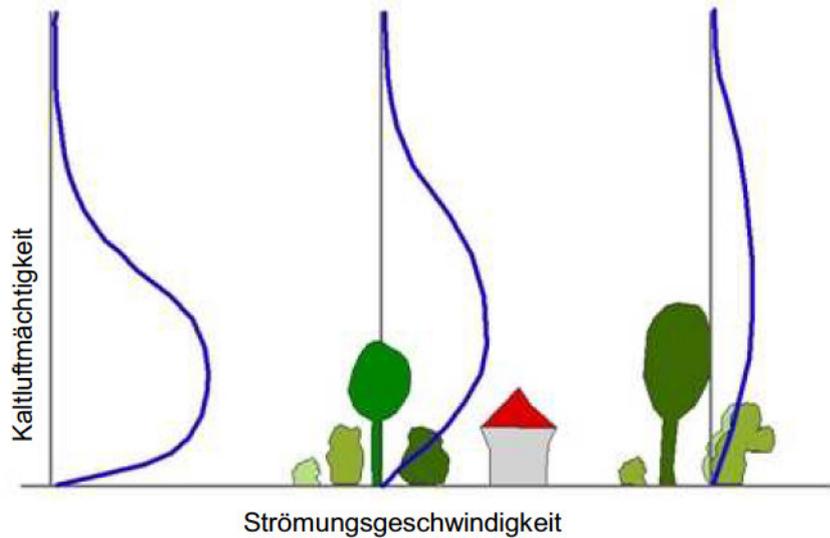


Station 4: Hinderniswirkung verschiedener Strukturen für die Kaltluftströmung (Gaggenau-Ottenau)

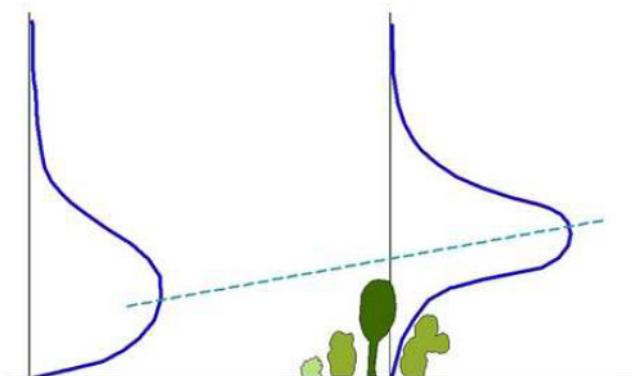


Station 4, Abb. I: Abnahme der Fließgeschwindigkeit nach Eintritt der Kaltluft in Siedlungs- und/oder Gehölzflächen

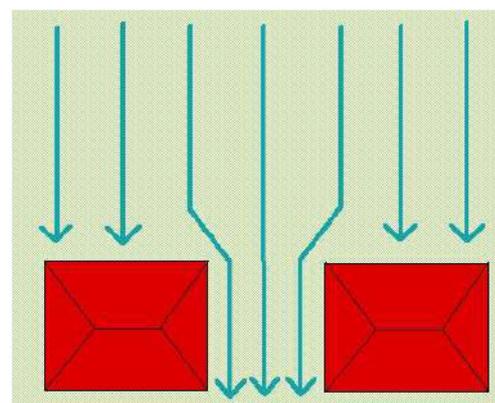
Hindernisse, die der abfließenden Kaltluft im Weg stehen, können die Kaltluftströmung verzögern oder zum Stillstand bringen (Station 4, Abb. I). Dazu gehören Bahn und Straßendämme sowie freistehende Industrie- und Gewerbebauten. Siedlungsränder und auch dichte Gehölze können ein Hindernis für den Kaltluftfluss darstellen. Austauschbarrieren verhindern bodennahe Luftaustauschprozesse. Sie verringern die klimaökologische Ausgleichsleistung von Kaltluftströmen, weil die Eindringtiefe in die Wirkungsräume abnimmt und zum Erliegen kommt.

Die Reichweite von Kaltluftabflüssen ist neben dem Auftreten von Hindernissen abhängig von der Größe des Einzugsgebietes, dem Anteil der Acker- und Wiesenflächen, der mittleren Hangneigung, der mittleren Hanglänge und der Rauigkeit der Talsohle, da hierüber die Nachlieferung der Menge an Kaltluft gesteuert wird.

Bei einem vollständigen Kaltluftstau kann es bei hinreichend starker Kaltluftströmung auch zu einem Überfließen des Strömungshindernisses kommen. Über niedrige Hindernisse fließt die Kaltluft ohnehin hinweg. (Station 4, Abb. II). Durch die Einengung des Fließquerschnittes beim Umströmen eines Hindernisses kann es zu Beschleunigungen im Fließverhalten kommen (Station 4, Abb. III).



