbündel zur CO₂-Reduktion für die Sektoren Verkehr und Energie erarbeitet (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004).

4.2 Sicherungsinstrumente klimatisch relevanter Flächen

Umweltbelange und die vorsorgende Sicherung von Qualität und Quantität natürlicher Ressourcen wie Wasser, Boden, Luft, Klima, Flora und Fauna sind in den letzten Jahren angesichts immer deutlicher erkennbarer Überlastungen nicht nur in den Verdichtungsräumen bei Raumplanungen in den Vordergrund getreten. Klimatische und lufthygienische Kriterien spielen vor allem im Ballungsraum bei der Siedlungsplanung und der Ausweisung von Freiflächen eine zunehmende Rolle. Auf Grund fehlender normativer Kriterien im klimatischen Bereich, die nur in Form von Richt- und Grenzwerte für die Lufthygiene vorhanden sind, fehlender Daten und knapp bemessener Untersuchungszeiträume, kann jedoch häufig nur mit relativ pauschalen qualitativen Argumenten gearbeitet werden. Gegenüber den normativ abgesicherten, quantifizierten Argumenten konkurrierender Raumansprüche, wie beispielsweise der Wohnbedarf oder Verkehrszahlen, erscheinen die klimatischen Belange bei der politischen Abwägung vermeintlich nachrangig. Daher erarbeiten Kommunen oder Regionen verstärkt eigene Umweltqualitätsziele, auch für rechtlich bundes- oder landesweit nicht normierte ökologische Bereiche eigene politisch abgesicherte regionale Standards für die Bewertung von Planungen (SCHIRMER et al. 1993, S.63). Der Raum Stuttgart besitzt mit einer eigenen Abteilung für Stadtklimatologie im Amt für Umweltschutz und den ausführlichen Untersuchungen zum Stadtklima viele Grundlagendaten, außerdem klimatische Zielsetzungen in Form von planerische Empfehlungen durch den 1992 zur Aufstellung des Flächennutzungsplans erarbeiteten Klimaatlas. Dieser besondere Informationsumfang ist durch die sensiblen klimatischen Verhältnisse des Raums Stuttgart gerechtfertigt, was aber gleichzeitig deren Berücksichtigung und Umsetzung bei räumlichen Planungen noch dringender erforderlich macht.

Das deutsche Planungssystem umfasst in einzelnen Planungsebenen, von der Bundes- über die Landesebene, den einzelnen Regionen, bis zu den Kommunen die gesamtäumliche Planung und die Fachplanungen der einzelnen Ressorts. Die jeweils übergeordneten Planungsziele und -inhalte sind nach dem jeweiligen Planungsrecht in die untergeordneten Planungen und in die Fachplanungen zu integrieren.

Die Koordination zwischen den einzelnen Ressorts sowie den Trägern der räumlichen Gesamtplanung erfolgen durch Anhörungs- und Beteiligungsverfahren, wodurch bei den einzelnen Planungen und Maßnahmen die Berücksichtigung aller relevanten Belange angestrebt wird (VDI 2002, S.17).

Zur Einschätzung des Stadtklimas Stuttgarts im Speziellen, ist eine Betrachtung von der regionalen Ebene bis in die verbindliche Bauleitplanung sinnvoll. Im Anschluss werden die planerischen Instrumente zur Umsetzung der in Kapitel 3 formulierten Zielsetzungen und Maßnahmen aufgezeigt und auf die jeweiligen gesetzlichen Grundlagen verwiesen.

4.2.1 Regionalplanung

Die Regionalplanung konkretisiert die Ziele der Landesplanung räumlich und fachlich in Text und Karte. Sie ist die teilraumbezogene regionale Stufe der Landesplanung mit der Aufgabe einer vorausschauenden, zusammenfassenden, überörtlichen und überfachlichen Planung für die raum- und siedlungsstrukturelle Entwicklung der Region auf längere Sicht (VDI, 2002, S.18 und 24). Sie basiert auf dem Raumordnungsgesetz, dieses sieht "Schutz, Pflege und Entwicklung der natürlichen Lebensgrundlagen" (ROG § 1 (1) Nr. 2) in der räumlichen Planung vor.

Die der Raumplanung übergeordnete Landesplanung, in Baden-Württemberg das Landesentwicklungsprogramm von 1989 benennt "Bereiche mit besonderen Funktionen für (...) Klima (...)", es fehlen aber konkrete Vorgaben eigener Planelemente für den Bereich Klimaschutz. Auch in der Anordnung des Innenministeriums Baden-Württemberg über die Aufstellung von Regionalplänen finden sich keine Hinweise bezüglich dieses Funktionsbereiches (SCHNEIDER 1995, S.50).

Die Regionalplanung bildet mit entsprechenden Aussagen für eine vorsorgende Umweltplanung die Grundlage für die Bauleitplanung der Städte und Kommunen und kann damit einen wichtigen Beitrag zur räumlichen Gesamtentwicklung und -koordination leisten (SCHNEIDER 1995, S.37).

Für die gemeindliche Bauleitplanung hat die Regionalplanung Steuerungs- und Kontrollfunktionen, indem sie die Ziele der Landesplanung konkretisieren (VDI 2002, S.24).

Die im ROG geforderte räumliche Vorsorgepolitik kann, im Bezug auf die großräumigeren Zusammenhänge die es bei dem Schutzgut Klima zu beachten gilt (z. B. räumliche Zuordnung des Kaltluftentstehungsgebietes und des Wirkungsraumes), nur durch einen überkommunalen bzw. regionalen Freiflächenschutz umgesetzt werden (SCHNEIDER 1995, S.37).

Zu dem in den Regionalplänen entwickelten räumlich-funktionalen Muster der Region gehört die Zuweisung von Funktionen an Teilräume, die diese zu erfüllen haben. Um die Funktionen sicherzustellen, werden Vorranggebiete ausgewiesen. Freiraumfunktionen werden durch regionale Grünzüge gebündelt, welche flächenhaft insbesondere im Bereich von Ballungsräumen ausgewiesen werden (VDI 2002, S.24).

Nach SCHNEIDER (1995, S.37 ergänzt nach § 7 Abs. 4 ROG) haben sich folgende Freiraumschutzinstrumente der Regionalplanung in der bisherigen Raumplanungspraxis bewährt:

- Vorranggebiete

(Gebiete, die für bestimmte, raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen vorgesehen sind und andere raumbedeutsame Nutzungen in diesem Gebiet ausschließen, soweit diese mit den vorrangigen Funktionen, Nutzungen oder Zielen der Raumordnung nicht vereinbar sind)

- Vorbehaltsgebiete

(Gebiete, in denen bestimmten, raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen bei der

Abwägung mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen besonderes Gewicht beigemessen werden soll)

- Regionale Grünzüge

4.2.2 kommunale Bauleitplanung

Die kommunale Ebene der Bauleitplanung ist ein wichtiges Instrument für den Schutz des Klimas und der Luftreinhaltung, da der von den Gemeinden entwickelte Flächennutzungsplan und der daraus abgeleitete Bebauungsplan für jedermann rechtsverbindlich festlegt, ob Grund und Boden umweltverträglich genutzt werden (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Problematisch ist, trotz der Fülle der rechtlichen Regelungen die die Berücksichtigung des Klimas und der Lufthygiene einfordern, dass für diese Planungsfaktoren keine bestimmte Behörde oder Stelle als Träger Öffentlicher Belange speziell zuständig ist. Somit können unterschiedliche, am Planungsverfahren Beteiligte diesen Belang im Anhörungsverfahren vertreten. Dies betrifft die Bereiche

- Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Nachbarschaftsschutz (Immissionsschutz, Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen)
- Orts- und Umwelthygiene (aus vorwiegend medizinischer Sicht)
- Natur- und Landschaftsschutz.

(INNENMINISTERIUM B.-W. 2004)

Das Baugesetzbuch (BauGB) stellt die gesetzliche Grundlage für die kommunale Bauleitplanung dar. Grundlegend fordert der § 1 Abs. 5 BauGB

- Gewährleistung einer nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung
("die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringt")
- Gewährleistung einer sozial gerechten Bodennutzung
- Sicherung einer menschenwürdigen Umwelt und
- Schutz und Entwicklung der natürlichen Lebensgrundlagen
(mit besonderem Verweis auf die "Verantwortung für den allgemeinen Klimaschutz, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild")

(INNENMINISTERIUM B.-W. 2004)

Der 2004 neu eingefügte § 1 Abs. 6 Nr. 7a fordert insbesondere in klimatischer und lufthygienischer Hinsicht

- a) die Berücksichtigung der "Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und die biologische Vielfalt"

- c) die Berücksichtigung "umweltbezogener Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit sowie die Bevölkerung insgesamt"
- e) "die Vermeidung von Emissionen.."
- f) "die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die sparsame und effiziente Nutzung von Energie"
- g) "die Darstellung von Landschafts- und Grünordnungsplänen sowie von sonstigen Plänen, insbesondere des Wasser-, Abfall- und Immissionsschutzrechts"
- h) "die Erhaltung der bestmöglichen Luftqualität auch in Gebieten, in denen die festgelegten Immissionsschutzgrenzwerte nicht überschritten werden"
- i) die Berücksichtigung der "Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Belangen des Umweltschutzes nach den Buchstaben a, c, und d"

Die genannten Punkte sind Abwägungsbelang für Entscheidungen in der Bauleitplanung.

In den "Ergänzenden Vorschriften zum Umweltschutz" (§ 1a) werden die ökologischen Belange die u. a. das Klima betreffen, konkretisiert Abs. 2 verweist darauf,

- u. a. Nachverdichtung und Innenentwicklung zu fördern
- ausdrücklich die Bodenversiegelung auf das notwendige Maß zu begrenzen

Nach Abs. 3 soll auch

- "die Vermeidung und der Ausgleich voraussichtlich erheblicher Beeinträchtigungen (...) der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes"

bei der Abwägung berücksichtigt werden. Dabei ist auf die Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz (§ 8) verwiesen. Ausgleichsmaßnahmen sind nach § 5 BauGB im Flächennutzungsplan darzustellen und nach § 9 im Bebauungsplan als "Flächen oder Maßnahmen zum Ausgleich" festzusetzen (BauGB 2004, S.32).

Bei der Novellierung des BauGB 2004 wurde die europaweit geltende Plan-UP-Richtlinie (2001/42/EG) in nationales Recht überführt. So fordert § 2 Aufstellung der Bauleitpläne (4) "für die Belange des Umweltschutzes eine Umweltprüfung" durchzuführen, in der die "voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen ermittelt werden und in einem Umweltbericht beschrieben und bewertet werden." Sie sieht für alle Bauleitpläne eine grundsätzliche Pflicht zur Umweltprüfung vor und zwar sowohl bei deren Aufstellung, wie auch bei Planänderungen, -ergänzungen und -aufhebungen. "Das Ergebnis der Umweltprüfung ist in der Abwägung zu berücksichtigen." (ZINSEL 2005 und BauGB 2004, S.36)

Die SUP-Richtlinie fordert vor allem die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der direkten und indirekten Auswirkungen der Planung und ihrer realistischen Alternativen auf die Schutzgüter und das Aufzeigen von Vermeidungs-, Verringerungs- und Ausgleichsmaßnahmen. Im Umweltbericht werden die Ergebnisse der Prüfung dokumentiert. Zusätzlich sieht sie die Überwachung der erheblichen Umweltauswirkungen (Monitoring) nach Umsetzung der Planung vor, um unvorhergesehene negative Auswirkungen frühzeitig er-

kennen zu können und Abhilfemaßnahmen zu treffen (ZINSEL 2005).

§ 2a BauGB legt fest, dass eine Gemeinde im Aufstellungsverfahren dem Entwurf des Bauleitplans eine Begründung beizufügen hat in dem Ziel und Zweck und wesentliche Auswirkungen des Bauleitplans und die bei der Umweltprüfung "ermittelten und bewerteten Belange des Umweltschutzes" dargestellt werden. Dieser Umweltbericht bildet einen gesonderten Teil der Begründung (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004 und BauGB 2004, S.36).

Im Folgenden werden die inhaltlichen Aussagen des BauGB für die übergeordnete Bauleitplanung (Flächennutzungsplan FNP § 5 BauGB) und die verbindliche Bauleitplanung (Bebauungsplan B-Plan § 8 BauGB) die auf die Thematik Klima und Lufthygiene anzuwenden sind, aufgeführt und beispielhaft erläutert.

Inhalt der übergeordneten Bauleitplanung

Im BauGB werden die im FNP darzustellenden Inhalte nicht abschließend aufgeführt und können noch ergänzt werden. Für die Fragen der Planungsfaktoren Klima und Lufthygiene sind folgende Inhalte von Bedeutung (§ 5 Abs. 2):

1. für Bebauung vorgesehene Flächen nach der allgemeinen (Bauflächen) und der besonderen (Baugebiete) Art der baulichen Nutzung (nach § 1 Abs. 1 und 2 BauNVO) und das allgemeine Maß der baulichen Nutzung
3. Flächen für den überörtlichen Verkehr und für die örtlichen Hauptverkehrszüge
4. Flächen für die öffentlichen Ver- und Entsorgungsanlagen
5. Grünflächen
6. Flächen für Nutzungsbeschränkungen oder für Vorkehrungen zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des BImSchG
9. Flächen für die Landwirtschaft und Waldflächen
10. Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur- und Landschaft

(Abs. 2a) Flächen zum Ausgleich von Maßnahmen nach § 8 BNatSchG

Inhalt der verbindlichen Bauleitplanung

Die Belange des Klimas werden von einer Reihe der Festsetzungsmöglichkeiten zur Gestaltung der Siedlungsstruktur und für freiraumbezogene Nutzungen berührt (SCHIRMER et al. 1993, S.207f).

Im BauGB sind für den B-Plan im Gegensatz zum FNP die Festsetzungsmöglichkeiten vollständig aufgeführt. Für das Klima und die Lufthygiene relevant stellen sich folgende dar (§ 8 Abs. 1):

1. die Art und das Maß der baulichen Nutzung
2. die Bauweise (z. B. offen für Durchlässigkeit von Frisch- und Kaltluft), die überbaubaren und die nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der bau-

- lichen Anlagen
3. für die Größe, Breite und Tiefe der Baugrundstücke Mindestmaße und aus Gründen des sparsamen und schonenden Umgangs mit Grund und Boden für Wohnbaugrundstücke auch Höchstmaße
 4. die Flächen für Nebenanlagen, wie Spiel-, Freizeit- und Erholungsflächen sowie die Flächen für Stellplätze und Garagen mit ihren Einfahrten
 5. Flächen für den Gemeinbedarf, für Sport- und Spielanlagen
 9. der besondere Nutzungszweck von Flächen
 10. die Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind und ihre Nutzung
 11. Verkehrsflächen
 15. öffentliche und private Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe
 18. die Flächen für Landwirtschaft und für Wald
 20. Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
 22. Flächen für Gemeinschaftsanlagen für bestimmte räumliche Bereiche wie Kinderspielplätze, Freizeiteinrichtungen, Stellplätze und Garagen
 23. Gebiete in denen zum Schutz von schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des BImSchG bestimmte luftverunreinigende Stoffe nicht oder nur beschränkt verwendet werden dürfen
 24. die von der Bebauung freizuhaltenden Schutzflächen und ihre Nutzung im Sinne des BImSchG, sowie die zum Schutz vor solchen Einwirkungen oder zur Vermeidung oder Minderung solcher Einwirkungen zu treffenden baulichen und sonstigen technischen Vorkehrungen
 25. für einzelne Flächen oder das Bebauungsplangebiet und für Teile baulicher Anlagen das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen und die Bindung von Bepflanzung und für den Erhalt von Bepflanzungen und Gewässern
 26. die Flächen für Aufschüttungen und Stützmauern, soweit sie zur Herstellung des Straßenkörpers erforderlich sind

(SCHIRMER et al. 1993, S.207f ergänzt durch BauGB 2004, S.49)

Die Darstellung und Ausweisung von Bauflächen und Baugebieten im FNP sowie im B-Plan stellt entscheidende Weichen zugunsten oder zulasten der Umwelt und damit auch des Klimas und der Lufthygiene. Bei der Ausweisung von Bauflächen und Baugebieten muss geprüft werden, wie weit sich die beabsichtigte Planung negativ auf die Immissions- und Klimasituation bereits besiedelter Gebiete auswirken kann. Oftmals kann es erforderlich sein, bereits im FNP Nutzungsbeschränkungen für bestimmte Flächen und Teilbereiche zu treffen (SCHIRMER et al. 1993, S.88f).

Für die Region Stuttgart ist eine Abgrenzung der klimatischen Funktion der Flächen und der entsprechende planerische Umgang aus dem Klimaatlas zu berücksichtigen.

PESCHEL sieht in den inhaltlichen Festsetzungen in der Bauleitplanung den Zusammenhang zur Erhaltung und langfristigen Sicherung klimaaktiver Flächen. Der Begriff "klimaaktive Fläche" bezieht er auf die thermischen und auf die reliefbedingten Voraussetzungen des lokalen Luftaustausches und damit auf das Gesamtsystem Kaltluftentstehungsgebiet - Kaltluftabfluss - Frischluftschneise. Flächen die maßgeblich als Kaltluftentstehungsflächen wirken, können zum Beispiel nach § 5 Abs. 2 Nrn. 5 und 9 BauGB in der übergeordneten Bauleitplanung und nach § 9 Abs. 1 Nrn. 15 und 18 BauGB in der verbindlichen Bauleitplanung als Flächen für die Landwirtschaft, Forstwirtschaft oder als Grünflächen dargestellt und festgesetzt werden. Damit hat diese Festsetzung Gültigkeit für alle Faktoren des Naturhaushaltes innerhalb der landschaftsplanerischen Belange (1994, S.272).

Durch die Nutzungsdarstellung und -festsetzung von Frischluftschneisen bzw. Frischluftbahnen oder klimarelevante Grünzonen/Grünzüge als Grünfläche, Sport- und Spielanlage oder als Fläche für die Landwirtschaft lassen sich diese Flächen im FNP und B-Plan freihalten. Die lokalklimatische Bedeutung und Funktion der betreffenden Flächen muss aber in den Begründungen zum FNP (§ 5 Abs. 5 BauGB) und zum B-Plan (§ 9 Abs. 8) aufgenommen werden. Auch mit der Festsetzung privater Grünflächen ist ein positiver klimarelevanter Effekt, hier insbesondere die Verminderung thermischer Belastungen bzw. des Wärmeinseleffektes verbunden. Bei Festsetzung derartiger Grünflächen muss allerdings eine städtebauliche Erforderlichkeit bezüglich der anzustrebenden Durchgrünungsfunktion gegeben sein (PESCHEL 1994, S.272).

Die Sicherung der "klimaaktiven" Kaltluftentstehungsflächen für den Stuttgarter Talkessel z.B. die noch vorhandenen Freiflächen um Vaihingen und Möhringen können somit eindeutig als landwirtschaftlich genutzte Flächen gesichert werden. Der FNP 2010 hat Teile dieser Bereiche als "Fläche für die Landwirtschaft mit Ergänzungsfunktion z.B. Erholung, Klima (..)" vorgesehen. Ebenso dringlich ist der Erhalt und die Ausweisung "klimaaktiver Flächen" im Einzugsgebiet der Hanglagen, in dem die Randbereiche der Siedlung z. B. als "Grünflächen Parkanlage, Landschaftspark" oder "Sonstige Grünflächen" von Bebauung freigehalten werden (s. Abb. 60). Besonders schützenswert nicht nur aus klimatischen Gesichtspunkten sind dabei die innerhalb der Siedlung vorhandenen landwirtschaftlichen

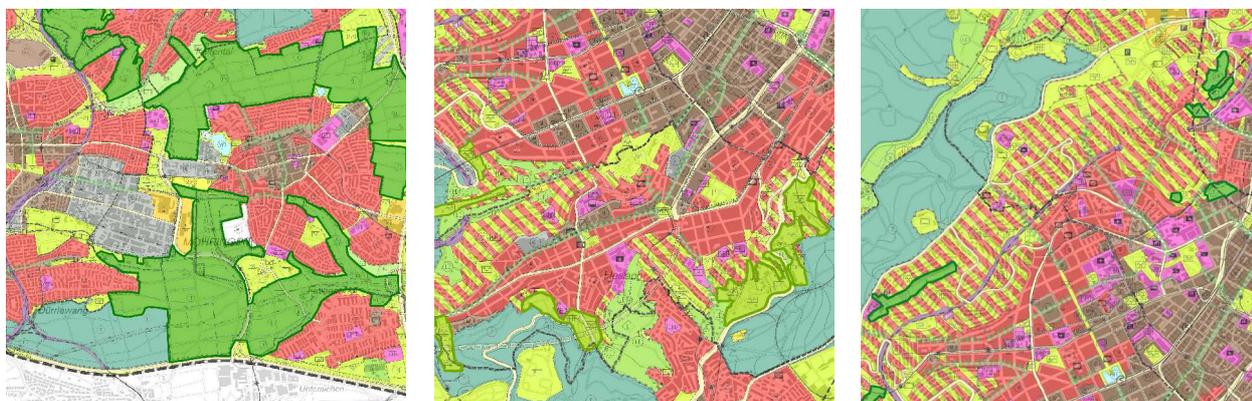


Abbildung 60 beispielhafte Ausschnitte FNP 2010 (massstabslos): "Flächen für Landwirtschaft" zwischen Vaihingen und Möhringen - Grünflächen im Anschluss an die Hangbebauung im Talkessel - "Flächen für die Landwirtschaft" zwischen der Hangbebauung im Talkessel

Quelle: LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004a, verändert

Flächen, die meist noch als Rebflächen oder Gärten genutzt werden.