Station 4, Abb. II: Hinwegfließen der Kaltluft über niedrige Hindernisse



Station 4, Abb. III: Beschleunigung im Fließverhalten der Kaltluft (Düseneffekt)

An der Station 4 (Ottenau) zeigt sich die Hinderniswirkung ausgedehnter Gewerbeflächen auf die oberflächennahe Kaltluftströmung innerhalb des Murgtals. Während die Strömungsdynamik in der Talmitte noch ausreichend hoch ist, um Teile der westlichen Gewerbefläche zu überströmen, geht die Strömungsgeschwindigkeit über der östlichen Teilfläche kleinräumig auf weniger als 0,2 m/s zurück. Weiter nördlich steigt durch weitere Hangabflüsse die Strömungsgeschwindigkeit wieder auf mehr als 0,2 m/s an. Die mit dem Bergwind einhergehende Intensität des Luftaustausches kann hier insgesamt als hoch eingestuft werden



↑ Strömungsrichtung der Kaltluft  
(> 0,2 m/s)

Station 4, Abb. III: Hinderniswirkung von Gewerbeflächen auf die Kaltluftströmung in Ottenau

### Planungshinweise

Planungsziel ist, in der Bebauungsstruktur die Durchlässigkeiten für Kaltluft zu erhöhen oder Hinderniswirkungen im Kaltluftabfluss aufzuheben. So ist zum Beispiel die Hinderniswirkung von Siedlungsrändern um so geringer, je lückenhafter die Bebauung ist und je höher der Grünflächenanteil. Auch der Verzicht auf eine Bebauung quer zur Fließrichtung ist aus dieser Sicht von Vorteil.

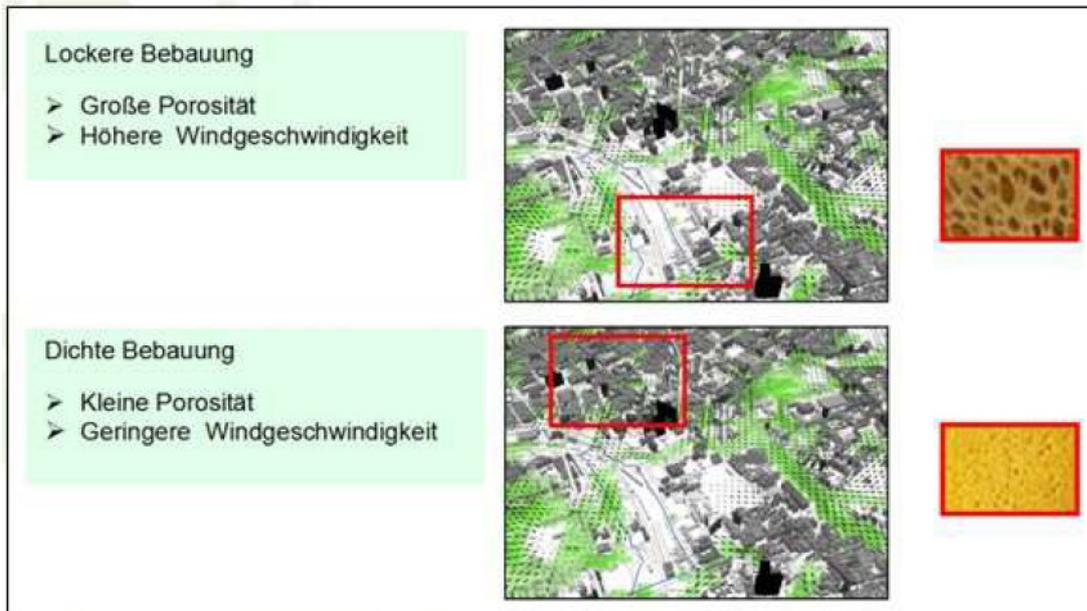
Hindernisse aus Büschen und Bäumen stellen nur geringe Hindernisse für die Kaltluftströmung dar, da sie durchströmt werden können.

Auf der Landschaftsebene können bei diesem Planungsziel kleinere Hindernisse, also kleinräumige Bebauungs- und Gehölzstrukturen mit Mindesthöhe von >2,5 m und einer Längserstreckung von > 50 m berücksichtigt werden. Auf der Landschaftsrahmenenebene sind die behandelten Hindernisse größer und somit wirksamer. Hier wird eine Mindesthöhe von > 4 m und eine Längserstreckung von > 200 m angesetzt. Bahndämmen und freistehende Gewerbebauten weisen solche Maße auf, sie stellen für den Kaltluftfluß große Hindernisse dar.

Ab einer Hangneigung von 6° kann davon ausgegangen werden, dass Hindernisstrukturen von der Kaltluft überflossen werden und sich so die Hinderniswirkung vermindert.

Günstig für die Kaltluftströmung sind größere zusammenhängende Grünflächen mit einer Mindestbreite von 50 m (s. Station 6 Leitbahnen).

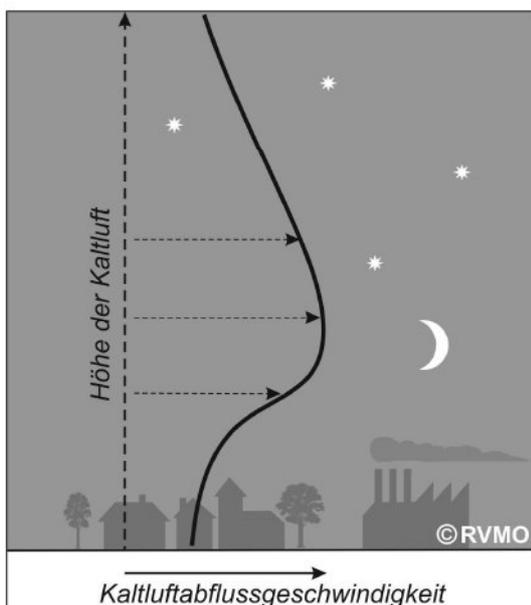
Station 5: Einwirkbereiche Kaltluft / Durchlüftung von Siedlungen (Rastatt)