Vorkehrungen im Sinne des § 5 Abs. 2 Nr. 6 BauGB, die das BImSchG im Baurecht verankern, können (im FNP) sowohl überlagernde als auch als eigenständige Nutzungen darstellen. Obwohl die Vorschrift in erster Linie dem Schutz vor Lärmeinwirkungen dienen soll, wird man diese Darstellungsmöglichkeiten auch zur Verbesserung der örtlichen Luftverhältnisse einsetzen können (z. B. zur Darstellung von Grünflächen, die als Kalt- und Frischluftschneisen dienen) (SCHIRMER et al. 1993, S.88f).

Die unter § 5 Abs. 2 Nr. 10 gegebene Möglichkeit der Darstellung von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft, dient der Integration der Landschaftsplanung in die Flächennutzungsplanung (SCHIRMER et al. 1993, S.88f). Maßnahmen der Natur- und Landschaftspflege mit gleichzeitiger Überlagerung (Gültigkeit) für die Planung in Siedlungsbereichen, d. h. Baugebieten können Festsetzungen hinsichtlich Wasserflächen oder bestehender Bepflanzungen sein (z. B. Bindung für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und der Bestand des Gewässers im B-Plan § 9 Abs. 1 Nr. 25b) (PESCHEL 1994, S.272).

Eine Baumschutzverordnung oder entsprechende Vorgaben durch die Stadt Stuttgart wären damit eine Möglichkeit, die bestehenden Freiflächen, vor allem die alten Gärten an den locker bebauten Hängen vor weiterer baulicher Verdichtung zu bewahren.

Absatz 1a verweist nochmals auf die Eingriffsregelung des BNatSchG. Flächen für Maßnahmen zum Ausgleich von Eingriffen in Natur und Landschaft können auf den Grundstücksflächen selbst, innerhalb des Geltungsbereichs des B-Plans oder an anderer Stelle (z. B. Ökokonto), die ganz oder teilweise den Eingriffen zugeordnet werden, ausgewiesen werden. Im Raum Stuttgart empfiehlt der Regionalplan die Ausgleichsmaßnahmen zur Verbesserung der Ausgleichsfunktion von Regionalen Grünzügen und Grünzäsuren vorzusehen.

Abs. 3 sieht vor, dass die Höhenlage für Gebäude, Geschosse und Ebenen und sonstige bauliche Anlagen festgesetzt werden kann (BauGB 2004, S.50). Diese Beschränkung kann vor allem in Hanglagen ein Instrument sein um eine ungewollte Höhenentwicklung der Gebäude zu verhindern, in dem die talseitigen Geschosse als Vollgeschosse bestimmt werden. Ein wichtiger klimatischer Gesichtspunkt ist außerdem, dass sich eine Höhenbegrenzung der Gebäude am Hang für die bodennahen Strömungsverhältnisse günstig darstellt. Auch das Überströmen der Siedlung durch Kaltluft oberhalb von 15 m wird dadurch weniger beeinträchtigt.

In einem Bebauungsplan werden die Grenzen seines räumlichen Geltungsbereiches eindeutig festgesetzt (Abs. 7), somit können nur innerhalb dieser Grenzen Maßnahmen hinsichtlich Erhalt und Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Situation möglich. Gilt es Flächen im Randbereich eines B-Plans z. B. von Bebauung freizuhalten (Fri-

schluftschnitten), muss der Geltungsbereich des Plans entsprechend ausgeweitet werden.

Dem Bebauungsplan ist eine Begründung beizufügen (§ 8 Abs. 9a), außerdem eine zusammenfassende Erklärung über die Art und Weise, wie die Umweltbelange in dem Bebauungsplan berücksichtigt wurden und aus welchen Gründen der Plan nach Abwägung mit den geprüften, in Betracht kommenden anderweitigen Planungsmöglichkeiten gewählt wurde (§ 10 Abs. 4) (BauGB 2004, S.52).

Städtebaulicher Vertrag (§ 11 BauGB)

Das Rechtsinstrument des städtebaulichen Vertrags kann zur Umsetzung stadtklimatischer Belange, eingesetzt werden. Beispielsweise als Zielbindungsverträge bei der Umsetzung klimaschützender Maßnahmen im Sinne der Agenda 21 (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

Vorhaben- und Erschließungspläne (VEP, § 12 BauGB)

Bei Vorhaben- und Erschließungsplänen, die die Planung eines konkreten Objektes (z. B. kleines Baugebiet) durch den Vorhabensträger vorsehen, können durch die konkrete Darstellung die Untersuchung und Bewertung aller baukörperabhängigen klimatischen Auswirkungen auf die Umgebung vorgenommen werden. Dabei werden die Aspekte Besonnung und Belichtung, Möglichkeiten der Solarnutzung sowie die bioklimatischen Bedingungen untersucht (INNENMINISTERIUM B.-W. 2004).

4.2.3 informelle Planung

Die informelle Planung dient der Vorbereitung und Umsetzung der formellen Planung, sprich der im Regionalplan oder Flächennutzungsplan bestimmten Ziele. Besonders in großen Städten wie Stuttgart dient es dazu den Maßstabssprung zwischen dem behördenverbindlichen FNP und dem Bebauungsplan der als kommunale Satzung für jedermann verbindlich ist, durch die informelle Planung zu überbrücken und die Ziele des FNP in einem Gesamtkonzept zu konkretisieren.

Zur informellen Planung auf städtischer Ebene gehört vorrangig das Stadtentwicklungskonzept, das ein Leitbild bzw. einen Orientierungsrahmen für die längerfristige Entwicklung einer Stadt geben soll. In einem Stadtentwicklungskonzept wird der Versuch unternommen, Prognosedaten und Programmvorgaben für politische Handlungsfelder zu formulieren. Aufgrund der Komplexität des Stadtgefüges können jedoch nicht alle Bereiche abgedeckt werden, vielmehr werden schwerpunktmäßig Aufgaben und Handlungsprioritäten gesetzt. Stadtentwicklungskonzepte sollen absehbare Probleme angeben und deren zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigen (IÖR 2005).

Städtebauliche Leitbilder, die Stadtentwicklungskonzepte enthalten, sind dahingehend interessant, da sie sich auf die gesamte Stadt beziehen. Sie berücksichtigen die maßgebli-

chen raumwirksamen Faktoren und stellen damit ein auf politischen Handlungsstrategien ausgerichtetes Programm mit Raumbezug dar (IÖR 2005).

Zur Vertiefung räumlich und sachlich begrenzter Entwicklungsprobleme z. B. auf einzelne Stadtgebiete kann der Städtebauliche Rahmenplan eingesetzt werden und dient als Vorstufe für die verbindliche Bauleitplanung. Es können Aussagen getroffen werden etwa zu räumlich-strukturellen, funktionalen, stadtgestalterischen, sozioökonomischen oder ökologischen Aspekten. Die städtebaulichen Ziele können sehr konkret festgelegt werden, haben jedoch nur informellen Charakter (PULS 2005).

Die Hanglagen Stuttgarts werden im Stadtentwicklungskonzept (Entwurf 2004) in ihren vielfältigen Funktionen für das gesamte Stadtgebiet dargestellt, die städtebauliche, grünplanerische und klimatische Gesichtspunkte umfassen. Die formulierten Handlungsfelder und Maßnahmen sollen diese Funktionen im Zusammenhang mit den Zielsetzungen der Stadtentwicklung berücksichtigen und umsetzen.

Die Aufstellung eines Städtebaulichen Rahmenplans könnte, wie bereits angedacht (s. a. 2.2.3), die für Stuttgart wichtigen Hänge detaillierter behandeln. Durch die Planung konkreter baulicher Zielsetzungen und die Entwicklung eines Freiraumkonzeptes für die Hanglagen der Stadt, können die im Stadtentwicklungskonzept angesprochenen Funktionen verortet werden. Ein Rahmenplan wird damit den Forderungen nach dem Erhalt hochwertiger städtischer Wohngebiete, stadtnaher Erholungsflächen, klimatischer Ausgleichsräume und der Bedeutung für das Stadt- und Landschaftsbild durch entsprechende Konzepte und Maßnahmen gerecht. Er erleichtert damit Einzelfallentscheidungen zu Bauvorhaben, da alle Funktionen der Hänge integriert sind und damit die Gesamtsituation berücksichtigt werden kann.

4.2.4 Naturschutzgesetzgebung

Im **Naturschutzgesetz von Baden-Württemberg** sind die Ziele und Aufgaben des Naturschutzes (§ 1) die "freie und besiedelte Landschaft als Lebensgrundlage und Erholungsraum des Menschen so zu schützen, zu pflegen, zu gestalten und zu entwickeln, dass die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter (Boden, Wasser, Luft, Klima, Tier- und Pflanzenwelt) sowie die Vielfalt und Eigenart von Natur und Landschaft nachhaltig gesichert werden."

§ 2 formuliert die Grundsätze der in § 1 genannten Ziele des Naturschutzes, der Landschaftspflege und der Erholungsvorsorge. Bereits der erste Absatz fordert die Gewährleistung einer dauerhaften Nutzungsfähigkeit der Naturgüter zu denen auch das Schutzgut "Klima" gehört. Eine Nutzung der Naturgüter soll so erfolgen, dass das Wirkungsgefüge des Naturhaushalts in möglichst geringem Umfang beeinträchtigt wird. Dies bedeutet auch, dass die Auswirkungen der Stadt auf die Klimaelemente möglichst gering gehalten werden sollen. Namentlich bezeichnet Absatz sieben Luftverunreinigungen durch geeignete Maßnahmen entgegenzuwirken, Absatz acht fordert Beeinträchtigungen des Klimas zu

vermeiden und bei Eingriffen geeignete landschaftspflegerische Maßnahmen durchzuführen.

Besonders relevant für die Hanglagen Stuttgarts zeigt sich die Forderung von Absatz 13, dass "Grünflächen und Grünbestände im Siedlungsbereich weitgehend erhalten werden (...) " sollen. Außerdem sind nach Absatz 14 "Landschaftsteile, die sich durch ihre Schönheit, Eigenart (...) oder ihren Erholungswert auszeichnen oder für einen ausgewogenen Naturhaushalt erforderlich sind" von Bebauung freizuhalten. Nach Absatz 15 soll sich die Bebauung "Natur und Landschaft anpassen".

Durch Landschaftspläne und Grünordnungspläne werden auf der Ebene der Bauleitplanung die Zielsetzungen und Maßnahmen zur Verwirklichung des Naturschutzes, der Landschaftspflege und der Erholungsvorsorge dargestellt (§ 7).

Das Aufstellen von Landschafts- und Grünordnungsplänen gilt insbesondere, wenn Gebiete des Planungsbereichs "als Grünbestände, als notwendige Freiflächen oder als Mindestflur zur Sicherung der Leistungsfähigkeit eines ausgewogenen Naturhaushalts (...) festzulegen und zu schützen sind" (§ 9 Nr. 6). Landschafts- und Grünordnungspläne sollen, soweit erforderlich und geeignet, in die Bauleitpläne aufgenommen werden.

Das Naturschutzgesetz Baden-Württembergs formuliert im vierten Abschnitt die Instrumente zum Schutz von Natur und Landschaft. In Stuttgart sind sieben Naturschutz- und 27 Landschaftsschutzgebiete ausgewiesen (s. Kapitel 1.2.5 Naturschutz- und Landschaftsschutzgebiete). Zusätzlich gibt § 25 die Möglichkeit Grünbestände unter Schutz zu stellen. Als Grünbestände, werden dabei folgende Flächen definiert (Abs. 1): "innerhalb der im Zusammenhang bebauter Ortsteile, in Gebieten deren Bebauung in absehbarer Zeit zu erwarten ist oder in den Randzonen von Wohn(...)bereichen.

- a) Grünflächen und Grünzonen,
- b) Parkanlagen, Friedhöfe oder bedeutsame Gartenanlagen oder
- c) Einzelbäume, Baumreihen, Alleen oder Baumgruppen (Bäume)
(..)

die insbesondere dem Schutz vor Beeinträchtigungen durch (..) Lärm oder Emissionen, dem Schutz des Kleinklimas, (...) dienen."

Außerdem wird in Absatz 2 die Möglichkeit gegeben "Grünbestände, deren Bestandserhaltung (1.) zur Sicherung eines ausgewogenen Naturhaushalts (.. 2.) zur Belebung, Gliederung oder Pflege des Orts- und Landschaftsbildes (...) von besonderer Bedeutung" sind durch Satzung unter Schutz zu stellen (NatSchG BW 1995).

So könnten bei einer entsprechenden Willenserklärung von Seiten der Stadt Stuttgart die noch vorhandenen Grünflächen und Gartenanlagen der bebauten Hangpartien des Talkessels als geschützte Grünbestände ausgewiesen werden.

4.2.5 Bundesimmissionsschutzgesetz und Luftreinhaltung

Ein Schutz vor Luftverunreinigungen ist mit Mitteln der Bauleitplanung nur vorbeugend und mittelbar zu erreichen (FICKERT & FIESELER 2002, S.251). Das Bundesimmissionsschutzgesetz BImSchG formuliert in § 50 den für jede Planungsinstitution bindenden Grundsatz: "Bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen sind die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienender Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete soweit wie möglich vermieden werden." (INNEN-MINISTERIUM B.-W. 2004) Eine weitergehende Konkretisierung der Anforderungen besteht im Bauplanungsrecht nicht.

Im Flächennutzungsplan können für die Flächen Nutzungsbeschränkungen oder für Vorkehrungen zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen dargestellt werden. Beide Darstellungen können bei Neuplanungen oder Über- bzw. Umplanungen (z.B. in Gemengelagen) dazu geeignet sein, den Schutz von schutzbedürftigen Nutzungen vor schädlichen Luftverunreinigungen vorzubereiten. Sie müssen jedoch einen städtebaulichen Bezug haben, denn im FNP ist die sich aus der beabsichtigten städtebaulichen Entwicklung ergebende Art der Bodennutzung nach den voraussehbaren Bedürfnissen der Gemeinde darzustellen. Anforderungen an das globale Klima sind nicht städtebaulich zu begründen und können mit diesem Planungsinstrument nicht umgesetzt werden (FICKERT & FIESELER 2002, S.261f).

Die Technische Anleitung Luft (TA Luft) die im BImSchG integriert ist, stellt mit den darin formulierten Grenzwerten ein wirksames Instrument zur Bewertung und Begrenzung von Luftschadstoffbelastungen dar. Diese sind allerdings nur anlagenbezogen und somit nicht nach der städtebaulichen Schutzbedürftigkeit verschiedener Nutzungen ausgerichtet (PESCHEL 1994, S.274). Dennoch dient sie dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen (FICKERT & FIESELER 2002, S.252).

Durch die Umsetzung der Luftqualitätsrahmenrichtlinie der EU in nationales Recht werden sehr strenge Anforderungen durch z. T. deutlich niedrigere Grenzwerte als sie bisher in der TA Luft und der 22. BImSchG vorgesehen waren, an die Luftqualität gestellt. Es wurden neue Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel (PM 10) und Blei festgelegt. Weitere Tochterrichtlinien für Benzol und Kohlenmonoxid, für Ozon, für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Cadmium, Arsen, Nickel und Quecksilber sind vorgesehen und in Vorbereitung. Die bisher umgesetzte Rahmen- und 1. Tochterrichtlinie verlangen umfangreiche Immissionsmessungen und begründen Pflichten für Mindestinformationen der Öffentlichkeit bei Überschreiten der Alarmschwellen (§§ 44 und 46 BImSchG). Bereits bei der Einführung der EU-Rahmenrichtlinie wurde die problematische Situation bei der Einhaltung der Grenzwerte für Partikelimmissionen deutlich. Die 1.

Tochterraichtlinie legt erstmals anspruchsvolle gebietsbezogene Feinstaubgrenzwerte fest, die sogenannten PM10-Grenzwerte, die wesentlich strenger sind als die zuvor geltenden Grenzwerte der TA Luft und der früheren Smog-Verordnungen (FICKERT & FIESELER 2002, S.256).

Die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen, um sicherzustellen, dass die jeweiligen Luftschadstoffkonzentrationen die Grenzwerte nicht überschreiten, wird den Mitgliedsstaaten zugewiesen. Es werden keine einzelnen Maßnahmen festgelegt, bei Grenzwertüberschreitungen beschränken sich die Richtlinien auf die Vorgabe planerischer Instrumente. Den gegebenen Handlungsspielraum für die Umsetzung gilt es durch Bund, Länder und Kommunen zu nutzen (FICKERT & FIESELER 2002, S.256).

Das BImSchG sieht zur Erfüllung der neuen Grenzwerte vor, dass von den zuständigen Behörden Emissionskataster aufgestellt werden (§ 46). Bei Überschreitung der Toleranzgrenzen sind nach § 47 (1) Luftreinhaltepläne zu erstellen, die "Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung von Luftverunreinigungen" festlegen. Bei der Aufstellung der Luftreinhaltepläne sind die Ziele der Raumordnung zu beachten (Abs. 3).

Als neues Instrument werden nun Aktionspläne eingeführt, die bei der Gefahr der Überschreitung der festgelegten Immissionsgrenzwerte oder der Alarmschwellen eingesetzt werden sollen. Sie beinhalten kurzfristige Maßnahmen, die geeignet sind die "Gefahr der Überschreitung der Werte zu verringern oder den Zeitraum, während dessen die Werte überschritten werden, zu verkürzen" (Abs. 2). Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt entsprechend des Verursacheranteils bei allen Emittenten (Abs. 4). Werden "in den Plänen planungsrechtliche Festlegungen vorgesehen, haben die zuständigen Planungsträger dies bei ihren Planungen zu berücksichtigen" (Abs. 6).

Bei der Aufstellung von Luftreinhalte- und Aktionspläne ist die Öffentlichkeit zu beteiligen und die Pläne für sie zugänglich sein (Abs. 5).

Luftreinhalte- und Aktionspläne und die darin bestimmten Maßnahmen sind damit, bei Überschreitung der festgelegten Grenzwerte, zwingend aufzustellen und umzusetzen. Außerdem konkretisieren sie die Belange der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie des Umweltschutzes und stehen somit im Bezug zur Bauleitplanung (§ 1 Abs. 5 Satz 2 BauGB). Sie sind in der Bauleitplanung zu berücksichtigen und in die Abwägung miteinzubeziehen (§ 1 Abs. 5 Satz 2 und Abs. 6 BauGB). Die Maßnahmen des Luftreinhalte- und Aktionsplans können somit sowohl auf die Ziele der Raumordnung als auch auf die Bauleitpläne wirken (FICKERT & FIESELER 2002, S.259f).

Auch für die Region Stuttgart liegt ein Luftreinhalteplan von 1990/91 vor und wird derzeit durch die Umsetzung der europäischen Luftqualitätsrahmenrichtlinie neu aufgestellt. Die vorhandene Problematik der Nichteinhaltung der Feinstaubgrenzwerte (PM 10) und der NO₂-Grenzwerte wird darin ebenfalls bearbeitet, im Herbst 2005 soll für Stuttgart ein Aktionsplan vorliegen. Die Verantwortung für die Einhaltung der Grenzwerte ist rechtlich noch nicht geklärt, Maßnahmen gegen die Immissionsbelastung jedoch dringend nötig, da in Stuttgart bereits im Frühjahr 2005 die zulässige jährliche Anzahl von 35 Tagen für PM

10 und die 175 Std. für NO₂ in denen der Grenzwert überschritten werden darf, erreicht wurde. In Stuttgart ist dies unter anderem auch auf die mangelnde Durchlüftung der Innenstadt zurückzuführen und spiegelt die problematische lufthygienische Situation in der Stadt wider. Es zeigt sich dass somit nicht nur Regelungen für die Emittenten notwendig sind, sondern auch der Erhalt und die Förderung der Durchlüftung des Talkessels, die im Stadtgebiet hauptsächlich durch die Entscheidungen der Bauleitplanung beeinflusst werden kann.

Die gesetzlichen Grundlagen fordern die "Sicherung einer menschenwürdigen Umwelt" und den Erhalt "gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse", dazu gehört auch durch entsprechende planerische Entscheidungen die klimatischen Verhältnisse in Stuttgart für seine Bevölkerung erträglich zu gestalten. Für den Schutz und die Erhaltung der derzeitigen Struktur der Hangbebauung in Stuttgart, die für das Klima im Talkessel relevante Funktionen übernimmt, stehen ausreichende Regelwerke zur Verfügung und sind in Form des Flächennutzungsplans und der Bebauungspläne, die die Bauverbote der Baustaffeln 8 und 9 umsetzen, auch in Teilen schon angewandt. Dennoch kann die wirksame Umsetzung der rechtlichen Festsetzungen erst durch die politischen Entscheidungsträger durchgesetzt werden. Durch zunehmende Ausnahmeregelungen in Einzelfällen, die das bestehende Recht umgehen ergibt sich eine schleichende Veränderung der für Stuttgart so typischen Hangbebauung, die in Summenwirkung auch die klimatischen Ausgleichswirkung zu Nichte machen wird.

Das Kapitel 5 zeigt beispielhaft wie andere Städte in Deutschland planerisch mit dem Thema Stadtklima und ihren Hanglagen umgehen.

5 stadtklimatisch orientierte Planung ausgewählter Städte

Die Relevanz stadtklimatischer und lufthygienischer Themen in Stuttgart zeigt vor allem die Historie des Chemischen Untersuchungsamts und der jetzigen Abteilung Stadtklimatologie des Amtes für Umweltschutz der Stadt Stuttgart. Viele deutsche Städte haben die klimatische Problematik ihrer Siedlungen auch erkannt und berücksichtigen in ihren Planungen die stadtklimatischen Belange zunehmend. Dieses Kapitel gibt einen kurzen Einblick in die Planungspraxis einzelner Städte mit Hanglagen, oftmals mit vergleichbarer Situation zu Stuttgart und soll Beispiele aufzeigen.

Im Einzelnen wurde nach den vorhandenen stadtklimatischen Untersuchungen, deren Bezug und Relevanz bei Planungsentscheidungen und die daraus folgenden planerische Konsequenzen gefragt. Außerdem nach vorhandenen Schutzstatuten klimarelevanter Flächen im FNP oder Landschaftsplan bzw. die Freihaltung von Bebauung besonders aus klimatischen Gründen. Die klimatischen Besonderheiten der Hänge und deren Berücksichtigung bei Bauprojekten war interessant, außerdem die Frage, ob klimatisch geprägte Bauprojekte an den Hängen verwirklicht wurden.

Die Informationen erteilten die Mitarbeiter der zuständigen Planungs- und Umweltämter der einzelnen Städte.

5.1 Beispiel Aachen

Dem Planungs- und Umweltamt der Stadt Aachen steht eine gesamtstädtische Klimaanalyse zur Verfügung, je nach Planungsvorhaben werden außerdem lokalklimatische Gutachten oder Recherchen erstellt. Die klimatische Situation ist aufgrund der geringeren Bewegung des Reliefs weniger stark ausgeprägt als in Stuttgart, dennoch verzeichnet Aachen 30 - 40 % Inversionswetterlagen und hebt sich damit gegenüber den Gegebenheiten des Umlands besonders stark ab.

Die Berücksichtigung des Stadtklimas und vor allem die Lufthygiene mit strengeren Grenzwerten genießen in der Badestadt einen hohen Stellenwert. Jedes klimarelevante Bauvorhaben wird einer "Freiwilligen UVP" unterzogen, selbst wenn das Projekt nicht nach dem UVP-Gesetz UVP-pflichtig wäre, unter anderem werden dabei auch der Effekt der Summenwirkung mehrerer Bauvorhaben untereinander oder mit dem Bestand berücksichtigt.

Klimarelevante Projekte werden im Umweltausschuss bearbeitet und diskutiert, eine besondere Berücksichtigung ist dabei in der Stadt politisch gewünscht. Entscheidungen des Umweltausschusses gehen mit einer höheren Gewichtung in den Planungsausschuss und damit in die Abwägung zu den Bauvorhaben.

Im Allgemeinen werden in Aachen in der Bewertung der Fachplanung zwei Gebiete unterschieden, die Belüftungsachsen, die neun kleinere Bachtäler darstellen, die größtenteils als Wiesenflächen genutzt werden und den höchsten Schutzstatus von Tabuflächen genießen. In der Fachplanung wurde die angrenzende Bebauung mit einer besonderen Signatur, einer exakt einzuhaltenden Baugrenze versehen, die eine Bebauung in die klimarelevanten Talzonen verhindern soll. Die Talhänge und Mulden unterliegen nicht einem der-

art restriktiven Schutzstatus, da die Ausgleichsfunktion für den Wirkungsraum "Stadtgebiet" im Gegensatz zu Stuttgart, allein durch die Bachtäler gewährleistet werden kann. Der Stellenwert der Hänge ist damit in Aachen untergeordnet, die Argumentation aus klimatischen Gründen gegen ein Projekt ist hier schwieriger. Dennoch werden die Auswirkungen von Einzelprojekten betrachtet, im allgemeinen sind bei Bauvorhaben, durch die die Gefahr besteht, dass Grenzwerte überschritten werden, die klimatischen und lufthygienischen Belange planungsentscheidend.

Die Bedeutung des Klimas zeigt sich in planerische Konsequenzen, wie die Variantenplanung für die Erweiterung eines Bürogebäudes in Innenstadtlage in eine vorhandene Parkanlage. Die Planungsvarianten mit erheblichen nachteiligen Auswirkungen auf die klimatische Situation wurden dabei von vornherein ausgeschlossen.

Zur Flächennutzungsplanung werden die Auswirkungen der Vorhaben für die Gesamtstadt dargestellt, aus klimatischer Sicht soll dabei in sensiblen Gebieten eine räumliche Verlagerung erzielt werden v. a. aus zentralen Talzonen, außerdem geringe Bauhöhen durchgesetzt werden. Wie es beispielsweise beim Bau eines größeren Gebäudekomplexes für den Einzelhandel der Fall war, dessen geplanter Standort aus der Talzone verlegt wurde, die Bauhöhe auf ein bis eineinhalb Geschosse begrenzt wurde und die großflächige Überbauung durch eine Dachbegrünung abgemildert werden soll (PESCHE 2005, mdl. Mitt.).

5.2 Beispiel Bonn

Für die Stadt Bonn liegt vom Deutschen Wetterdienst ein Klimagutachten vor, lokalklimatische Einschätzungen zu einzelnen Bauvorhaben auf Bebauungsplanebene werden auch hier vom Amt für Umwelt erstellt. Zwar werden die Talbereiche, die als Kaltluftabflussschneisen dienen in der Planung berücksichtigt und auch genügend Flächen im Randbereich der Bebauung als klimatischer Ausgleich freigehalten, dennoch ist das Klima in Bonn kein hervorgehobener Belang in der Abwägung bei Planungsentscheidungen.

Im Allgemeinen sind klimatische Konsequenzen in der Planung nur durch die Baukörperstellung und -dimensionierung umgesetzt, aber auch Grünzüge werden aus klimatischen Gesichtspunkten bis in das Stadtgebiet freigehalten.

Interessant ist für die Stadtentwicklung, dass es bereits in den 80er Jahren für Bonn einen Ratsbeschluss gab, der besagt, dass die heute noch bewaldeten Rheintalhänge komplett von Bebauung freizuhalten sind. Es wurden damals beschlossene Bebauungspläne aufgehoben und die dadurch fällige Entschädigung in Kauf genommen, um das Stadtgebiet nicht über den Talgrund an die Hänge ausufern zu lassen, was sich wohl mit Überlegungen für das Stadt- und Landschaftsbild erklären lässt, aber auch für die klimatischen Verhältnisse in der Stadt durch und durch positiv zu werten ist. Diese Gebiete sind auch heute wieder zur Bebauung in Diskussion, dennoch wird wohl maximal eine gemäßigte Bebauung mit begrenzten Bauhöhen möglich werden (BOUCHON 2005, mdl. Mitt.).

5.3 Beispiel Kaiserslautern

Für die Aufstellung des Flächennutzungsplans 2000 wurde ein stadtklimatisches Gutachten für Kaiserslautern erstellt unter anderem mit einem Wärmegutachten, dessen Ergebnisse zur Beurteilung geplanter Wohnflächen herangezogen wurden und entsprechende planerische Veränderungen im FNP hinsichtlich der Belüftung der angrenzenden Siedlungsflächen vorgenommen wurden. 2002 wurden weitere Bauvorhaben hinsichtlich der Überwärmung der umgebenden Stadtteile untersucht und in weniger belastete Gebiete verlegt. Durch den hohen Anteil an Wald- und Grünflächen im Umgriff der Stadt ist die Belastung aber nicht so gravierend wie in Stuttgart.

Der Belang Klima spielt in Kaiserslautern "nicht keine Rolle", Planungsentscheidungen sind jedoch immer politisch und werden projektbezogen getroffen, dennoch wird das Thema in der Stadtplanung berücksichtigt und eine Sensibilisierung auf das Thema ist in der Stadt erkennbar.

Planerisch wird versucht vorhandene klimarelevante Flächen wie Waldstücke in den Bebauungsplan zu integrieren und sie damit langfristig zu erhalten. Im Flächennutzungsplan sind Grünschnitten bis in das Stadtgebiet vorgesehen. Im Gebiet "auf den Wellen" soll das angrenzende Waldgebiet bis in die Stadt mit einem leider nur noch schmalen Grünzug verbunden werden, der als Fläche die "von Bebauung freizuhalten" ist, im Flächennutzungsplan geschützt ist.

Durch die weniger ausgeprägte Orographie der Stadt Kaiserslautern liegen an direkten Hangbereichen keine neueren Bauvorhaben, die klimatisch geprägt wären. Als Fazit sieht HACH jedoch, dass es immer schwieriger wird auf der Bebauungsplanebene den Bauherren den Grund für bestimmte Maßnahmen der Bebauung u. a. auch klimatische Restriktionen zu verdeutlichen (HACH 2005, mdl. Mitt.).

5.4 Beispiel Ulm

Die in Ulm vorliegende Thermalbefliegung und ein Klimagutachten, dass das Stadtgebiet in Klimatope unterteilt dienen als Grundlage für die vorbereitende und die verbindliche Bauleitplanung. Das Klima wird in der Stadtplanung nach KALUPA als ein wesentliches Schutzgut betrachtet, dennoch unterliegt Ulm durch seine Lage und Größe der Stadt bei weitem weniger ausgeprägten klimatischen Beeinträchtigungen als Stuttgart.

Als Frischluftschneisen dienen von Westen das Blautal und von Norden Seitentäler von der Schwäbischen Alb. Diese sind als Landschaftsschutzgebiet der baulichen Nutzung entzogen und im Flächennutzungsplan wird auch zukünftig keine Bebauung geplant. Als Maßnahme zur besseren Belüftung des Stadtgebiets wurden Waldstücke, die die trichterförmige Verengung des Örlinger Tals zusätzlich abriegeln beseitigt. Im Blautal wurde eine große Klinge an der Grenze der Gemarkung Ulm zu Blaustein im Flächennutzungsplan ausdrücklich aufgrund ihrer Funktion als Luftleitbahn von Bebauung freigehalten.

Großflächigen gewerblichen Bauprojekten vor allem im Blautal werden trotz der geringen klimatischen Beeinträchtigungen in Ulm mit Dachbegrünungen versehen.

Die Ansiedelung der Hanglagen am Eselsberg in den letzten Jahren stand unter der Maxime einer landschaftlich verträglichen Planung. Aufgrund der Vorgaben im Bebauungsplan entstand auch die bekannte Passivhaussiedlung "Im Sonnenfeld", die Gebäude nutzen die Sonneneinstrahlung des südexponierten Hanges zur Wärmeversorgung. Die Klingen des Eselsbergs wurden aus Rücksicht auf das Landschaftsbild als öffentliche Grünflächen ausgewiesen und von Bebauung freigehalten, was gleichzeitig einen positiven Effekt für den Kaltluftabfluss und die Durchlüftung der dicht besiedelten Flächen hat (KALUPA 2005, mdl. Mitt.).

5.5 Beispiel Freiburg

Als Grundlage für den Flächennutzungsplan der derzeit für die Stadt Freiburg erstellt wird, wurde 2003 eine Stadtklimaanalyse fertiggestellt, die unter anderem auch eine Planungshinweiskarte zur Berücksichtigung der klimatischen Belange in der Bauleitplanung enthält. Klimatisch besonders sensible Gebiete wurden von den Vorschlägen für die weitere bauliche Entwicklung der Stadt bereits in der Planung ausgenommen. Die klimatischen Auswirkungen aus den zu bebauenden Flächen sollen durch entsprechende Festsetzungen im Bebauungsplan wie z. B. die Begrenzung des Maßes der Versiegelung, Fassaden- und Dachbegrünungen abgemildert werden.

Die Stadtklimaanalyse soll die Einzelgutachten die bisher für Bebauungspläne erstellt wurden ersetzen und die gesamtstädtische Situation berücksichtigen. Im Landschaftsplan der Stadt werden die Zielsetzungen der unterschiedlichen Schutzgüter (Stadtklima, Arten- und Biotopschutz, Bodenschutz, Freiräume) auf den Freiflächen zusammengeführt, so wird die Biotopvernetzung entlang der freizuhaltenden Hauptluftleitbahn geplant und das Freiraumkonzept ebenfalls auf diesen Flächen integriert.

Hinsichtlich der Hangbebauung hat Freiburg bereits seit den letzten beiden Flächennutzungsplänen eine bauliche Entwicklung im Dreisamtal, das der Hauptbelüftung durch den "Höllentäler" dient, begrenzt oder nach Möglichkeit vollkommen unterbunden. Am Westabfall des Schwarzwaldes wurden ebenfalls lokale Hangwinde jedoch mit nur geringem Ausmaß nachgewiesen, die dort bestehende lockere Villenbebauung am Hang wird, auch auf Initiative der Bewohner nicht mehr weiter verdichtet, auch wenn diese Luftzirkulationen im Vergleich zum "Höllentäler" weitaus weniger zur Belüftung der Stadt beitragen. Die kleineren Baugebiete, die im Zuge der Innenentwicklung in diesen Bereichen eingefügt wurden, sollen sich in Art und Maß ihrer Bebauung an die bestehende Umgebung anpassen. Die hohen Bodenpreise verhindern außerdem eine weitere Verdichtung dieser Hanglagen.

Das Thema Stadtklima in Freiburg ist bei Politik und Bevölkerung von großem Interesse und wird damit in der Stadtplanung besonders berücksichtigt. Bei städtebaulichen Wettbewerben wie zur Planung Freiburg-Rieselfeld und Vauban werden die stadtklimatischen Zielsetzungen wie Klimaschneisen oftmals in der Ausschreibung bereits vorgegeben und durch die Grünordnungsplanung in der Bebauungsplanung umgesetzt (KÖHLER 2005, mdl.

Mitt.).

5.6 Fazit

Stadtklimatische Untersuchungen wie Klimaanalysen liegen in den meisten Städten für das gesamte Stadtgebiet meist auf Bebauungsplanebene vor.

Die Sensibilisierung von Politik und Bevölkerung auf das Thema hat besonders in den 90er Jahren zugenommen, dennoch geht das Interesse und die Bereitschaft Einschränkungen aus klimatischen Gründen hinzunehmen wieder zurück. Andererseits haben engagierte Bürger in Trier gegen ein geplantes Wohngebiet geklagt, dass in einer Kaltluftabflussbahn entstehen sollte. Das Urteil des zuständigen Verwaltungsgerichts gab den Bürgern Recht und die geplante Bebauung musste geändert werden um die klimatische Funktion der Flächen aufrecht zu erhalten (SCHWARZER 2005, mdl. Mitt.).

Für die einzelnen Planungsentscheidungen werden zusätzlich lokalklimatische Analysen in kleinerem Maßstab angefertigt. Vor allem in Aachen wird Wert darauf gelegt, nicht nur die klimatische Situation auf der beplanten Fläche darzustellen, sondern auch die Auswirkungen auf die Gesamtstadt aufzuzeigen.

Wie in Stuttgart geht auch in allen anderen befragten Städten die Klimaanalyse und die Auswirkungen von Bauvorhaben mittels eines Bewertungssystems in die Planung ein. Tabuflächen aus klimatischen Gründen sind zwar in Fachplanungen wie der Klimaanalyse der Stadt Aachen verzeichnet, in der Flächennutzungsplanung werden diese jedoch nicht übernommen, dienen aber der Planungsentscheidung. Klimatisch sensible Bereiche werden oftmals durch die Einschränkung der Flächennutzung, wie beispielsweise eine beschränkte bauliche Dichte, einer geringeren Bauhöhenentwicklung, der Orientierung der Baukörper oder dem Freihalten von Grünschnitten berücksichtigt. Modellkonzepte für eine klimaorientierte Flächennutzung an den Hängen und eine entsprechende Bebauung liegen aber bis auf die Passivhaussiedlung in Ulm in den befragten Städten nicht vor.

Die Städte Bonn, Freiburg und Wiesbaden haben eindeutige Willenserklärungen, ihre bauliche Entwicklung nicht an den Rheinhängen, dem Dreisamtal bzw. den Taunushängen weiter zu entwickeln. Die städtebauliche Planung sieht dort eine Ausdehnung des Stadtgebiets in den Tälern vor, die (weitere) Bebauung der Hanglagen ist dort, auch aus klimatischen Gründen nicht vorgesehen.

In allen Städten unterliegen die Vorhaben der Einzelfallprüfung, die neben den vorliegenden gesamtstädtischen Klimagutachten in die Planungsentscheidungen mit einfließen, in Stuttgart ist mit der Hinweiskarte für die Planung des Klimaatlas des Nachbarschaftsverbands, als Vorbereitung für die Planung bereits eine wichtige Grundlage gegeben und durch die Stellungnahmen zu den einzelnen Bauvorhaben durch die Abteilung Stadtklimatologie werden diese Zielsetzungen auf die Bebauungsplanebene übertragen. Die Berücksichtigung und Umsetzung der klimatischen Belange liegt auch in Stuttgart in der Abwägung durch die politischen Entscheidungsträger.

6 Plangungsempfehlungen für die Hangbebauung Stuttgarts

6.1 Übersicht: Bestand und klimatische Funktion im Stadtgebiet

Die Karte 1 zeigt in der Übersicht das Kaltlufteinzugsgebiet und damit auch den lokal-klimatischen Ausgleichsraum, der im Nesenbachtal und der Stuttgarter Innenstadt zur Verfügung steht, im Vergleich zum Siedlungsanteil (Belastungsraum).