Station 5, Abb. I: Unterschiedliche Durchströmbarkeit von Siedlungsflächen mit Kaltluft auf Grund unterschiedlicher Bebauungsdichte

Bebaute Flächen bilden ein Strömungshindernis für abfließende Kaltluft. Das Ausmaß der Hinderniswirkung ist abhängig von der Flächenausdehnung der Bebauung, der Gebäudeanordnung, der Gebäudehöhe und der Bebauungsdichte (Richtlinie VDI 3787, Blatt 5).

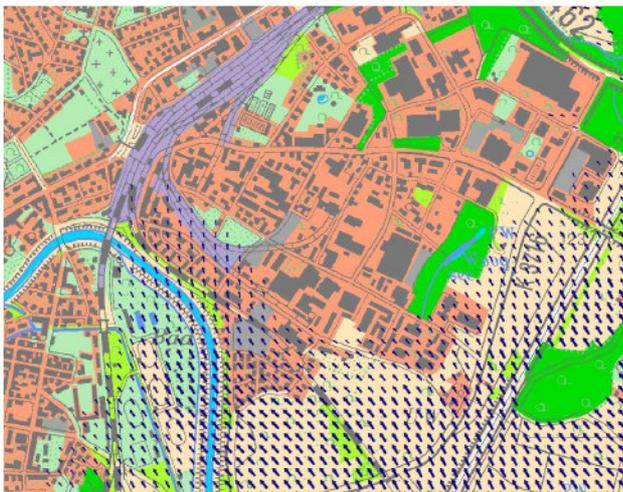
Für die Eindringtiefe der Kaltluftströmung in den potenziellen Wirkungsraum (=Siedlungsraum) ist neben der Mächtigkeit und der Geschwindigkeit der Kaltluft die Struktur des Siedlungsrandes (also des Übergangsbereichs von der Freifläche zum Siedlungskörper) von entscheidender Bedeutung. Lockere und wenig hohe Bebauungsstrukturen mit einem hohen Grünflächenanteil begünstigen eine weitreichende Strömung der Kaltluft in das Siedlungsgebiet hinein und können somit als gut durchlüftet gelten. Hingegen bewirkt eine enge und hohe Bebauungsstruktur mit wenig Grünflächenanteil ein Abschwächen der Kaltluft. Die Strömungsgeschwindigkeit wird hier durch die dichte Bebauung abgebremst und die vormals kältere Luft



erwärmt sich schneller durch das höhere Temperaturniveau in den bebauten Bereichen. Hierdurch wird der Kaltluftstrom ebenfalls abgeschwächt und kommt zum Erliegen.

Station 5, Abb. II: Schematische Darstellung eines vertikalen Kaltluftwindprofils im Bereich von bebauung

Der Raum Rastatt liegt im Übergangsbereich zwischen den eher windschwachen Verhältnissen des Rheintals und den durch Kaltluftabflüsse gekennzeichneten Bergland. Der östliche Bereich von Rastatt wird randlich noch von der aus dem Murgtal austretenden Kaltluft erreicht, so dass die vorgelagerten dörflich geprägten Ortsteile im Umfeld der Autobahn 5 noch größtenteils von Kaltluft durchdrungen werden. Die Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft nimmt aber stetig ab, so dass die Eindringtiefe der Kaltluft in Rastatt selbst zwischen 200 m und 500 m im Bereich der Murgniederung beträgt. An dieser Stelle kann die Abkühlung des Siedlungsraumes unter dem Eintritt von Kaltluft bis zu 3 K betragen. Das Temperaturniveau der Kaltluft gleicht sich nach und nach dem Temperaturniveau der Bebauung an, der Strömungsantrieb durch den fehlenden Temperaturunterschied geht verloren.



↑ Strömungsrichtung der Kaltluft  
(> 0,2 m/s)



Station 5, Abb.II: Eindringtiefe der Kaltluftströmung im östlichen Bereich von Rastatt

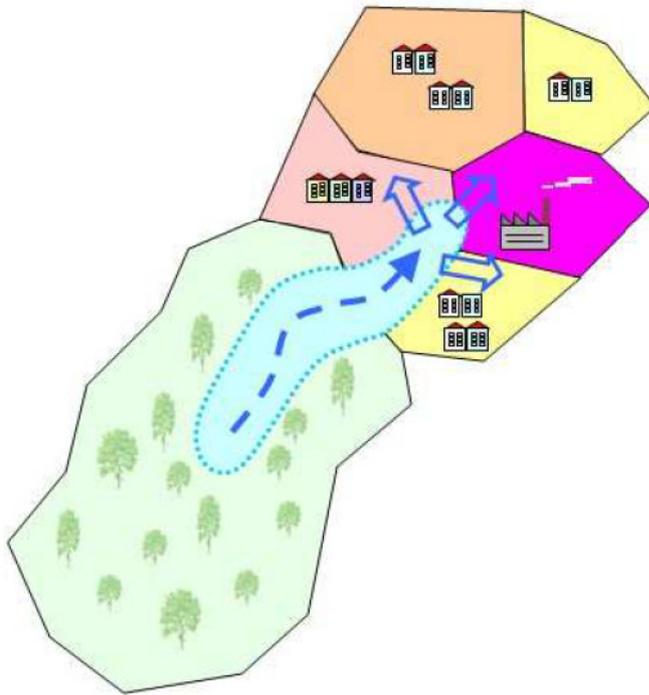
### Planungshinweise

Um ein möglichst tiefes Eindringen der Kaltluft in den Baukörper zu ermöglichen, sollten strömungsoffene Strukturen in den Übergangsbereichen entwickelt werden. Als Richtwert für einen klimaökologisch optimierten Übergangsbereich von der Leitbahn kann ein nicht bebauter Anteil von 50 % in den randlich gelegenen Siedlungsstrukturen verwendet werden (MOSIMANN 1999, GEO-NET 2000).

Rauhigkeitsarme linienhafte Strukturen wie Flussauen, Grünflächen, Straßen, Bahntrassen in Fortsetzung der Leitbahn können dabei als Leitlinien für das Eindringen der Kaltluftströmung dienen.

Auf regionaler Ebene kann die Eindringtiefe der Kaltluft in Bebauungsstrukturen ein Hinweis auf die Bedeutung der Kaltluftströmung sein.

## Station 6: Leitbahnen (Rastatt)



Station 6, Abb. I: Schematische Darstellung einer Kaltluftleitbahn

Befindet sich eine kaltluftproduzierende Fläche (z. B. ein Acker oder eine Wiese) direkt neben einem Siedlungsraum, kann die Kaltluft flächenhaft von hier direkt in den Wirkungsraum strömen. In manchen Fällen wird die Kaltluftströmung durch vorhandene landschaftliche Elemente oder Baustrukturen gebündelt und eine Leitbahn entsteht. Im klimaökologischen Sinne stellt eine Leitbahn eine Verbindungslinie zwischen einem Wirkungsraum (= Raum mit bioklimatischer oder lufthygienischer Belastung) und einem Ausgleichsraum (= Raum mit Kalt- und Frischluft produzierenden Flächen) dar. Leitbahnen können ungehindert größere Luftmassen transportieren. Daher müssen Leitbahnen bestimmte Eigenschaften aufweisen:

- lineare Ausrichtung auf den Wirkungsraum
- eine geringe Oberflächenrauigkeit
- eine Mindestbreite 100 – 200 m, mit einer rauigkeitsarmen Flächenbreite von 50 m im Kernbereich
- keine Austauschhindernisse

Je nach ihrer Ausprägung bestimmen diese Eigenschaften, wie effektiv eine Ausgleichsleistung erbracht werden kann.

### **Unterschied zwischen Kaltluftleitbahn und Frischluftleitbahn:**

Liegt im Leitbahngebiet eine Quelle lufthygienischer Belastung vor (z.B. durch Einzelemittenten aus Industrie / Gewerbe oder auch Landwirtschaft, durch stark befahrene Straßen), muss zwischen unbelasteten Frischluftleitbahnen und vorbelasteten Kaltluftleitbahnen unterschieden werden.

Am Beispiel Rastatt werden Kaltluftleitbahnen aufgezeigt, wobei vor allem der Murgniederung eine wichtige Rolle als Kaltluftleitbahn zukommt, da sie zum einen eine Tiefenlinie darstellt und durch fehlenden Gehölzbewuchs eine geringe Oberflächenrauigkeit aufweist. Sie führt die von Südosten einströmende Kaltluft etwa bis in Höhe des Bahnhofs in den Stadtkörper hinein (A).

Darüber hinaus wird auf der Freifläche östlich der Daimler-Werke Kaltluft produziert, die in den Siedlungsrand flächenhaft kleinräumig hineinströmt (B).