Der Ausgleichsraum des Stadtgebiets dient dazu, die Klimafaktoren im Belastungsraum zu sichern und zu verbessern, vor allem den Luftaustausch und die thermisch ausgleichende Wirkung für die überhitzten Baumassen. Im Einzugsgebiet des Stuttgarter Talkessels sind die ausgleichenden Flächen hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzt, dazu kommen die landwirtschaftlichen Flächen der Filderhochebene und die Gärten und Gütle außerhalb der Siedlungen, außerdem die innerstädtischen Grünflächen. Als wichtige Erweiterung des Ausgleichsraums im Verhältnis zum bebauten Belastungsraum zeigt die Karte die durchgrünten Hänge mit ihrer aufgelockerten Bebauung. Sie dienen als bioklimatisch ausgeglichene Aufenthaltsflächen, wirken als Luftfilter (v.a. innerstädtische Grünflächen und Waldflächen) und vor allem als Kaltluftentstehungsflächen für die thermische Entlastung tagsüber und nachts (Waldflächen und landwirtschaftliche Flächen im Anschluss an die Bebauung).

Besonders deutlich zeigt die Karte, dass die Hangbebauung der Innenstadt meist bis zum höchsten Punkt des Einzugsgebiets hinaufreicht auf Kosten der Freiflächen aus Wald, Grünflächen oder landwirtschaftlich genutzten Gebieten. Als Ausgleichsraum stehen dadurch nur noch die vorhandenen Freiflächen der Hänge (Gärten und unbebaute Gebiete) zur Verfügung deren nächtliche Abkühlung zu einer kleinräumigen Kaltluftproduktion und zum Kaltluftabfluss führt.

Den Kaltluftabfluss im Nesenbachtal und an den Hängen des Stuttgarter Talkessels, außerdem die Kaltluftammelgebiete im Einzugsgebiet zeigt die Karte 2. Der Kaltluftabfluss steht für die lokalen Luftzirkulationen, die sich in windarmen Strahlungsnächten zwischen dem kaltluftproduzierenden Ausgleichsraum und dem tiefer liegenden Belastungsraum der Stuttgarter Innenstadt ausbilden. Die eindringende Kaltluft dient der thermischen Entlastung der, hauptsächlich bei Strahlungswetterlagen verstärkt auftretenden stadtklimatischen Faktoren. Abflussbahnen für die schwerere kalte Luft stellen hier die Geländeeinschnitte und Klingen und als Hauptbelüftungsachse das Nesenbachtal dar.

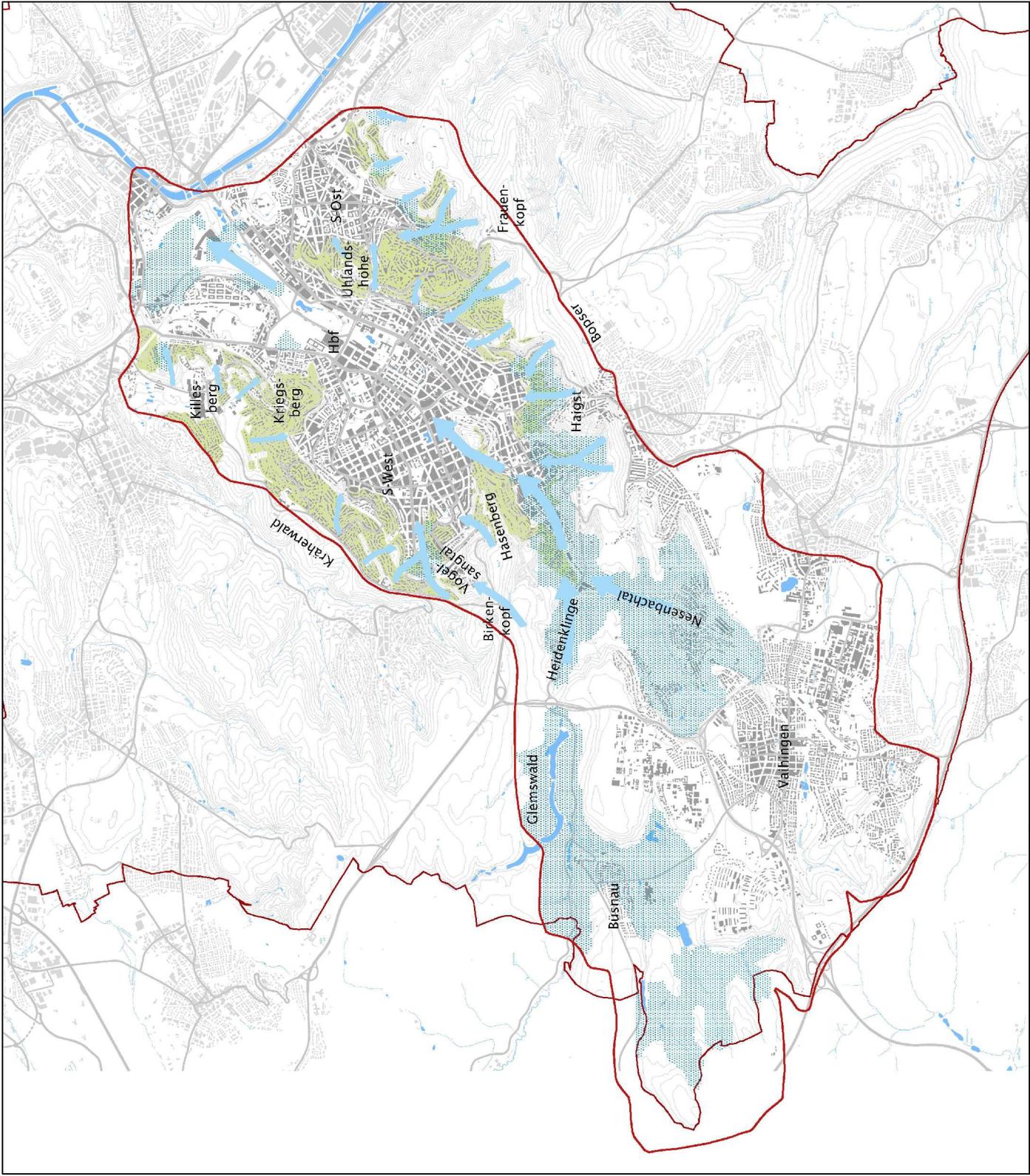
Die Karte 3 zeigt die auftretenden Klimatope im Stuttgarter Talkessel (nach BAUMÜLLER 2004, vereinfacht) und damit die klimarelevanten Stadtstrukturen mit der damit verbundenen Thermalcharakteristik der einzelnen Flächen. Die dicht bebaute Altstadt, der Westkessel und Stuttgart-Ost treten dabei als besondere Wärmeinsel hervor, die sich zum Stadtrand hin meist abkühlt, die Hanglagen sind im Optimalfall thermisch ausgeglichen oder kaum belastet. So lässt sich allgemein der Ausgleichsraum nach seinen baulichen Strukturen in Hang, Hangfuß und Talgrund mit den damit verbundenen klimatischen

Eigenschaften und Funktionen differenzieren, die die folgenden Tabelle aufzeigt.

baul. Strukturen	Landnutzung	Klimaeigenschaften	Klimafunktion
Hang	offene Einzelhausbebauung mit geringer Dichte; großen unversiegelten Freiflächen	Temperatur: leichte Erhöhung gegenüb. den Freiflächen Wind: kaum Einfluss auf überreg. Winde; Förderung eines therm. induzierten Windsystems durch Geländeneigung und geringen Oberflächentemperaturen kaum bioklim. u. lufthyg. Belastung	Ausgleichsraum und Luftleitbahn da Kaltluftproduktion und -abfluss über die Freiflächen (Verzahnung: Ausgleichsraum mit dem Wirkraum)
Hangfuß	dichte, mehrgeschossige Bauweise mit Bauwuch und Durchlässen; kaum Freiflächen	Temperatur: tags und nachts deutlich gegü. Umland erhöht Wind: durch Lage im Talgrund u. dichte Bauweise verringert; Durchflussmöglichkeit für Kaltluft erhöhte bioklim. u. lufthyg. Belastung	Wirkraum mit Funktion
Talgrund	dichte, geschlossene, innerstädtische Bebauung mit ausgeprägten Bauhöhen; kaum/keine Freiflächen	Temperatur: tags und nachts überhöht Wind: durch Lage u. Bebauung deutlich abgeschwächt hohe bioklim. u. lufthyg. Belastung	Wirkraum mit großem Entlastungsbedarf

Die klimatischen Eigenschaften und Funktionen der Hanglagen nehmen damit eine Sonderrolle für das Stadtklima ein, sie sind nicht nur ein thermisch wenig belasteter Wohnstandort sondern erweitern durch den großen Freiflächenanteil den Ausgleichsraum, die Seitenhänge des Westkessel stellen dort sogar die einzigen Ausgleichsflächen. Damit werden in der folgenden Betrachtung der einzelnen Hangpartien des Talkessels zum Einen die klimatischen Eigenschaften der Flächen betrachtet ("Bestand" durch die Klimatopkarte) und zum Anderen ihre Funktion als Ausgleichsraum und Luftleitbahn für die Bebauung am Talgrund dargestellt.

Datenquellen sind die errechnete Klimatopkarte, Kaltluftstrom und Kaltluftvolumen in 0-15 m Höhe aus Stadtklima 21 (BAUMÜLLER 2004), die Kartengrundlage wurde vom Stadtmessungsamt zur Verfügung gestellt.



Kaltluftinzugsgebiet
Nesenbachtal

Gemarkungsgrenze
Stadt Stuttgart

Kaltluft



Abflussrichtung



Sammelgebiet

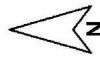
Bebauung



Belastungsraum
Einzugsgebiet
Nesenbachtal



durchgrünte
Hangbebauung



M 1:75.000

**Karte 2
Kaltluftabfluss Nesenbachtal**

Kartengrundlage: Stadtrassungsamt

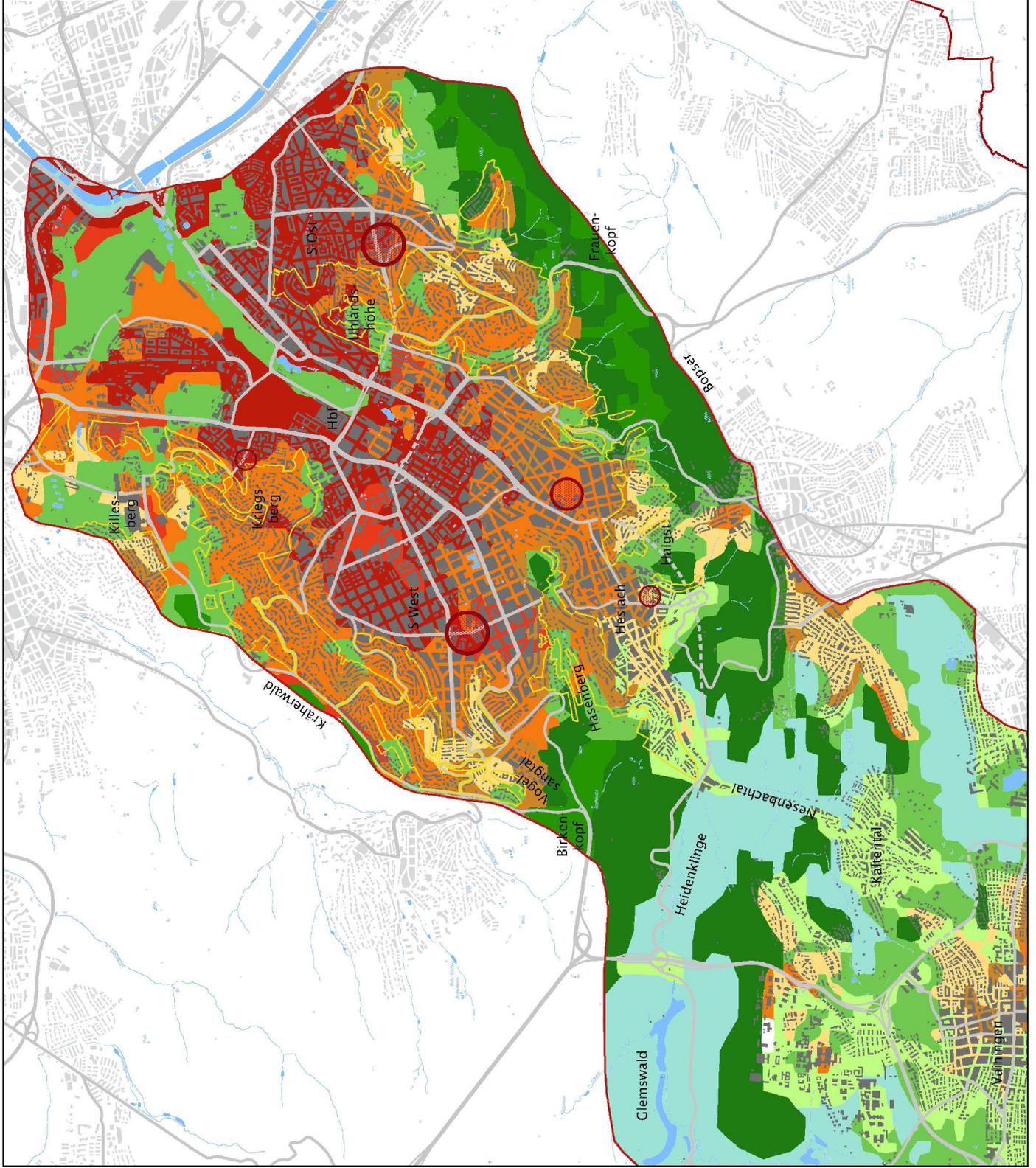
Quellen:

Flächennutzungsplan 2010

Landeshauptstadt Stuttgart

Stadtklima 21

Landeshauptstadt Stuttgart



-  Kaltluftinzugsgebiet
Nesenbachtal
-  durchgrünte
Hangbebauung
-  "Hotspots"
Kaltluftverlust
durch Bebauung

Klimatope

-  Wald und Freiflächen, starker
Kaltlufteinfluss
-  Wald
-  Wald, warme Höhenlage
-  Grünanlagen und Freiflächen
-  Gartenstadt, mit
Wärmeiselleffekt
-  Stadtrand, nächtliche
Auskühlung
-  Stadtrand, mit
Wärmeiselleffekt
-  Stadt, mit Wärmeiselleffekt
-  Stadtkern, nächtliche
Auskühlung
-  Stadtkern, mit
Wärmeiselleffekt



M 1:50.000

Karte 3
Klimatope im Stuttgarter Talkessel

Kartengrundlage: Stadtmessungsamt
 Quellen:
 Flächennutzungsplan 2010
 Landeshauptstadt Stuttgart
 Stadtklima 21
 Landeshauptstadt Stuttgart
 Klimatopkarte, vereinfacht

6.1.1 Bestand und Klimafunktionen der einzelnen Hanglagen

Im Detail werden die Hanglagen nach ihren bestehenden klimatischen Eigenschaften (Thermalcharakteristik nach der Klimatopkarte s. Karte 3) und nach ihrer Klimafunktion (Kaltluftentstehung und -abfluss s. Karte 2) betrachtet und Zielsetzungen für die einzelnen Hangpartien formuliert (s. Karte 4).

Hauptbelüftungsachse Nesenbachtal

Das Luftbild (Abb. 54) zeigt die Kaltluftströmungen im Nesenbachtal, ihr Einzugsgebiet (rot) und die Abflussrichtung durch den Talkessel (blau). Das Entstehungsgebiet der Kaltluft für das größte Kaltluftvolumen zeichnet einen großen Teil des Ausgleichsraums des Talkessels nach:

- Glemswald
 - das Bünsnauer Wiesental
 - die Landwirtschaftsflächen der Filder zwischen Vaihingen, Möhringen und bei Degerloch
- Abflussrichtung des Hauptvolumens ist durch das Nesenbachtal, über die Karlshöhe hinweg, auf der die gesamte Kaltluftschichtdicke 75 m aufweist. Dem Gefälle entsprechend fließt der Luftstrom durch den Talkessel kanalisiert durch die Geländevorsprünge von Kriegsberg und Uhlandshöhe, über den Rosensteinpark ins Neckartal.

Auch die Klimatope in Karte 3 zeichnen das Nesenbachtal als Hauptbelüftungsachse für die Kaltluft von der Filderhochfläche nach. Der Glemswald und die vorhandenen Freiflächen sind großflächig kaltluftbeeinflusst. Die Thermalcharakteristik der bewaldeten Geländeeinschnitte des Nesenbachtals und der Heidenklinge ebenfalls, sie bilden die größten Luftleitbahnen für das Stadtgebiet. In Kaltental und am Eintritt der Kaltluft in den Talkessel bei Heslach zeigen sich die Flächen trotz dichter Bebauung nicht klimatisch beeinträchtigt. Die Verengung des Haigst und der Karlshöhe am Marienplatz lässt in Heslach einen Kaltluftstau entstehen, der kühlend auf die Baumassen wirkt. Durch die dichte städtische Bebauung entlang des Talgrunds ab Heslach über Stuttgart-Süd und der Altstadt kann die Kaltluft ihre Wirkung nur abgeschwächt im Stadtkern entfalten. Dies dokumentiert das rasch einsetzende Stadt-Klimatop mit Wärmeinseleffekt.

Die seitlich von den Hängen wirksamen Kaltluftströme erweitern den Ausgleichsraum des Nesenbachtals und führen von den umgebenden Randhöhen kühlende Luftmassen dem Talgrund zu. Diese kühlende Wirkung kann bisher die weitere Ausdehnung der städtischen Wärmeinsel mit eindämmen.