Station 6, Abb. II: Die Murgniederung als Kaltluftleitbahn in Rastatt

### Planungshinweise

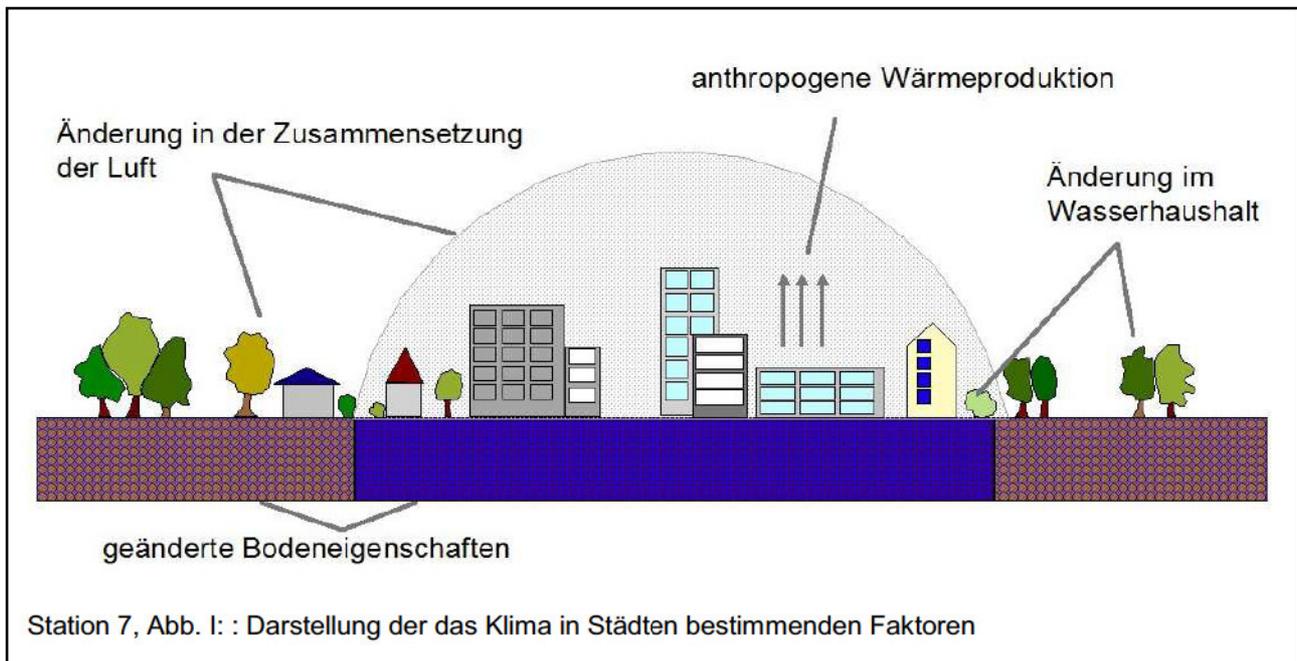
Um Flächen mit Leitbahnfunktion in der Landschaftsrahmenplanung oder der Landschaftsplanung berücksichtigen zu können, muss im Rahmen einer Klimaanalyse ihr jeweiliges Ausgleichspotenzial erfasst und bewertet werden. Ein wichtiges Kriterium hierzu ist ihr Vermögen, möglichst große Luftmassen ungehindert zu transportieren (Rauigkeitsarmut, keine querenden Hindernisse). Zusätzlich muss im Vorfeld geklärt sein, ob eine lufthygienische Belastung im Frischluftliefergebiet besteht.

Lineare Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft heranführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Dabei können rauigkeitsarme linienhafte Strukturen wie Flussauen, Grünflächen, Straßen, Bahntrassen in Fortsetzung der Leitbahn dabei als Leitlinien für das Eindringen der Kaltluftströmung dienen.

Leitbahnen sollten möglichst frei von Bebauung gehalten werden, die den Luftaustausch behindern könnte, oder die Bebauung sollte parallel zur Luftströmung angelegt werden. Quellen von Luftschadstoffen sollten vermieden werden

Für die Eindringtiefe der Kaltluftströmung in den potentiellen Wirkungsraum ist neben dem Volumenstrom die Struktur des Übergangsbereichs Leitbahn – Bebauungsrand des Siedlungskörpers von entscheidender Bedeutung. Um ein möglichst tiefes Eindringen der Kaltluft in den Baukörper zu ermöglichen, sollten strömungsoffene Strukturen in den Übergangsbereichen entwickelt werden. Als Richtwert für einen klimaökologisch optimierten Übergangsbereich von der Leitbahn kann ein nicht bebauter Anteil von 50 % in den randlich gelegenen Siedlungsstrukturen angesehen werden (MOSIMANN 1999, GEO-NET 2000). Innerhalb der Leitbahnen sollte der Grün- und Freiflächenanteil erhalten werden. Zudem sollten die Bauhöhen möglichst gering ausgeprägt sein und Neubauten parallel zur Kaltluftströmung ausgerichtet werden.

### Station 7: Bioklimatische Belastung im Siedlungsraum (Rastatt)

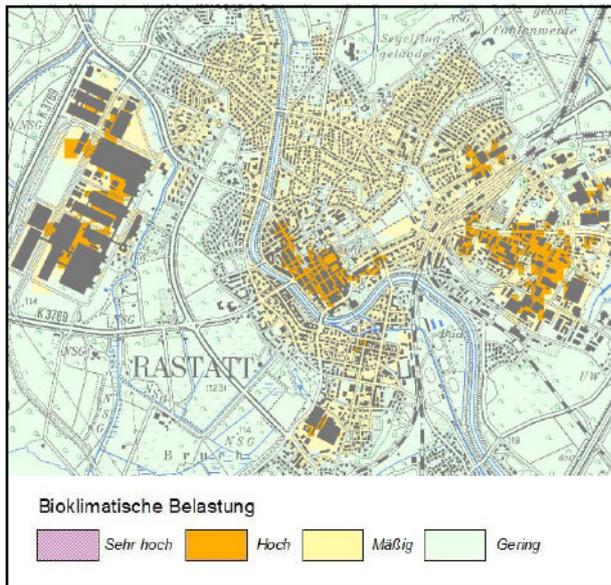


Besonders auffällig ist unter klimaökologischen Gesichtspunkten das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland veränderten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen. Hierzu gehören

- die erhöhte Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit der Boden- und Oberflächeneigenschaften
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorfluter
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligeren Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischer Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion

Diese in Städten vorherrschenden thermischen Bedingungen führen beim Menschen zu einer erhöhten bioklimatischen Belastung, die sich besonders bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen in Wärmebelastung und Hitzestress äussern kann (s. Kap. 3.1 PMV-Wert).

Die bioklimatische Situation wird vor allem über die Parameter Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft, Lufttemperatur und relative Feuchte gesteuert. Eine überdurchschnittlich hohe Wärmebelastung ist in Rastatt vor allem im Bereich der gewerblich genutzten Bebauung sowie kleinräumig auch innerhalb der dichteren Wohnbebauung der Innenstadt zu beobachten. Die sehr hohe Belastungsstufe (magentafarben) ist im Untersuchungsraum lediglich in Karlsruhe anzutreffen. In den übrigen Siedlungsräumen von Rastatt liegt bei mangelndem Luftaustausch eine mäßige Belastung vor, die innerhalb der gut durchlüfteten Flächen mit wirksamer Kaltluftströmung wieder auf ein geringes Maß zurückgeht. Im Bereich des Berglands ist das bioklimatische Belastungsniveau insgesamt als eher gering anzusehen und geht selten über ein mäßiges Niveau hinaus.



Station 3, Abb. II: Bioklimatische Situation in Rastatt

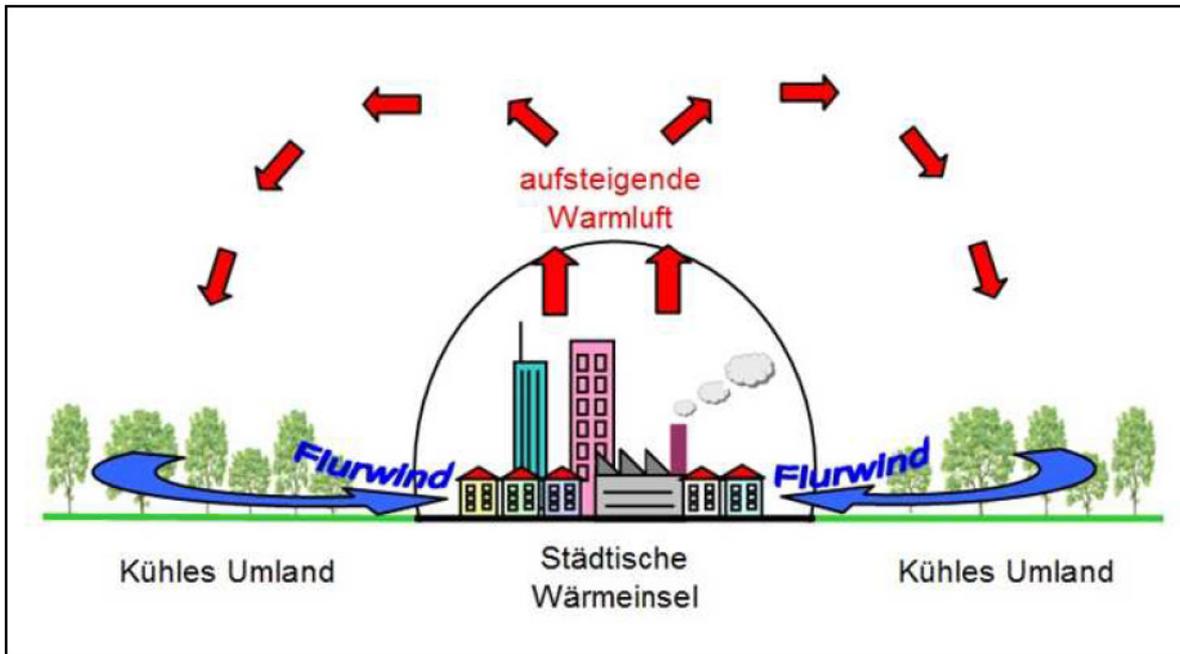
### Planungshinweise:

Bereiche mit möglichen bioklimatischen Belastungen können über die Überwärmung von Siedlungsräumen während austauscharmer Strahlungswetterlagen ermittelt werden. In der Landschaftsplanung und der Bauplanung müssen Freiflächen zur Kaltluftentstehung erhalten werden. In städtisch geprägten Siedlungsräumen wie z.B. Rastatt haben auch kleinere Grünflächen aus klimaökologischer Sicht eine hohe Bedeutung. Ihre Wirkung kann in der nächtlichen Produktion von kühlerer Luft bestehen, aber auch in einem tagsüber stattfindenden Temperatursgleich durch Schattenwurf und erhöhter Verdunstung. Die Leitbahnstrukturen zum Luftaustausch für eine gute Durchlüftung im Siedlungsraum müssen durch Freihalten von Bebauung erhalten und geschützt werden. Eine allgemeine Erhöhung des Vegetationsanteils, z.B. durch Entsiegelung und zunehmende Begrünung von Innenhöfen (auch von Hausfassaden) ist generell vorteilhaft für ein ausgeglichenes Klima.

Die gering bis mäßig belasteten Siedlungsflächen weisen am ehesten ein Potenzial zur weiteren maßvollen, baulichen Verdichtung auf. Allerdings sollte bei nutzungsintensivierenden Eingriffen die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden. Neubauten sollten parallel zur Kaltluftströmung ausgerichtet werden und die Bauhöhen möglichst gering gehalten werden. Zudem sollte der Grün- und Freiflächenanteil erhalten bleiben.