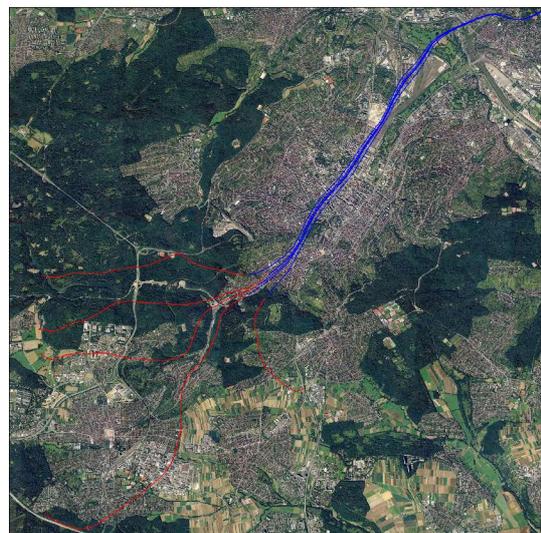
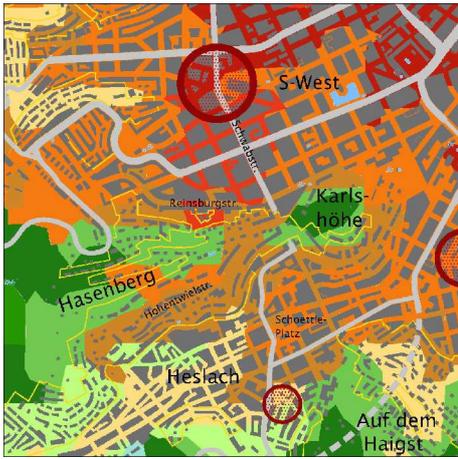
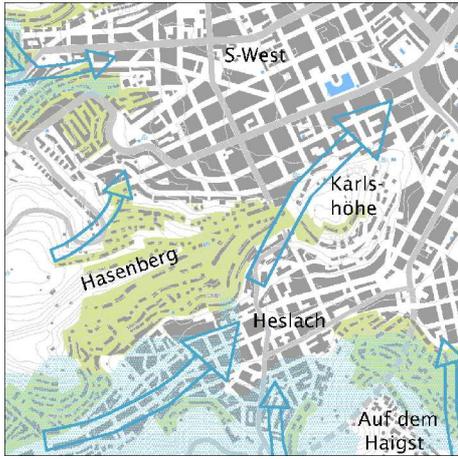


Abbildung 61 Ausschnitt Kaltluftabfluss Nesenbachtal

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Hasenberg und Karlshöhe		
	Bestand	Funktion
		
<p>Hang: Wald, (landwirtschaftliche) Freiflächen, Verzahnung mit der lockeren Hangbebauung</p>	<p>Kuppen und Seitenhänge größtenteils thermisch ausgeglichen durch die Lage über der städt. Wärmeinsel und dem großen Anteil unbebauter Flächen, mit Einfluss auf die lockere Bebauung (Wald-, Freiflächen- u. Gartenstadt-Klimatop) durch die Südexposition u. die dichte Bebauung des Hangfußes am Südhang und in den unteren Hangpartien einsetzender Wärmeinseleffekt (Stadttrand-Klimatop mit Wärmeinseleffekt z. B. Hohentwielstraße)</p>	<p>Kaltluftabfluss aus dem Glemswald über den Hasenberg Lage in der Hauptbelüftungsachse, Karlshöhe als Überlauf des Kaltluftstroms in Teile des Westkessels und die Altstadt; kleinräumiger Kaltluftabfluss für den vom Hauptstrom abgeschatteten Teil des dicht bebauten Westkessels</p>
<p>Hangfuß: bis weit an den Hang heranreichende dichte gründerzeitliche Blockbebauung; teilweise gewerbliche Nutzung</p>	<p>Richtung Stuttgarter Westen ab der Reinsburgstraße rasch einsetzende thermische Belastung und mangelnde nächtliche Abkühlung (Stadt- und Stadtkern-Klimatop); der Kaltluftabfluss über die Hänge des Hasenbergs kann hier kaum in die dichte Bebauung eindringen trotz dichter Bebauung in Heselach, wirkt im Nesenbachtal der kühlende Kaltluftstrom bis weit in die Blockbebauung (Übergang Gartenstadt-, Stadttrand-, Stadt-Klimatop)</p>	<p>Hangfuß im Westen bereits selbst belasteter Wirkraum, ein Eindringen der Luftströmung ist damit kaum möglich; Kaltluftwirkung von den Hängen wichtig zur thermischen Entlastung, aber aufgrund der Baustruktur nur mit geringer Reichweite Leitung des kühlenden Luftstroms im Nesenbachtal bis weit in die Baumassen</p>
<p>Talgrund: Bebauung mit wenigen/keinen Freiflächen</p>	<p>klimatische Belastung setzt im Westen bereits am Hangfuß ein und verstärkt sich rasch (Stadtkern-Klimatop) auch in Heselach einsetzende Überwärmung (Stadt-Klimatop ab Schoettle-Platz), die maximale thermische Belastung wird dann in der Stuttgarter Altstadt erreicht</p>	

Hasenberg und Karlshöhe	
Zielsetzung & Maßnahmen:	<p>die natürliche Barriere Karlshöhe wird durch das Kaltluftvolumen im Nesenbachtal überströmt, sie steht damit in der Hauptbelüftungsachse des Talkessels, außerdem ist sie ein Überlauf der Kaltluft in den Stuttgarter Westen die der Belüftung und Kühlung von Teilen des Westkessels dient; geringe Oberflächentemperaturen und -rauigkeit sollen eine Konvektion oder eine Verdrängung der Luftströmungen verhindern, d.h. keine Bebauung und keine weitere Versiegelung der Geländeerhebung;</p> <p>klimatische Sanierungsmaßnahmen in S-West (u.a. Schwabstr.), wie der Förderung des Einsickerns der Kaltluft durch die Ausgestaltung von Luftleitbahnen bis weit in die Siedlungsräume zur besseren Nutzung des Kaltluftabflusses über die Karlshöhe;</p> <p>die bebauten Hanglagen in ihrer Funktion als ausgeglichener Wohnstandort mit geringer thermischer Belastung erhalten (z.B. Hasenbergsteige); vorhandene Freiflächen dienen als wohnungsnaher, klimatisch attraktiver Freiraum über der städtischen Wärmeinsel</p>

Die zu beobachtende Entwicklung einer sich ausdehnenden städtischen Wärmeinsel ist besonders für die schmale Erhebung des Hasenbergs und der Karlshöhe ausschlaggebend. Sie stellen nicht nur eine große wohnungsnaher innerstädtische Freifläche mit thermischer Entlastung durch das Wald-Klimatop der Anlagen auf der Karlshöhe, sondern kanalisieren die Kaltluft des "Nesenbächers". Über die Karlshöhe fließen neben den Luftströmungen aus dem Nesenbachtal auch die Abflüsse aus dem Glemswald, von Degerloch und der Dornhalde, die Karlshöhe stellt damit einen Überlauf der kühlenden Luft in den Westkessel und in die Innenstadtgebiete dar. Niedrige Temperaturen der überströmten Oberflächen verhindern eine frühzeitige Konvektion, die ein Abheben der Kaltluft zur Folge hätte und die bodennahe Kühlung des Talgrundes unterbinden würde.

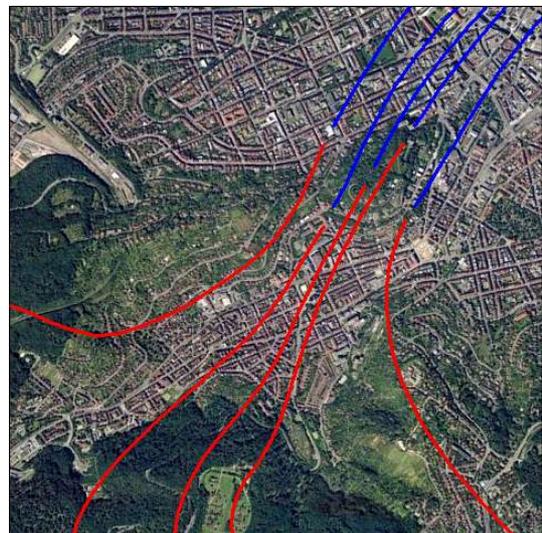


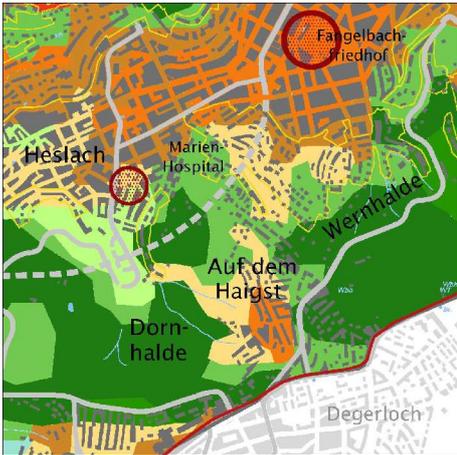
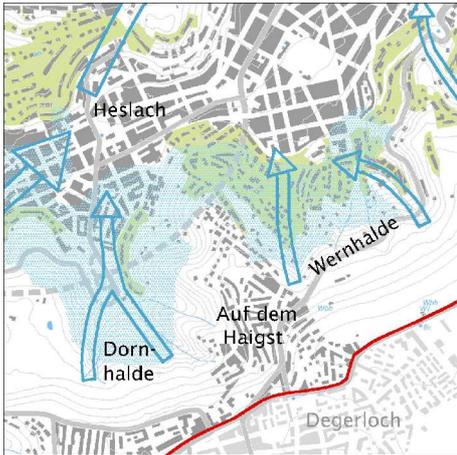
Abbildung 62 Kaltluftabfluss Karlshöhe

Quelle: BAUMÜLLER 2004



Abbildung 63 Blick von der Weinsteige auf die Karlshöhe und den Hasenberg

Die Kesselränder von **Stuttgart Süd und Ost** sind steiler und deutlicher durch Klingen gegliedert als der Westen. Durch die großen Waldflächen, die Grünanlagen, Gärten und Gütle ist im Einzugsbereich dieses Wirkraums noch ein größerer Anteil an unbebauten Flächen zum Ausgleich vorhanden.

Dornhalde, "Auf dem Haigst", Wernhalde		
	Bestand	Funktion
		
<p>Hang: Wald, (landwirtschaftliche) Freiflächen, lockere Hangbebauung, dichte Wohnbebauung auf der Kuppe</p>	<p>der fast unbebaute Geländeeinschnitt der Dornhalde und die locker bebauten Hänge unterhalb der Wernhalde wirken mit einer naturnahen Thermalcharakteristik bis in den Talgrund Heslachs und Stuttgart-Süd (Übergang: Wald-, Freiflächen-, Gartenstadt, Stadtrand-Klimatop) die dichte Bebauung "Auf dem Haigst" bildet eine Wärmeinsel mit Einfluss auf die unbebauten Hangbereiche (Stadtrand-Klimatop)</p>	<p>Kaltluftabfluss aus den Wald- und Freiflächen wird in den Geländeeinschnitten kanalisiert und fließt seitlich des Haigst ins Tal, damit auch weniger Abkühlung auf der dichter bebauten Kuppenlage die Baustrukturen der tiefer liegenden Hangpartien stellen für die abfließende Kaltluft kein Hindernis dar, Teilbereich der Klingen sind von Bebauung freigehalten, der Kaltluftabfluss dient der im Strömungsschatten des Haigst liegenden Bebauung des Talgrunds zur Belüftung</p>
<p>Hangfuß: bis weit an den Hang heranreichende, teilweise bereits in die Hangabschnitte vorgegedrungene, dichte gründerzeitliche Blockbebauung</p>	<p>Auswirkungen des Kaltluftabflusses und der thermisch weniger beeinträchtigten Hangbebauung auf die Temperaturen des Hangfußes, und randlich eine vollständige Überwärmung verhindern können (Stadtrand-Klimatop mit Wärmeinseleffekt) am Fuß des Haigst wirkt zusätzlich der stauende Effekt der Kaltluft im Nesenbachtal kühlend auf die Bebauung in Heslach (Freiflächen-Klimatop bis in den dicht bebauten Talgrund am Marien-Hospital)</p>	<p>Orientierung der Straßen unterhalb der Wernhalde und der Dornhalde längs zum Kaltluftabfluss und der "Stuttgarter Bauwuch" ermöglichen das Eindringen der Luft in die dicht bebauten Gebiete</p>

Dornhalde, "Auf dem Haigst", Wernhalde	
Talgrund: dichte, städtische Bebauung mit wenigen/keinen Freiflächen	dichte Bebauung und damit rasch einsetzende Überwärmung v.a. in S-Süd, Heslach profitiert noch stärker vom kühlenden Effekt des "Nesenbächers" "Hotspots": in Heslach Kaltluftverlust von 19 m ³ /sm, auf Höhe des Fangelbachfriedhofs in S-Süd ein Verlust von 22 m ³ /sm durch die intensive Bebauung (BAUMÜLLER 2004)
Zielsetzung & Maßnahmen:	vorrangige Funktion der Hänge mit ihren Freiflächen und der lockeren Bebauung ist die Belüftung und Kühlung des Talgrundes v.a. für den vom Hauptkaltluftstrom des Nesenbachtals abgeschatteten Teil zwischen Haigst und Bopseranlagen; Ausgleichsraum und Kaltluftabflussbahnen sind in ihrer Funktion zu erhalten und von Bebauung freizuhalten, eine weitere bauliche Verdichtung sowohl im Talgrund wie an den Hängen führt zu einer stärkeren thermischen Belastung der Wohnstandorte die Dornhalde stellt durch die großen Wald- und Freiflächen für das Nesenbachtal einen wichtigen Anteil des gesamten Ausgleichsraums des Stuttgarter Talkessels dar; die Ausdehnung der vorhandenen Wärmeinsel "auf dem Haigst" die Hänge hinunter gilt es durch den Erhalt der lockeren Bebauung an den Seitenhängen zu verhindern

Zusammenfassend sind Teilbereiche der Hänge Degerlochs "Auf dem Haigst" durch die dichte Bebauung und starke Versiegelung von den Randhöhen hinunter überwärmt. Durch den großen Anteil an Freiflächen im Anschluss und die locker bebauten Hänge der Halbhöhen zeigen sich die Seitenhänge und Geländeeinschnitte weitaus kühler und verhindern damit, dass sich die Wärmeinsel bis in den Talgrund hinunter zieht. Es folgt ein stetiger Übergang vom Stadtrand-Klimatop bis zu einem Stadtrand mit Wärmeinseleffekt.

Die Gründe für die geringe thermische Belastung an den Hängen liegt in dem vorhandenen Ausgleichsraum aus Wald und Freiflächen der zwischen der Bebauung von Degerloch und den Halbhöhen noch vorhanden ist. Die Klingen dienen als Kaltluftabflussrinnen und sind teilweise weniger dicht bebaut oder von Bebauung freigehalten, damit kann die Kaltluft bis in den Talgrund und die dort einsetzende dichte Bebauung wirken.

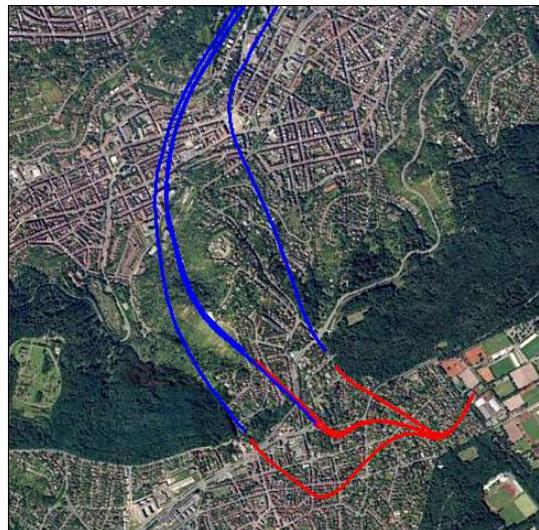


Abbildung 64 Kaltluftabfluss "Auf dem Haigst"

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Im Detail ist die Wernhalde ein Beispiel einer stadtklimatisch vorteilhaften Baustruktur für die Hanglagen. Der Ausschnitt des Flächennutzungsplans zeigt eine planerisch festgeleg-

te kleinräumige Verzahnung von Wald, Freiflächen wie Parkanlagen Gärten und Obstwiesen und einer lockeren Bebauung mit dreigeschossigen Wohnhäusern, die aus klimatischer Sicht die Charakteristik einer Gartenstadt- und Stadtrand-Bebauung aufweist (BAUMÜLLER 2004). Durch die Grünflächen, die sich entlang der Hangeinschnitte bis in die Siedlung ziehen und der Orientierung der Bauformen mit ihrer Giebelseite zum Hang kann die Kaltluft durch die Bebauung bis zum Hangfuß vordringen.

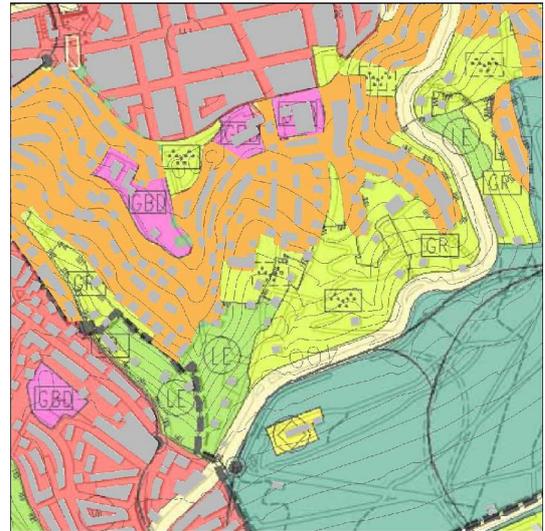
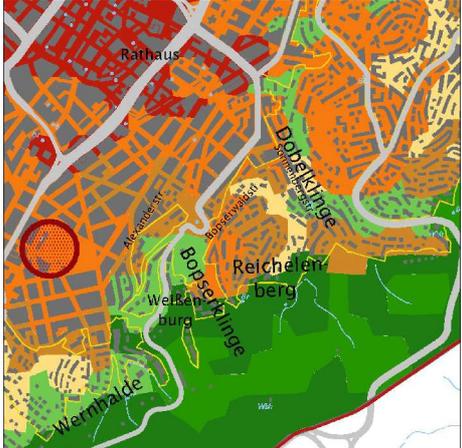


Abbildung 65 Flächennutzungsplan 2010
Ausschnitt Wernhalde (Quelle: LANDESHAUPT-
STADT STUTTGART 2004a, verändert)



Abbildung 66 Freiflächen und Bebauung der Wernhalde

Bopserklinge, Reichenberg und Dobelklinge		
	Bestand	Funktion
		
<p>Hang: Wald, unbebaute Klingen, Freiflächen der Bopseranlagen, verdichtete Hangbebauung am Reichenberg</p>	<p>die sehr lockere Bebauung um die Anlagen der Weißenburg und die teilweise unbebaute Bopserklinge sind bis zum einsetzen der dichten Bebauung in der Alexanderstr. kaum thermisch belastet (Freiflächen-Klimatop); durch die vorangeschrittene Versiegelung auf dem Reichenberg ist dieser in Teilen bereits überwärmt (Stadtstrand- und Stadtklimatop Bopserwaldstr. und Bopserweg); trotz dichter Bebauung schützt der Kaltluftabfluss in der Dobelklinge (Sonnenbergstr.) vor Überwärmung und wirkt thermisch entlastend auf den Reichenberg (Freiflächen- u. Stadtstrand-Klimatop)</p>	<p>kanalisierter Kaltluftabfluss aus den darüber liegenden Waldflächen zwischen Frauenkopf und Bopser, hauptsächlich über die Bopser- und Dobelklinge, Unterstützung des Abflusses durch die vorhandenen Freiflächen der Parkanlagen der Weißenburg, der teilweise noch unbebauten Steilhänge und v.a. in der Dobelklinge durch die Orientierung der Sonnenbergstraße längs zur Abflussrichtung</p>
<p>Hangfuß: bis in die steileren Hangbereiche dichte Blockbebauung (z.B. Alexander- und Olgastraße)</p>	<p>unterhalb der Bopserklinge und des Reichenbergs thermische Entlastung trotz dichter Bebauung durch den kanalisierten Kaltluftabfluss (Stadtstrand-Klimatop); dichte riegelartige Bebauung führt zur Überwärmung am Fuß der Dobelklinge (Stadt-Klimatop am Bethesda-Krhs.)</p>	<p>die Orientierung der Straßen am Hangfuß der Bopserklinge ermöglichen den Kaltluftabfluss und eine deutlich kühlende Wirkung bis in die dichte Bebauung, durch die einsetzende bauliche Verdichtung am Hangfuß wird in der Dobelklinge ein Kaltluftstau verursacht</p>
<p>Talgrund: die thermische Entlastung durch den Kaltluftabfluss über dieses Gebiet reicht bis in den Talgrund, der trotz dichter Bebauung bis zum Wilhelmsplatz die Thermalcharakteristik Stadtstrand aufweist; die Belastung des angrenzenden Gebiets ist aufgrund der dicht bebauten Altstadt bereits stark ausgeprägt</p>		

Bopserklinge, Reichelenberg und Dobelklinge	
Zielsetzungen & Maßnahmen:	<p>in diesem Teilbereich des Talkessels gilt es die Belüftungswirkung der beiden Klingen zu erhalten, die kühlende Wirkung kann an der Bopserklinge noch weit in den Talgrund eindringen, der mit der angrenzenden Altstadt besonders thermisch belastet ist, die Wirkung der Dobelklinge ist durch Maßnahmen am Hangfuß zu verbessern, was ein Grünkorridor, der im FNP 2010 vorgesehen ist, bei entsprechender Ausgestaltung leisten könnte;</p> <p>um eine weitere thermische Belastung des Reichelenbergs und eine Ausdehnung der Wärmeinsel des Talgrundes den Hang hinauf zu verhindern, ist eine weitere bauliche Verdichtung, v.a. in den Hangpartien der beiden Klingen nicht zu vertreten, die aufgelockerte Bebauung, die den Kaltluftabfluss noch ermöglicht gilt es zu erhalten;</p>

Der Hangabschnitt Bopseranlagen, Bopserklinge und Dobelklinge hat oberhalb der bebauten Flächen einen Ausgleichsraum durch den angrenzenden Wald. An den Bopseranlagen lässt sich die geringe thermische Belastung auf den großen Anteil unbebauter Flächen und die Parkanlage zurückführen, die Bopserklinge ist vom Kaltluftabfluss und den freigehaltenen Flächen geprägt. Der Reichelenberg dagegen zeigt bereits die Folgen seiner dichten Bebauung und ist dadurch thermisch beeinträchtigt. In der Dobelklinge dagegen wirken die unbebauten Steilhänge und der Kaltluftabfluss, der durch den Verlauf der Sonnenbergstraße längs zur Abflussrichtung begünstigt ist, als Schutz vor Überwärmung.