Die bioklimatisch hoch und sehr hoch belasteten Areale haben einen Durchlüftungsmangel, eine überdurchschnittliche Wärmebelastung und weisen daher gegenüber einer weiteren Verdichtung eine hohe bzw. die höchste Empfindlichkeit auf. In diesen Flächen sollte die Durchlüftung verbessert und der Vegetationsanteil erhöht werden. Zugleich sollte der Versiegelungsgrad herabgesetzt und Emissionen vermieden werden.

Station 8: Flurwinde (Karlsruhe / Alter Flugplatz)



Station 8, Abb. I: Schematische Darstellung Flurwind

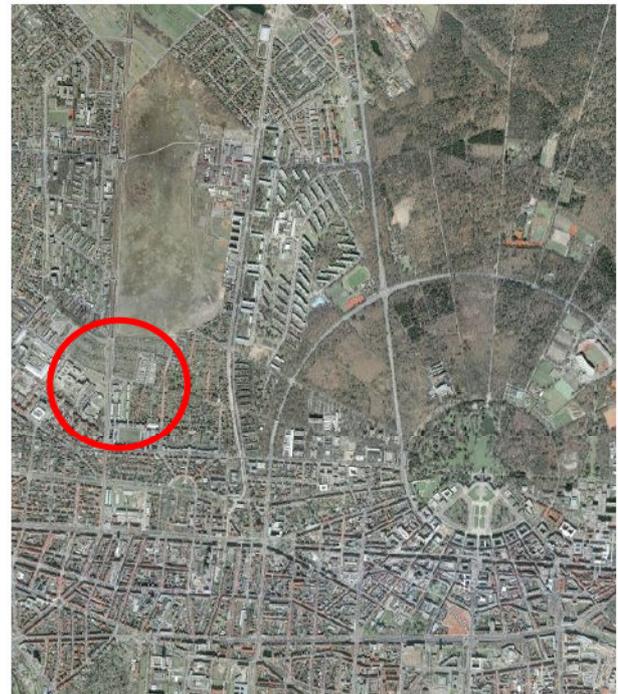
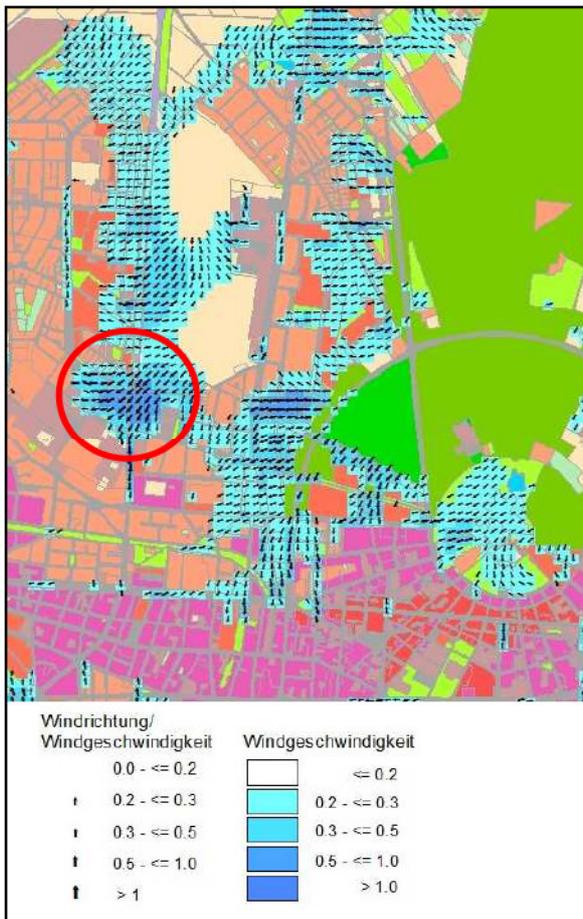
Die variable Lufttemperaturverteilung, die sich bei austauscharmen Wetterlagen (also bei „ruhigem“ Strahlungswetter) einstellt, bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Eine wichtige nächtliche Luftströmung dieser Art sind die als direkte Ausgleichsströmungen vom hohen zum tiefen Luftdruck entstehenden Flurwinde.

Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (u.a. KIESE et al. 1992). Während also über dem warmen Stadtkörper die Luft aufsteigt, strömt bodennah die Kaltluft als Flurwind in die Bebauung hinein und kann dabei die sommerliche Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern.

Den Einfluss der Flurwinde, bzw. der einströmenden Kaltluft in eine Siedlungsfläche lässt sich anhand von Bereiche charakterisieren, die eine geringere Temperatur aufweisen, als es für die jeweilige Struktur charakteristisch ist. Auf diese Weise lässt sich die Reichweite der Flurwinde / der Kaltluft in die Bebauung hinein lokalisieren.

Im Unterschied zu den Kaltluftabflüssen des Berglands werden die Flurwinde allein durch den Temperaturunterschied „angetrieben“ und sind daher nicht so stark ausgeprägt. Die Flurwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können.