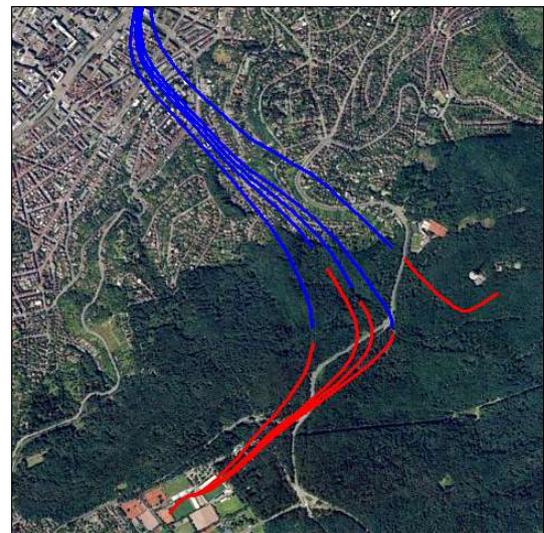


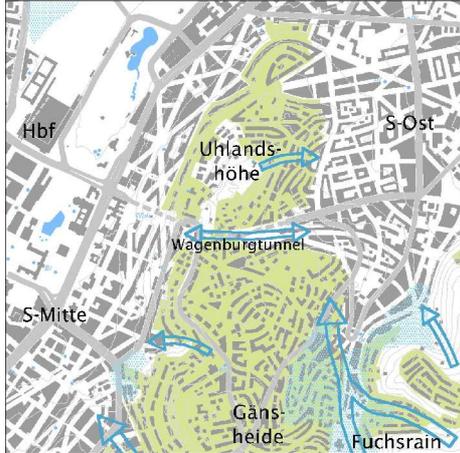
Abbildung 67 Kaltluftabfluss Dobelklinge

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Die Bopserklinge zeigt beispielhaft vor allem am Hangfuß die optimale Wirkung des Kaltluftabflusses über die Hanglagen. Die Bebauung der Hänge ist zurückhaltend, die Straßen am Hangfuß sind längs zur Klinge orientiert und fördern somit den Kaltlufteinfluss bis weit in die dichte Bebauung. Der Reichelenberg dient als Beispiel für die Entwicklung hin zu einem dicht bebauten Hang mit thermischer Beeinträchtigung, diese Flächen sind damit besonders sensibel und eine weitere Verdichtung klimatisch nicht mehr verträglich.



Abbildung 68 Blick von der Karlshöhe Richtung Frauenkopf mit Stuttgart-Süd und seinen Hangpartien

Frauenkopf - Gänsheide - Uhlandshöhe		
	Bestand	Funktion
		
Hang: auf den flacheren Höhenrücken verdichtete Hangbebauung, in Steillagen aufgelockert, Uhlandshöhe mit Freiflächen	aufgrund des fehlenden Ausgleichsraum im direkten Anschluss an diesen Höhenzug sind große Flächen überwärmt (Stadt-Klimatop), angrenzend an die dichte Bebauung von S-Ost und S-Mitte sind bereits die Hänge stark wärmebelastet (Stadtkern-Klimatop); die Freiflächen der Uhlandshöhe und weniger dicht bebaute Areale sind selbst kaum klimatisch beeinträchtigt und haben auch Auswirkung in die angrenzenden Siedlungen (Freiflächen- und Stadtrand-Klimatop)	auf den Hangpartien von Gänsheide und Uhlandshöhe sind die Ausgleichsleistungen von den Freiflächen zwischen der Bebauung zu erbringen, da das größere Kaltluftvolumen aus den Wäldern um den Frauenkopf über die Dobelklinge und den Geländeeinschnitt am Fuchsrain (Gablenerger Str.) ins Tal abfließen; die auf dem Höhenzug um den Frauenkopf gebildete Kaltluft fließt in die tieferen Hangpartien ab und kann damit partiell den Hangfuß kühlen (oberhalb Aspergstr.); der Geländeeinschnitt am Wagenburgtunnel fungiert als Luftaustauschbahn zwischen S-Ost und dem Nesenbachtal
Hangfuß: dichte gründerzeitliche Blockbebauung	der Hangfuß der Uhlandshöhe ist durch die dichte Bebauung und die angrenzende Wärmeinsel (ab der Schwarzenbergstr.) von S-Ost thermisch besonders belastet, dies strahlt bereits in die einsetzende lockere Bebauung der Hänge aus (Stadt- und Stadtkern-Klimatop)	die Ausgleichsleistungen der vorhandenen Freiflächen an den Hängen haben nur begrenzte Fernwirkung, die kaum bis an den Hangfuß hinunter reicht, im Gegenteil ist v.a. am Hangfuß der Uhlandshöhe eine Ausdehnung der Wärmeinsel die Hänge hinauf zu beobachten
Talgrund: dichte, städtische Bebauung angrenzend an die Schlossgartenanlagen und die Freiflächen der Villa Berg	neben der Altstadt bildet die Bebauung des Stuttgarter Ostens eine intensive Wärmeinsel aus, Gründe sind: die wind-schattige Lage, abseits des Kaltluftstroms des "Nesenbächers" und die dichte Bebauung, die ausgeglichenen Temperaturen der Parkanlagen haben hier über ihre Grenzen hinaus keinen entlastenden Effekt auf die angrenzenden Stadtteile	

Frauenkopf - Gänsheide - Uhlandshöhe	
Zielsetzungen & Maßnahmen:	<p>die weitere klimatische Entwicklung muss die Ausdehnung der Wärmeinsel des Talgrunds auf den Höhenzug unterbinden, in dem die kaltluftbildenden Freiflächen der bebauten Hänge erhalten und ausgeweitet werden und der Kaltluftabfluss durch eine lockere Bebauung gefördert wird;</p> <p>besonders wichtig ist der Luftaustausch zwischen den Wärmeinseln von Stuttgart-Mitte und -Ost, diese Funktion kann nur aufrecht erhalten werden, wenn eine weitere Überwärmung des Geländeeinschnitts verhindert wird und die Oberflächenrauigkeit gering bleibt (vgl. Karlshöhe), auch hier ist im FNP 2010 eine Grünverbindung vorgesehen;</p> <p>die Flächen stellen außerdem einen erhöhten besser durchlüfteten Wohnstandort und stadtnahe, in Teilen auch klimatisch entlastete Freiflächen dar, die es als Wohn- und Aufenthaltsflächen zu erhalten gilt;</p>

Der Höhenrücken der Uhlandshöhe ist bereits überwärmt, ausschlaggebend dafür ist die Lage außerhalb des Kaltlufteinzugs, diese fließt östlich und westlich in den Klingen in tieferes Gelände ab. Kaltluft zur nächtlichen Kühlung wird damit nur noch auf den vorhandenen Freiflächen zwischen der Bebauung gebildet.

Die Uhlandshöhe selbst ist teilweise unbebaut und dadurch nicht so stark überwärmt, dennoch hat dies nur einen geringen Einfluss auf die umliegenden bebauten Bereiche, da diese durch den stark überwärmten Talgrund der Innenstadt überprägt werden.

Folglich ist die thermische Belastung in diesem Teilbereich bereits weit fortgeschritten, die Gefahr dass die Wärmeinsel die Hänge sukzessive "hinaufkriecht" ist besonders hoch, da es sich nur um einen schmalen "Sporn" mit lockerer Bebauung zwischen den intensiven Wärmeinseln von Stuttgart-Mitte und -Ost handelt.

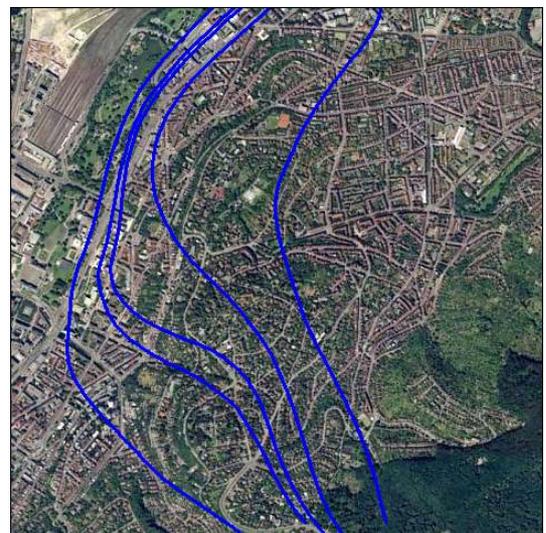
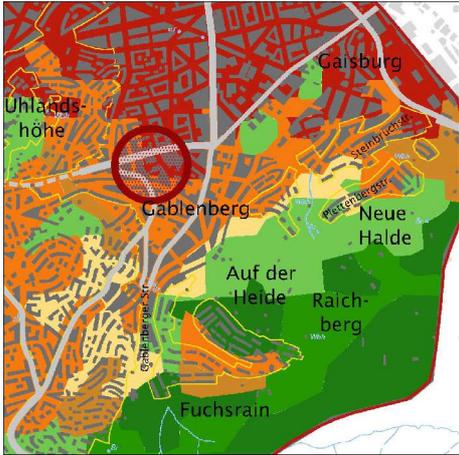
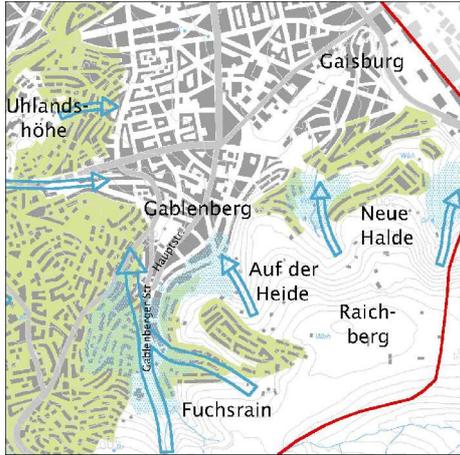


Abbildung 69 Kaltluftabfluss Uhlandshöhe

Quelle: BAUMÜLLER 2004



Abbildung 70 Uhlandshöhe und Wagenburgtunnel

Stuttgart-Ost - Gablenberg - Gaisburg		
	Bestand	Funktion
		
<p>Hang: Randhöhen Wald, (landwirtschaftliche) Freiflächen, Gärten, lockere inselartige Hangbebauung</p>	<p>die unbebauten Hänge sind in ihren thermischen Eigenschaften relativ naturnah, mit Wirkung auf Teile der Hangbebauung (Wald- und Freiflächen-Klimatop); durch den Kaltluftabfluss und den Kaltluftstau am Geländeeinschnitt Fuchsrain sind die angrenzend bebauten Flächen kaum thermisch belastet (Stadttrand-Klimatop), mit einsetzender dichter Bebauung in der Abflussrinne erwärmen sich die Flächen zunehmend (Stadt-Klimatop ab der Gablenberger Str.); in Gaisburg in der Steinbruchstr. und der Drackensteinstr. überprägt die Wärmeinsel des Hangfußes die Thermalcharakteristik der Hänge (Stadt-Klimatop)</p>	<p>die Wald- und Freiflächen auf den Randhöhen von S-Ost stellen durch die Lage abseits des Kaltluftstroms des Nesenbachtals, den einzigen Ausgleichsraum für das am Hangfuß liegende Stadtgebiet dar; der Kaltluftzufluss erfolgt kanalisiert durch den Geländeeinschnitt am Fuchsrain, hier bildet sich aufgrund der stark einsetzenden Bebauung ein Kaltluftstau; der Abfluss erfolgt auch großflächig von den landwirtschaftlichen Flächen Auf der Heide, Raichberg und Neue Halde, die trotz partieller Hangbebauung noch weit in den Siedlungskörper eindringt</p>
<p>Hangfuß: dichte Blockbebauung</p>	<p>trotz teils riegelartiger Bebauung am Hangfuß wirken die angrenzenden Freiflächen thermisch ausgleichend bis in die dichten Baustrukturen (Stadttrand-Klimatop), in Gaisburg vermindert die Hangbebauung die weitreichende Wirkung der Kaltluft, mit zunehmender Bebauung zeigt sich im gesamten Gebiet die Überwärmung (Stadt-Klimatop)</p>	<p>wichtig für die Belüftung und thermische Entlastung sind die Baustrukturen am Fuchsrain, die ein Eindringen der Kaltluft ermöglichen sollen, vorteilhaft ist dabei die Längsorientierung der Gablenberger Str. und Hauptstr. zur Abflussrichtung; auch am Fuß des Raichbergs unterstützen die Grünflächen zwischen der Bebauung den Kaltluftfluss</p>
<p>Talgrund: verdichtete städtische Bebauung, teils mit Grünzügen bis in die dichtere Bebauung</p>	<p>die intensive Wärmeinsel des Stuttgarter Ostens stellt einen Kaltluftverlust von 25 m³/sm dar ("Hotspot" Gablenberg) (BAU-MÜLLER 2004), bauliche Verdichtung würde zu einer weiteren Ausdehnung der Wärmeinsel führen</p>	

Stuttgart-Ost - Gablenberg - Gaisburg	
Zielsetzungen & Maßnahmen:	Primäre Funktionen der Hanglagen sind im Stuttgarter-Osten ihre Ausgleichsleistungen, diese gilt es auch zukünftig zu erhalten und die vorhandenen Freiflächen, die bereits jetzt für einen thermischen Ausgleich des Stadtteils nicht ausreichen, nicht zu dezimieren und die Belastung im Wirkraum durch Verdichtung nicht weiter zu erhöhen; für den Kaltluftabfluss ist hier selbst die lockere Hangbebauung im Bereich der Plettenbergstr. bereits ein Hindernis; durch die Optimierung der Abflussbahnen in Verbindung mit den vorhandenen Grünflächen zwischen der Bebauung ist die kühlende Wirkung bis in die tiefer liegenden Gebiete auszudehnen, dazu kann unter anderem die geplante Grünvernetzung im FNP 2010 dienen

Thermische Entlastung leisten für den Stuttgarter-Osten einerseits der große Grünflächenanteil "Auf der Heide" und "Neue Halde" mit Kühlwirkung Hangabwärts bis in die Randbereiche der dichten Bebauung, dort erfolgt ein großer Kaltluftverlust. Die Hanglagen Gaisburgs z. B. in der Hornberg- und Steinbruchstr. sind in ihrer Thermalcharakteristik von der angrenzenden dichten Bebauung überprägt. Der Kaltluftabfluss aus den höher gelegenen Waldflächen wird durch die Klinge am Fuchsrain kanalisiert und kühlt die angrenzenden Gebiete bis in die dichte Bebauung. Weitere Kaltluftabflüsse erfolgen über kleinere Geländeeinschnitte am Raichberg in die Bebauung. Wäre die Durchlässigkeit der Hänge nicht gegeben und die Hang- und Randbebauung in Stuttgart-Ost noch stärker ausgeprägt käme es zu einer noch deutlicheren Überwärmung dieses besonders dicht bebauten Stadtteils.

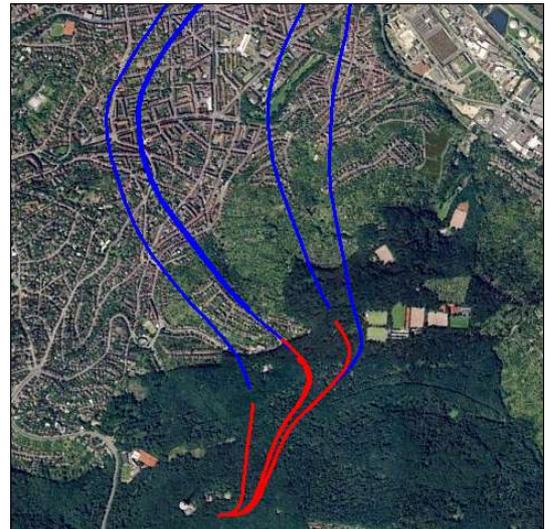


Abbildung 71 Kaltluftabfluss Stuttgart-Ost

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Die Hänge des **Westkessels** Stuttgarts sind weniger stark gegliedert als die mit Geländeinschnitten durchzogenen gegenüberliegenden Höhen. Da die Hangbebauung bis zum Scheitelpunkt des Kräherwalds hinaufreicht und damit kaum noch Freiflächen im Einzugsgebiet zur Verfügung stehen zeigen sich viele Gebiete bereits großflächig überwärmt. Die Hauptbelüftung erfolgt neben dem Luftstrom aus dem Nesenbachtal über die Karlshöhe, durch den Kaltluftabfluss aus dem Glemswald, entlang des Birkenkopfs über das Vogelsangtal.

Botnanger Sattel - Vogelsangtal - Westkessel		
	Bestand	Funktion
Hang: Waldflächen, hangseitige Bebauung, Abstandsflächen	<p>die lockere Bebauung über dem Vogelsangtal profitiert durch ihre Höhenlage und die angrenzenden Waldgebiete; die einsetzende dichte Bebauung an den Hängen stadteinwärts und die Südexposition u.a. entlang der Gaußstr. führt zur Erwärmung bis zur thermischen Belastung (Stadttrand- u. Stadt-Klimatop);</p> <p>die Freiflächen zwischen der Bebauung, die Grünflächen und der Kaltluftabfluss am Botnanger Sattel, wirken sich kühlend aus;</p>	<p>der Kaltluftabfluss erfolgt aus dem Glemswald hauptsächlich über die bewaldeten Hänge am Birkenkopf in das Vogelsangtal und über den Botnanger Sattel in den Westkessel;</p> <p>durch die Bebauung bis zum Scheitelpunkt des Kräherwaldes steht den Seitenhängen kaum noch un bebauter Ausgleichsraum zur Verfügung, die Kaltluftentstehung erfolgt hauptsächlich auf den Freiflächen zwischen der Hangbebauung</p>
Hangfuß: Gewerbefläche, Westbahnhof, Bahndamm, dichte gründerzeitliche Blockbebauung	<p>im Vogelsangtal und am Botnanger Sattel profitieren die Flächen am Hangfuß vom Kaltluftabfluss und den Freiflächen an den Hängen, ausgleichende Luftmassen dringen z.B. in der Vogelsang- und der Bebelstr. bis in die Blockbebauung vor (Stadttrand-Klimatop)</p>	<p>die verbindende Wirkung der Grünflächen am Hangfuß fördern das Eindringen der Kaltluft, die im Verlauf der Bebelstr. einsetzende Blockbebauung verursacht dennoch einen Kaltluftstau, der zwar die Randlagen kühlt, aber die klimatische Entlastung weiterer Teile des Westkessels verhindert</p>

Botnanger Sattel - Vogelsangtal - Westkessel	
Talgrund: dichte, städtische Bebauung mit wenigen/keinen Freiflächen	durch besonders dichte Bebauung und fehlende Freiflächen kommt es im Westkessel zu einem Kaltluftverlust im Maximum von ca. 27 m ³ /sm (BAUMÜLLER 2004); durch die versiegelten Flächen und dem Mangel an ausgleichenden Flächen am Kesselrand bildet sich in S-West großflächig eine ausgeprägte Wärmeinsel (Stadtkern-Klimatop)
Zielsetzungen & Maßnahmen:	der fehlende Ausgleichsraum im Einzugsgebiet des Westkessels muss durch die vorhandenen Freiflächen, hauptsächlich an den Hängen kompensiert werden, diese gilt es zu erhalten und den Kaltluftabfluss zu fördern, flächige Grünverbindungen vom Talgrund zu den Randhöhen könnten dies ermöglichen; die Frischluftzufuhr über das Vogelsangtal und den Botnanger Sattel muss auf jeden Fall gewährleistet werden, neben dem Überlauf aus dem Nesenbachtal stellt dies den einzigen unbebauten Ausgleichsraum dar; die an den Hängen auftretende Überwärmung darf sich durch eine weitere bauliche Verdichtung nicht verstärken, klimatische Sanierung im Talgrund soll der vorhandenen Wärmebelastung entgegenwirken und die Luftleitbahnen optimieren;

Die eindringende Kaltluft aus dem Glemswald über das Vogelsangtal zeigt ihre größte Wirkung unterhalb des Botnanger Sattels. Aufgrund der starken Geländesprünge ist das Gebiet sehr lockere bebaut und lässt die Kaltluft über die Hänge in die Stadt abfließen. Selbst die gründerzeitliche Blockbebauung des Stuttgarter Westkessel im Anschluss weist randlich noch die Thermalcharakteristik eines Stadtrands mit nächtlicher Abkühlung auf. Die Grenzen des Kaltlufteinflusses zeigt die rasch einsetzende Wärmeinsel im Verlauf der Bebelstraße.

Das Beispiel des Geländeeinschnitts der Hauptmannsreute, dass in der Klimatopkarte (s. Karte 3) trotz mangelndem unbebauten Ausgleichsraum kühler erscheint, zeigt die lokale Kaltluftproduktion auf den Freiflächen zwischen der Hangbebauung und damit die klimatische Bedeutung der grünen Hänge. Dennoch ist ein großer Teil der Seitenhänge durch die immer dichtere Bebauung überwärmt. Die ausgeprägte bioklimatische und lufthygienische Belastung des Talgrunds im Westkessel wird durch die Situation an den Hängen begünstigt, Kaltluftentstehung und -abfluss sind eingeschränkt. Zusätzlich ist dadurch aus klimatischer Sicht die Funktion als Wohnstandort an den Hängen beeinträchtigt.

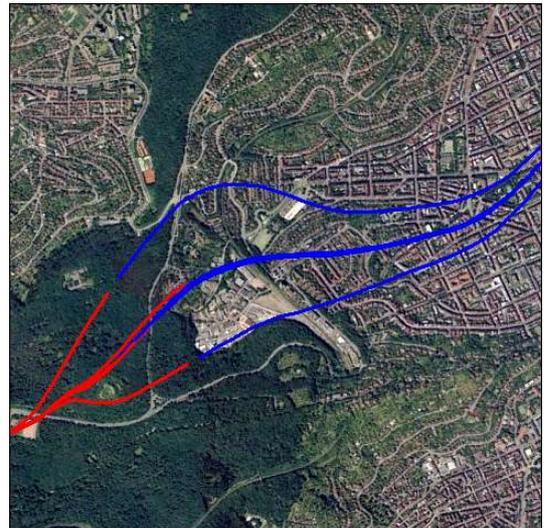
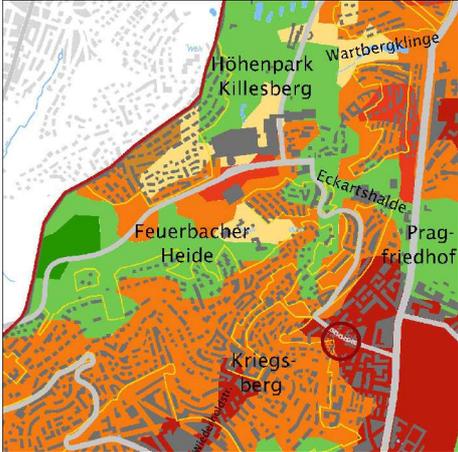
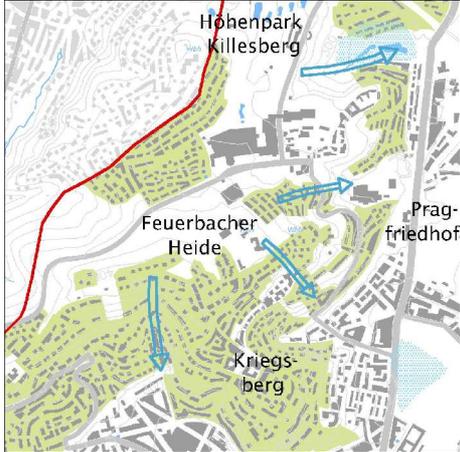


Abbildung 72
Kaltluftabfluss Vogelsangtal, Botnanger Sattel

Quelle: BAUMÜLLER 2004

Der **Stuttgarter Norden** wird in Strahlungs Nächten und stabiler atmosphärischer Schichtung von der Frischluft der Feuerbacher Heide und den Freiflächen der Parkanlagen auf dem Killesberg belüftet.

Killesberg - Stuttgart Nord		
	Bestand	Funktion
		
Hang: Freiflächen, Parkanlagen, lockere bis verdichtete Hangbebauung, Messe	<p>die großen Freiflächen der Feuerbacher Heide und des Höhenparks sind thermisch ausgeglichen, ebenso die daran angrenzende Hangbebauung, entlang eines Freiflächenverbunds mit aufgelockerter Bebauung zieht sich dies über die Eckartshalde bis zum Pragfriedhof (Freiflächen-Klimatop); der Kaltluftabfluss in der Wartbergklinge bringt thermische Entlastung (Stadtstrand-Klimatop);</p> <p>die dichte Bebauung am Kriegsberg führt zur Entwicklung der Wärmeinsel vom Talgrund an die Hänge (Stadtkern-Klimatop);</p> <p>Überwärmung der versiegelten Flächen des Messegeländes (Stadt-Klimatop)</p>	<p>das Kaltlufteinzugsgebiet für den Stuttgarter Norden sind hauptsächlich die Feuerbacher Heide und die Parkanlage des Killesberg;</p> <p>die Verknüpfung der Freiflächen, teilweise über die Hangbebauung bis ins Tal ermöglichen den Kaltluftabfluss bis zum Pragfriedhof;</p> <p>ein Abfluss über die Hangbebauung an den Seitenhängen des Kriegsbergs durch die dichte Bebauung in die Wärmeinsel im Tal ist nur kleinräumig möglich</p>
Hangfuß: dichte innerstädtische Bebauung, Nordbahnhof, Grünanlagen (Pragfriedhof)	<p>mit der einsetzenden dichten Bebauung ist der innerstädt. Wärmeineleffekt verbunden (Stadtkern-Klimatop);</p> <p>"Hotspot" am Fuße des Kriegsbergs mit einem Kaltluftverlust von bis zu $19 \text{ m}^3/\text{sm}$ (BAUMÜLLER 2004)</p>	<p>bis auf den Freiflächenverbund mit dem Pragfriedhof kann am Hangfuß die Kaltluft durch die intensive Nutzung (Gewerbeflächen, Nordbahnhof) kaum in den Talkessel eindringen</p>
Talgrund: dichte innerstädtische Bebauung	<p>innerstädtische Wärmeinsel (Stadtkern) die durch die Freiflächen des Pragfriedhofs noch eingedämmt wird, außerdem entlastete Flächen des Unteren Schlossgarten und des Rosensteinparks</p>	

Killesberg - Stuttgart Nord

Zielsetzungen & Maßnahmen:	<p>die noch vorhandenen größeren Freiflächen zur Kaltluftproduktion sind zu erhalten und der Abfluss der Kaltluft über die freien Hangpartien zu berücksichtigen, da diese noch im Talgrund Wirkung zeigen, die Geländeeinschnitte sind als Kaltluftabflussbahnen freizuhalten;</p> <p>die thermisch belasteten Hänge sind nicht weiter zu verdichten, um eine zusätzliche Erwärmung zu verhindern, die die Luftzirkulation weiter reduziert und die Kaltluftproduktion zwischen der Hangbebauung dezimiert;</p> <p>durch Sanierungsmaßnahmen im Talgrund können die ausgleichenden Wirkungen der innerstädtischen Grünflächen besser in den bebauten Arealen genutzt werden, ebenso gilt es eine Überprägung v.a. der thermisch wenig belasteten Freiflächen am Rosensteinpark durch den überwärmten Stadtkern zu verhindern;</p>
---------------------------------------	--

Allgemein sind die Hänge ähnlich wie im Stuttgarter Westen bereits thermisch beeinträchtigt, die Gründe sind auch hier in der bereits dichten Bebauung und der Versiegelung zu suchen, am Kriegsberg fehlt der Kaltlufteinzug, da die kühlende Luft der Feuerbacher Heide an den Seitenhängen ins Tal fließt. Die dichtere Bebauung am Südhang des Kriegsbergs entlang der Wiederholdstraße ist ein Beispiel für die Ausdehnung des städtischen Wärmeinseleffekt, ein Gebiet mit dem höchsten Temperaturmittel und der geringsten nächtlichen Abkühlung.

Entlastung bringen die vorhandenen Freiflächen, die der Kaltluftproduktion und an den unbebauten Hangpartien dem Kaltluftabfluss dienen. Besonders vorteilhaft zeigt sich die Verknüpfung des Höhenparks über die Gärten der Hänge mit den großen Grünflächen des Pragfriedhofs, als Luftleitbahn, durch die thermische Entlastung bis in den Talgrund vordringen kann.

Diese lokalklimatische Situation wurde im Entwurf der Gewinner des städtebaulichen Wettbewerbs zur baulichen Entwicklung des Rosensteinviertels berücksichtigt. Die Abbildung zeigt schematisch den Kaltluftabfluss von den Randhöhen und die Lage zur Hauptbelüftung im Talkessel. Durch die Orientierung der Erschließung zum Pragfriedhof kann die Luftbewegung von den Randhöhen auch in den neuen Quartieren noch kühlend wirken.

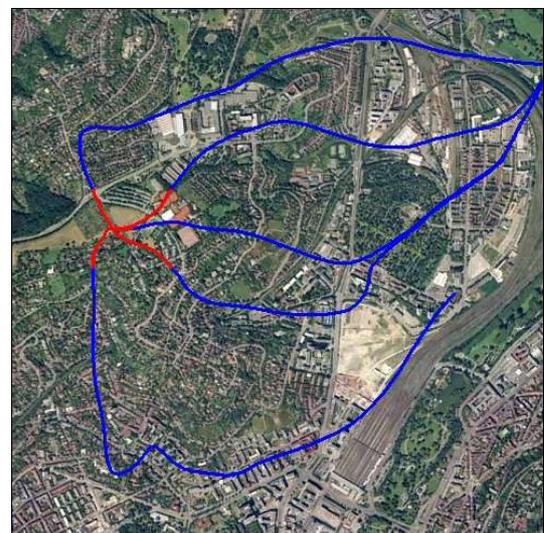


Abbildung 73 Kaltluftabfluss Feuerbacher Heide

Quelle: BAUMÜLLER 2004

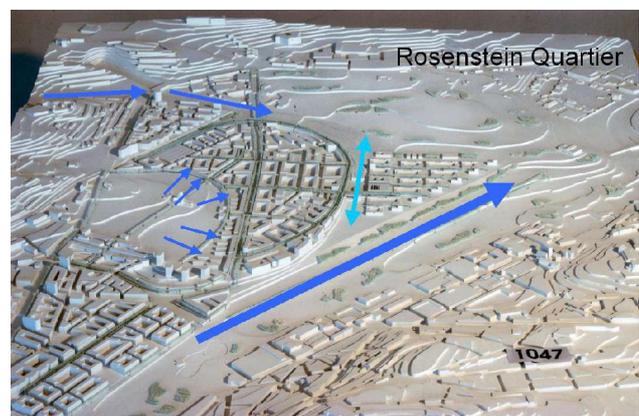
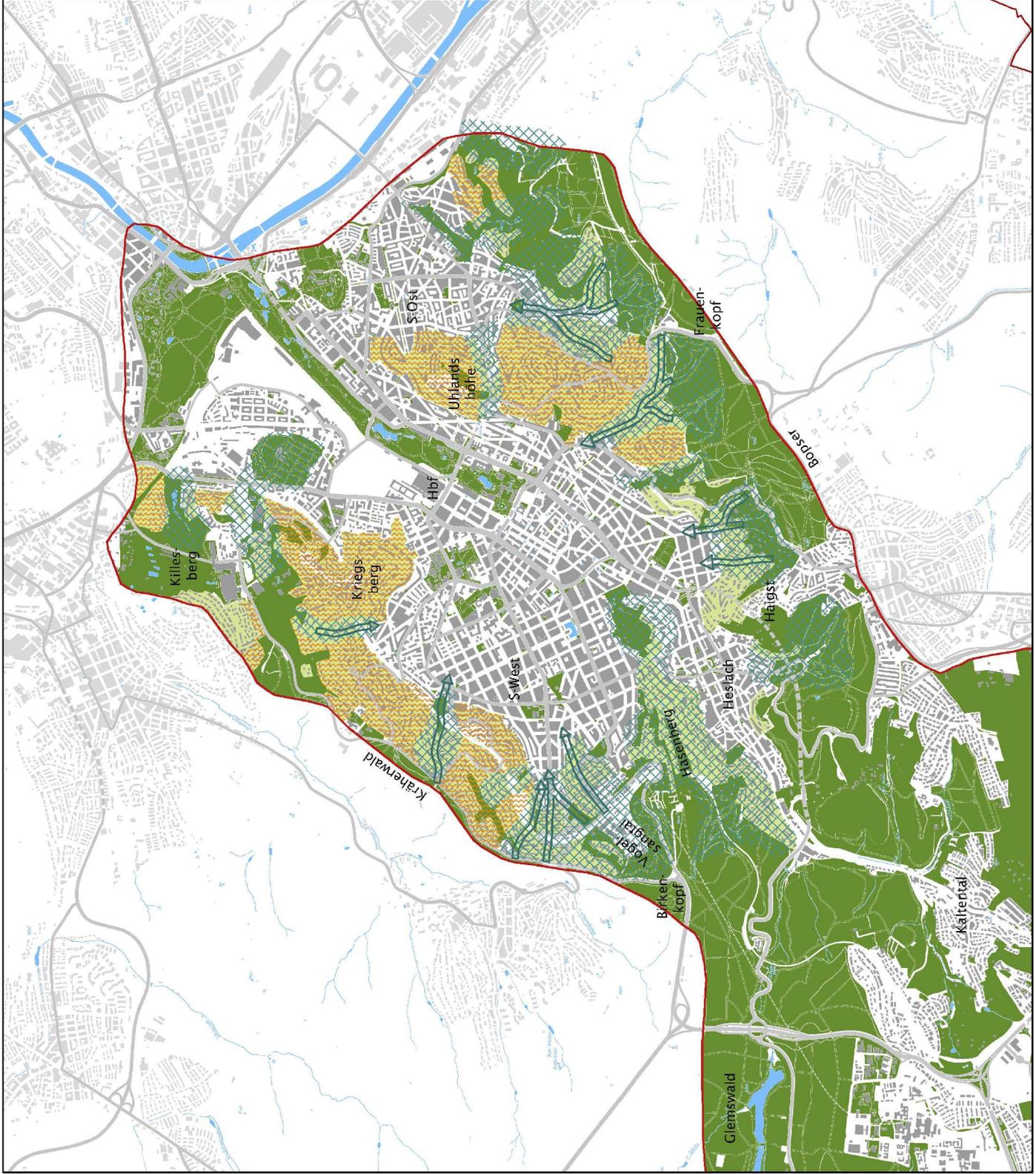


Abbildung 74 Vorschlag zur städtebaulichen Entwicklung des Rosenstein Quartiers mit schematischen Kaltluftflüssen

Entwurf Büro Pesch & Partner



Kaltluftfeinzugsgebiet
Nesenbachtal

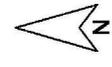
Gemarkungsgrenze
Stadt Stuttgart

Zielsetzungen

-  unbebauter Ausgleichsraum erhalten
-  durchgrünte Hangbebauung als bioklimatisch ausgeglichene Wohnstandort erhalten
-  thermischer Belastung entgegenwirken, Flächenversiegelung verhindern
-  für Kaltluftabfluss von (weiterer) Bebauung freigehalten
-  als Kaltluftabflussbahn optimieren

Bebauung

 Belastungsraum Einzugsgebiet Nesenbachtal



M 1:50.000

**Karte 4
Klimatische Zielsetzungen für die
Hanglagen Stuttgarts**

Kartengrundlage: Stadtmessungsamt
Quellen:
Flächennutzungsplan 2010
Landeshauptstadt Stuttgart
Stadtklima 21
Landeshauptstadt Stuttgart

6.2 Zielsetzungen

Die allgemeinen klimatischen Ziele für die Hanglagen der Stadt sind zum Einen, die Klimafunktionen für den Talgrund zu erhalten und zum Anderen, sie weiterhin als thermisch entlastete Wohnstandorte nutzen zu können. Im Einzelnen heißt dies:

- Erhalt des unbebauten Ausgleichsraums im Einzugsgebiet des Nesenbachtals und vor allem auf den Randhöhen oberhalb der bebauten Hanglagen
- Erhalt der thermisch unbelasteten Hangpartien
- Vermeidung einer weiteren thermischen Belastung bereits beeinträchtigter Hänge
- Erhalt der lokalen und regionalen Luftzirkulationen vor allem der Kaltluftabflüsse über die Geländeeinschnitte und Klingen
- Förderung und Optimierung der Luftleitbahnen in den Geländeeinschnitten durch entsprechende Gestaltung ihrer Oberflächen

Eine Verortung der einzelnen Ziele zeigt die Karte 4. Für die Hangbebauung bedeutet dies, dass eine weitere Bebauung, Nachverdichtung und Oberflächenversiegelung unterbunden werden muss und Optimierungsmaßnahmen für die lokale Luftzirkulation in den Abflussbahnen und die thermisch belasteten Hangpartien getroffen werden müssen. Im einzelnen kann dies, wie im dritten Kapitel formuliert, die Verknüpfung von Freiflächen mit geringer Oberflächenrauigkeit sein, oder die Gestaltung von Straßenräumen als Kaltluftabflussbahnen. An überwärmten Hangabschnitten kann durch Wohnumfeldverbesserung wie Innenhof- oder Fassadenbegrünung und die Begrenzung der Oberflächenversiegelung kleinräumig für Entlastung gesorgt werden.

Eine klimatisch orientierte Planung und Bebauung der Hänge geht mit den städtebaulichen Zielen der Ortsbausatzung von 1935 Hand in Hand, so zeigen sich folgende, bereits vorhandene Festlegungen auch für das Stadtklima als vorteilhaft:

Bebauung

- geringe Dichte, nach Baustaffel 8 und 9 der Ortsbausatzung, 10-20 % Überbauung der Grundstücke, dadurch Erhalt großer Grünflächen mit lufthygienischem und thermischen Ausgleichspotenzial
- Wohnnutzung in den Siedlungen mit entsprechend sparsamer Erschließung und Infrastruktur und damit geringer Oberflächenversiegelung
- offene Bauweise mit Einzelhäusern und ausreichend Abstandsflächen zur Förderung des Kaltluftabflusses
- geringe Bauhöhen, nach der Ortsbausatzung maximal drei Geschosse führen zu einer geringen Oberflächenrauigkeit und geringen Verdrängungshöhen für die ausgleichenden Luftmassen
- Verzahnung mit den Ausgleichsräumen z. B. durch die Gartenhausgebiete bis in die Hangbebauung, dadurch ein besseres Eindringen der Kaltluft in die Siedlungsflächen

Freiflächen

- Bauverbotsflächen und Gärten um die Gebäude als klimaaktive Flächen
- Freihalten der Klingen und Geländeeinschnitte von Bebauung und Gehölzriegeln, zur Förderung der Luftzirkulation
- Erhalt der noch unbebauten Flächen in den bebauten Hangpartien wie Rebflächen, Steilhänge und Aussichtspunkte
- Vernetzung der öffentlichen Freiräume von den Randhöhen über die Hanglagen in die Innenstadt (Zielsetzung der Grünkorridore im FNP 2010 und im Stadtentwicklungskonzept)

6.3 Zusammenfassung und Ausblick

Trotz der Lage der Stadt Stuttgart in bewegter Landschaft, die sich nur unter einigem Aufwand für den Menschen und seine Bedürfnisse erschließen lässt ist die Region und vor allem das Nesenbachtal dicht besiedelt mit einem geringen Anteil an öffentlichen Grünflächen in der Stadt.

Das Klima ist hier durch die überregionale und lokale Situation, die Lage zwischen den Mittelgebirgen und der Beckenlage im Nesenbachtal, aber auch durch die Besiedelung äußerst sensibel. Dies zeigt sich hauptsächlich in der Windarmut und der damit verbundenen mangelnden Durchlüftung, außerdem durch höhere Temperaturen verursacht durch Orographie und Bebauung. Für den Menschen bedeutet dies eine erhöhte thermische und lufthygienische Belastung und damit eine entsprechende gesundheitliche Beeinträchtigung.

Innerhalb der Siedlung zeigt sich die Baustruktur der Hanglagen nicht nur aus städtebaulichen Gründen als bedeutsam. Klimatisch sind dies oft Wohnstandorte mit geringeren Belastungen, sie dienen als zusätzlichen Ausgleichsraum für die tiefer liegende Innenstadt und ermöglichen erst einen thermisch induzierten Luftaustausch (Kaltluftabfluss) von den unbebauten Randhöhen in das überwärmte Tal.

Bereits in der Historie als die Besiedelung der Hanglagen Ende des 19. Jahrhunderts geplant wurde, hat man sich intensiv damit beschäftigt, wie eine Bebauung nicht nur für das Stadtbild sondern auch unter Berücksichtigung des Klimas umzusetzen ist. Mit der Ortsbausatzung von 1935 und auch in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts mit dem Erhalt der Bauverbotsflächen wurde den Hängen planungsrechtlich eine Sonderrolle zugesprochen.

Heute sind die Hanglagen in Teilen bereits klimatisch beeinträchtigt und der dichten Bebauung im Talgrund steht nicht mehr ausreichend Ausgleichsraum zur Verfügung. So hat sich gezeigt, dass dabei die Nachverdichtung problematisch ist, in Form von einzelnen Bauprojekten werden die vormals nur zu 10 - 20 % besiedelten Hänge sukzessive versiegelt und verbaut. Dies führt nicht nur zu einem Verlust an klimatischem Potenzial der sich erst in der Summenwirkung bilanziert. Jeder Beschluss muss den Erhalt und die Schaf-

fung "gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse" für die Bevölkerung in Stuttgart berücksichtigen bzw. zum Ziel haben. Deshalb sind restriktive Entscheidungen für Bauvorhaben an den Hängen gefragt, die keine Ausnahmen vom bestehenden Recht der Ortsbausatzung zulassen oder eine Überführung dieser Zielsetzungen in aktuelles Baurecht, die mit den vorhandenen gesetzlichen Festsetzungsmöglichkeiten der Bevölkerung und den städtebaulichen, landschaftlichen und vor allem den klimatischen Belangen gerecht wird.

Die Relevanz des Stadtklimas in der Stadtplanung haben bereits viele Städte in Deutschland erkannt und auch durch die in der Europäischen Union geltenden Umweltstandards wird das Klima in der Bauleitplanung zunehmend berücksichtigt. Auch hier hat die Stadt Stuttgart durch die besondere klimatische Situation und einer langjährigen Erfahrung im Amt für Umweltschutz mit einer eigenen Abteilung für Stadtklimatologie eine europaweite Vorreiterrolle (s. a. WHO 2004). Jetzt gilt es die erarbeiteten Grundlagen, Ziele und Maßnahmen konsequent in der Bauleitplanung umzusetzen und als wichtigen Abwägungsbeleg zu betrachten, der bei politischen Entscheidungen einen hohen Stellenwert haben sollte.

Stuttgart muss auch zukünftig die Hanglagen als Chance sehen, die der Stadt Identität geben (s. a. LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004d), die landschaftlichen Verhältnisse in einem dicht besiedelten Raum berücksichtigen, städtebaulich eine prägende, historisch bedeutsame und erhaltenswerte Struktur darstellen und als grüner, wohnungsnaher Freiraum für die Bewohner der Stadt fungieren. Sie sind aber vor allem stadtklimatisch für die Stuttgarter Innenstadt auch unter dem Gesichtspunkt der prognostizierten globalen Klimaerwärmung in ihrer Funktion zwingend zu erhalten. So könnten mit einem entsprechenden Freiraumkonzept die genannten Anforderungen an die Hänge Stuttgarts verknüpft und auch die in Teilbereichen notwendige klimatische Sanierung und Optimierung umgesetzt werden.

III Definitionen der Klimaelemente

aus Kapitel 1.4

nach LANDESHAUPTSTADT STUTTGART 2004

Klimaelement	Definition
Mitteltemperatur	über einen Zeitraum gemittelte Temperatur
Höchsttemperatur	höchste gemessene Temperatur
Tiefsttemperatur	tiefste gemessene Temperatur
Frosttage	Temperaturminimum unter 0 °C
Heiztage	Tagesmitteltemperatur unter 15 °C
Sommertage	Tageshöchsttemperatur über 25 °C
Heiße Tage	Tageshöchsttemperatur über 30 °C
Biergartentage	Temperatur nach 20 Uhr > 20 °C
Schwüle Tage	Feuchttemperatur um 14 Uhr > 18 °C
Regentage	Tage mit Niederschlag (z. B. Regen, Schnee)
Gewittertage	Tage mit Gewitter
Niederschlagsmenge	gefallener Niederschlag in mm (= l/m ²)
möglicher Sonnenschein	astronomisch möglicher Sonnenschein in Stunden
mittlere Sonnenscheindauer	gemittelte tatsächliche Sonnenscheindauer in Stunden
Globalstrahlung	pro Fläche und Zeit eingestrahlte Sonnenenergie in kWh/m ²

IV Literaturverzeichnis

BauGB, 2004: Das Baugesetzbuch - Texte und Verordnungen zum Bau- und Planungsrecht. Textausgabe, 387 S.

BAUMÜLLER, J., 2005: Die Bedeutung der Hanglagen für das Stuttgarter Stadtklima. Unveröffentl. Vortrag vom 21.03.05, Amt für Umweltschutz, Landeshauptstadt Stuttgart, 87 S.

BAUMÜLLER, J., 2004: CD-Rom Stadtklima 21 - Grundlagen zum Stadtklima und zur Planung Stuttgart 21. Version 4, Stadt Stuttgart, Amt f. Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie.

BAUMÜLLER, J. & REUTER, U., 2003: Umweltmeteorologie und Planung. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): promet - Meteorologische Fortbildung, S. 48 - 66, Heft 1/2, 30. Jahrgang.

BAUMÜLLER, J., 1974: Hangbebauung aus der Sicht der Meteorologie - Teil 1 und 2. In: Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen: Baupraxis. FBW-Blätter, S. 45-48 und 57-60, Heft 3 und 5/74, Stuttgart.

- BONGARTZ, N., et al., 1985: Stuttgart Handbuch - Landschaft, Wald und Wein, historische Denkmäler, Stadtentwicklung, Stadtteile. Theiss: Stuttgart, 476 S.
- BORGMANN, T., 2005: Kein Wohnbau am Bopser. In: Stuttgarter Zeitung, Nr. 20, 26.01.05
- BOUCHON, 2005: mündl. Mitteilung vom 24.03.05. Stadt Bonn, Stadtplanungsamt Sachgebiet Flächennutzungsplanung.
- FEZER, F., 1995: Das Klima der Städte. Gotha: Heidelberg, 199 S.
- FICKERT, H. C. & FIESELER, H., 2002: Der Umweltschutz im Städtebau - Ein Handbuch für Gemeinden zur Bauleitplanung und Zulässigkeit von Vorhaben. vhw: Bonn, 536 S.
- FITGER, C. & MAHLER, B., 1996: Ökologische Vorrangflächen in der Bauleitplanung. 3. Aufl., Westarp Wissenschaften: Magdeburg, 142 S.
- FOKEN, T., 2003: Angewandte Meteorologie - Mikrometeorologische Methoden. Springer: Berlin, 289 S.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT in Baden-Württemberg, 1959: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Stuttgart und Umgebung M 1:50.000. Selbstverlag 184 S.
- GOHL, U., 2002: Der Nesenbach, Geheimnis unter Stuttgarts Straßen. Silberburg: Tübingen, 95 S.
- GRADMANN, R., 1956: Süddeutschland II - Die einzelnen Landschaften. 553 S.
- HACH, 2005: mündl. Mitteilung vom 24.03.05. Stadt Kaiserslautern, Stadtplanung, Flächennutzungspläne
- HÄCKEL, H., 1999: Meteorologie. 4. Aufl., Ulmer: Stuttgart, 448 S.
- HAGEL, J., 2001: Mensch und Natur im Stuttgarter Raum - Zur Geschichte einer schwierigen Beziehung. Silberburg: Tübingen, 272 S.
- HELBIG, A., et al., 1999: Stadtklima und Luftreinhaltung. 2. Aufl., Springer: Heidelberg, 467 S. und CD-Rom.
- HOFFMANN, U., 1995: Hochhäuser in Stuttgart - Untersuchungen zum Flächennutzungsplan 2005 (Prüfauftrag 2b). In: Stadtplanungsamt Stuttgart, Anlage 4: Stellungnahme zu

stadtklimatischen Gesichtspunkten. Amt für Umweltschutz im Auftrag des Referats Städtebau, 12 S.

HOPPMANN, K., 2005: Geplante Wohnbebauung Bopserwaldstraße/Am Reichelenberg. Beschlussentwurf der Bezirksbeiräte Mitte und Süd vom 24.01.2005, Haupt- und Personalamt Landeshauptstadt Stuttgart.

HORBERT, M., 2000: Klimatologische Aspekte der Stadt- und Landschaftsplanung. Schriftenreihe Landschaftsentwicklung und Umweltforschung Nr. 113, Fachbereich 7 Umwelt und Gesellschaft TU Berlin, Berlin, 330 S.

HUPFER, P. & KUTTLER, W.: Witterung und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 11. Aufl., Teubner.

INNENMINISTERIUM B.-W., 2004: Städtebauliche Klimafibel Online - Hinweise für die Bauleitplanung. Stadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Online in Internet: URL: <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/> (Stand Juli 2004).

IÖR - Leibnitz Institut für ökologische Raumentwicklung, 2005: Informelle Instrumente Stadtentwicklungskonzept. Online in Internet: URL: http://www.ioer.de/fr_publik_1.htm (Stand 15.04.05).

KALB, M. & SCHIRMER, H., 1992: Das Klima der Bundesrepublik Deutschland, Lieferung 4: Mittlere Nebelhäufigkeit und Nebelstruktur, Zeitraum: 1951-1980 und 1951-1960. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), Offenbach a. Main, 30 S.

KALUPA, 2005: mündl. Mitteilung vom 03.05.05. Stadt Ulm, Abteilung Umwelt- und Stadtplanung.

KOCH, A. & WAGNER, G., 1961: Raumbilder zur Erd- und Landschaftsgeschichte Südwestdeutschlands - Das Bild in Forschung und Lehre 3. Schmieden bei Stuttgart.

KÖHLER, 2005: mündl. Mitteilung vom 09.05.05. Stadtplanungsamt Freiburg, Projektgruppe integrierte Stadtentwicklung.

KOHLFINK, E., 2003: Verschattung im Gebiet Jägerhalde. Handschriftliche Kurzmitteilung an das Stadtplanungsamt.

KRESS, R., et al., 1979: Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Forschungsprojekt BMBau RS II 6, Schriftenreihe Raumordnung, Bundes-

ministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), Bonn, 116 S.

KRIEGER, 2005: mündl. Mitteilung vom 23.03.05. Landeshauptstadt Stuttgart, Stadtplanungsamt

KUTTLER, W. 1991: Zum klimatischen Potential urbaner Gewässer. In SCHUHMACHER H. & THIESMEIER B.: Urbane Gewässer. S. 378 - 394, Westarp Wissenschaften: Magdeburg, 526 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2004: Homepage des Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie. Online in Internet: URL: <http://www.stadtklima-stuttgart.de> (Stand: 01.05.05).

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2004a: Flächennutzungsplan 2010 Landeshauptstadt Stuttgart, Text und Erläuterungsbericht - Entwurf. Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, Abteilung Stadtentwicklung, 2. Aufl., Stuttgart, 209 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2004b: Amtlicher Stadtplan 2004 mit Beilage. Stadtmessungsamt, Stuttgart 2004, 63 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2004c: Gewässerbericht 2003. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart, Heft 2/2004, 50 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2004d: Stadtentwicklungskonzept, Entwurf 2004. Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, SR Beiträge zur Stadtentwicklung 35, 191 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2004e: Klimadaten der Messstation Stuttgart-Schwabenzentrum (Stuttgart-Mitte). Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie, 2004.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2003: Bürgerumfrage 2003. Statistisches Amt, Online in Internet: URL: http://www.stuttgart.de/sde/menu/frame/ns_top_11021.htm (Stand: 15.03.05).

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2001: Amtliches meteorologisches Gutachten zur klimatischen Situation im Planungsbereich des Projektes Stuttgart 21- Teil 1: Modellresultate für "Stuttgart 21". SR Untersuchungen zur Umwelt "Stuttgart 21", Heft 17, Amt für Umweltschutz Stuttgart, 25 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 1998: Anregungen zum 1. Entwurf des Flächennutzungsplans 2005 der Landeshauptstadt Stuttgart, März 1998.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 1996: Kaltluft- und Windfeldberechnungen für Stuttgart. SR Untersuchungen zur Umwelt "Stuttgart 21", Heft 1, Amt f. Umweltschutz Stuttgart, 82 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 1993: FNP 2010 - Überlegungen zum Flächennutzungsplan 2010. Stadtplanungsamt Stuttgart, 53 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 1984: Luftschadstoffe und Klima in Stuttgart-Feuerbach (August 1980 - September 1982), Chemisches Untersuchungsamt Abteilung Klimatologie, Nr. 7, 74 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 1967: Bauverbote an den Hängen der Kesselstadt - Auszug aus der Niederschrift über die Verhandlung des Technischen Ausschusses des Gemeinderats und Anlage 2 Unterrichtung der Arbeitsgruppen über klimatologische und lufthygienische Gesichtspunkte. Stuttgart, 5 S. und 4 S.

LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 1935: Ortsbausatzung für die Stadt Stuttgart - 1. Teil Allgemeine baurechtliche Bestimmungen. Stuttgart 30 S.

LENTZ, S., et al., 2003: Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland, Band 8 Klima, Pflanzen und Tierwelt. Leibnitz-Institut für Länderkunde e.V. (Hrsg.), elektronische Ausgabe, Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.

LfU Ba-Wü - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2004: Schutzgebietsverzeichnis Baden-Württemberg. Online in Internet: URL: <http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt2/schutzgebiete/> (Stand: 3.12.04).

LfU Bay - Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004: Klima und Immissionsschutz im Landschaftsplan, Planungshilfen für die Landschaftsplanung. SR Merkblätter zur Landschaftspflege und zum Naturschutz 3.7, Augsburg, 15 S.

LUDWIG, K. & MÖHRLE, H., 2005: Von Gärten, Gütle und Geld: Stuttgart. In: Garten + Landschaft 3/2005: S. 31-34.

MARKELIN, A. & MÜLLER, R., 1991: Stadtbaugeschichte Stuttgart. Stuttgart, 176 S.

MAYER, et al., 1994: Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. In: UVP-Report 5/94, S. 265-268.

MOSIMANN, T., et al., 1999: Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung - Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (Hrsg.), Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 4/99, Hildesheim, S. 201-276

MÜHR, B., 2004: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe. Online in Internet: URL: http://imkhp2.physik.uni-karlsruhe.de/~muehr/Precip/ndsalt_jahr.html (Stand: 10.04.05).

NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART, 1992: Klimaatlas - Untersuchungen für den Nachbarschaftsverband Stuttgart und angrenzende Teile der Region Stuttgart. Kartensammlung

NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART, 1981: Landschaftsplan Bereichsausschuss Stuttgart 1981. 279 S.

NatSchG, 1995: Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft (Naturschutzgesetz - NatSchG). Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Document Retrieval System, 113 S.

OSTERTAG, R., 2004: Das Wertvollste nicht verschleudern, Hanglage, Stadtblick: Stuttgart und das Risiko der Talbebauung (II). In: Stuttgarter Nachrichten 15.09.04. Online in Internet: URL:<http://www.stuttgarter-nachrichten.de/stn/> (Stand: 15.09.2004).

PESCHE, 2005: mündl. Mitteilung vom 24.03.05. Stadt Aachen, Umweltamt Abt. Immissionschutz.

PESCHEL, G., 1994: Merkblatt Klima und Lufthygiene in der UVP - Fachreihe: Klima und Lufthygiene innerhalb der UVP, Klimaschutz in der Stadt. In: UVP-Report 5/94, S. 272 - 275

PULS, 2005: Praxisorientierter Umgang mit Lärm in der räumlichen Planung und im Städtebau - Ein UBA Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Online in Internet: URL: <http://www.laermkontor.de/deutsch/PULS/index.html> (Stand: 05.05.05).

REINHOLD, M., 1998: Bewertung des Klimas in der Stadt- und Landschaftsplanung - Entwicklung von Planungsgrundsätzen und Bewertungsmaßstäben des Klimas für den Planungsprozess. Kassel, 215 S.

ROBEL, F., et al., 1978: Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot-Thermographie - Eine Wissenschaftliche Abhandlung zum Planungsfaktor Stadt- und Landschaftsklima. SR Beiträge zur Stadtentwicklung 15, Landeshauptstadt Stuttgart, 260 S.

SCHIRMER, H., 1996: Klimabewertung des Raumes als Abwägungsmaterial für die Landes- und Regionalplanung. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 68 S.

SCHIRMER, H., et al., 1993: Lufthygiene und Klima - Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, 507 S.

SCHNEIDER, H., 1995: Die Freiraumfunktion Klimaschutz - Ein Beitrag der Regionalplanung zur Sicherung und Verbesserung des Siedlungsklimas. Werkstattbericht Nr. 27, Hrsg. Kistenmacher H., Universität Kaiserslautern, Regional- und Landesplanung, 1995, 218 S.

SCHWARZER, 2005: mündl. Mitteilung vom 30.03.05. Stadt Trier, Stadtplanungsamt.

STADTSCHULDHEISSENAMT STUTTGART, 1901: Die Stuttgarter Stadterweiterung mit volkswirtschaftlichen, hygienischen und künstlerischen Gutachten. Stuttgart, 240 S.

STATISTISCHES LANDESAMT B.-W., 2004: Struktur- und Regionaldatenbank. Online in Internet: URL: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/> (Stand: 02.03.05).

STUCKENBROCK, 2005: Die städtebauliche Bedeutung der Hanglagen. Unveröffentl. Vortrag vom 21.03.05, Stadtplanungsamt Landeshauptstadt Stuttgart, 79 S.

SWR, 2002: Geomorphologie - Schichtstufen. Südwestrundfunk & PG Media, Online in Internet: URL: <http://www.wissen.swr.de/sf/begleit/bg0011/gm05.htm> (Stand: 16.10.04).

TESION, 2004: Panorama Versatel Süddeutschland Gebäude. Web-Cam auf dem Tesion-Gebäude Stuttgart, Online in Internet: URL: http://webcam.versatel.de/inhalt/panorama_index.html (Stand: 15.12.04).

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 2004: Langjährige Klima-Mittelwerte für Stuttgart Hohenheim 1971-2000. Institut für Physik 120, Universität Hohenheim (Hrsg.)

VORHOLZ, F., 2002: Ein Land aus Beton. In: Die Zeit Nr. 46, 7.11.02, S. 19-20.

WEVER, E., 1924: Das Stadtbild von Stuttgart - Ein siedlungsgeographischer Versuch. SR Stuttgarter geographische Studien, Heft 1, 88 S.

WHO - World Health Organisation, 2004: Heat-waves: risks and response. - Health and global environmental change series, No. 2, World Health Organisation Europe, 124 S.

WIKIPEDIA, 2004: Artikel Klima. Wikipedia die freie Enzyklopädie, Online in Internet: URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Klima> (Stand: 04.12.04).

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM B.-W., 1998: Städtebauliche Klimafibel - Hinweise für die Bauleitplanung. 271 S.

VERBAND REGION STUTTGART, 1998: Regionalplan 1998 Region Stuttgart. 283 S.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure, 2003: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5, Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, 85 S.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure, 2002: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9, Umweltmeteorologie - Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen (Entwurf). Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, 39 S.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure, 1998: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2, Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung Teil 1: Klima. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, 29 S.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure, 1997: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1, Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, 72 S.

VV - Verschönerungsverein der Stadt Stuttgart e. V., 1961: 100 Jahre Verschönerungsverein der Stadt Stuttgart 1861-1961. Selbstverlag: Stuttgart 48 S.

ZIMMERMANN, R., 1988: Zur Ermittlung und Bewertung des Klimas im Rahmen der Landschafts(rahmen)planung. SR Untersuchungen zur Landschaftsplanung, Bd. 14, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 137 S.

ZINSEL, R. 2005: Landschaftsplan und Strategische Umweltprüfung - Überschneidung, Abgrenzung, Anforderungen. Diplomarbeit Fachhochschule Weihenstephan, Freising.