Der in Sommernächten kleinräumig einsetzende Luftaustausch zwischen überwärmten Siedlungsflächen und städtischen Grünflächen lässt sich gut am Beispiel Alter Flugplatz in Karlsruhe nachvollziehen. Dabei handelt es sich um eine etwa 70 ha große Fläche, welche extensiv bewirtschaftet wird und durch sandige, und trockene Standortbedingungen gekennzeichnet ist. Der Temperaturunterschied zur Innenstadt beträgt in der zweiten Nachthälfte etwa 7 K. Die Fläche ist mit 70 ha groß genug, um einen lokalen Flurwind auszubilden (blaue Farbe). Die Geschwindigkeit der vom Alten Flugplatz ausgehenden Flurwinde ist in Höhe der Franz-Lust-Straße (roter Kreis) mit bis zu 0,7 m/s am stärksten ausgeprägt, wobei die „Reichweite“ der Kaltluftströmung ca. 300 m beträgt und durch vorgelagerte Kleingartenareale begünstigt wird. Verglichen mit den anderen im Rheintal auftretenden Flurwindsystemen ist die Intensität des Luftaustausches hier als hoch anzusehen. Je nach Intensität kann die Abkühlungsrate bei Eintritt der Kaltluft in die überwärmte Siedlungsstruktur 2 bis 4 K betragen.



### Planungshinweise

Die Planungshinweise zielen ab auf die Erhaltung und Verbesserung des Luftaustausches von Grünflächen mit den angrenzenden Siedlungsräumen. Dabei steht die Entwicklung möglichst gut von Kaltluft durchströmbarer Siedlungsränder im Vordergrund. Die Bauhöhen sollten gering gehalten werden und Neubauten parallel zur Strömungsrichtung orientiert sein. Die Kaltluft produzierenden Flächen sollten von weiterer Bebauung und Emissionen frei gehalten werden

## 5 Allgemeines zu den Planungshinweisen Klimaökologie in der Region Mittlerer Oberrhein / Nordschwarzwald

Die Planungshinweiskarte stellt eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalyse der Regionen Mittlerer Oberrhein und Nordschwarzwald dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange dar. Ziel der Planungshinweiskarte ist es, Bereiche in diesem Untersuchungsraum nach ihren unterschiedlichen klimatischen Funktionen einzuteilen, d.h. ihre Wirkung auf andere Räume abzugrenzen und die Empfindlichkeit dieser Funktion gegenüber strukturellen Veränderungen zu bewerten. Auf dieser Grundlage ergeben sich

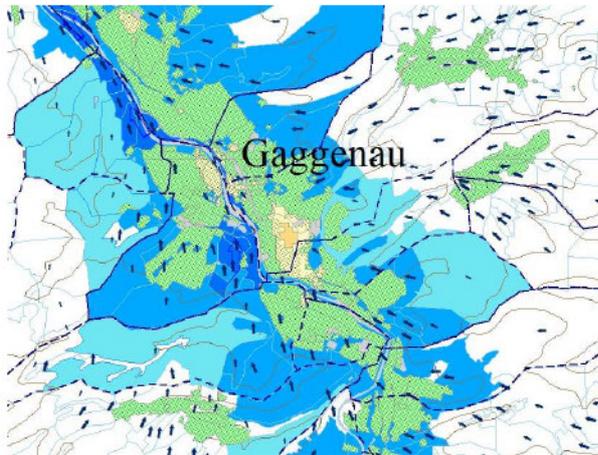


Abb. 10: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte

Maßnahmen zum Erhalt bzw. zur Verbesserung der klimatischen Situation. Aus der Planungshinweiskarte lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung der klimaökologischen Situation ableiten. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele zur **Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klimaökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen** (Mosimann et al. 1999). Die zugeordneten Planungshinweise geben Auskunft über die Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen, aus denen sich klimatisch begründete Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der räumlichen Planung ableiten lassen. Sie sollen darüber hinaus helfen, die im Kontext der Anpassung an den Klimawandel

notwendigen planerischen Festlegungen zu treffen. Im Folgenden wird auf die planerische Einordnung der klimaökologisch relevanten Elemente eingegangen.

Dabei ist zu beachten, dass im Rahmen der Regionalplanung vorrangig Einfluss auf Frei/Grünflächenentwicklung im Außenbereich genommen werden kann. Aussagen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation in den Siedlungsräumen können letztlich nur empfehlenden Charakter für die Flächennutzungs- und Bauleitplanung im Innenbereich haben.

### 5.1 Planerische Einordnung der Siedlungsflächen

Die Siedlungsräume zeichnen sich durch eine unterschiedliche Bebauungsdichte aus. Daraus resultieren unterschiedliche bioklimatische Bedingungen, die während sommerlicher, austauscharmer Strahlungswetterlagen durch lokale Luftaustauschprozesse mitbestimmt werden. Daraus folgt auch eine differenzierte planerische Betrachtung der Siedlungs- und Grünstrukturen.

Eine Wohnbebauung, welche günstige bioklimatische Bedingungen aufweist, ist meist durch eine offene Bauungsstruktur, einen überdurchschnittlich hohen Grünflächenanteil sowie eine wirksame Kaltluftströmung gekennzeichnet.

Diese Räume weisen am ehesten ein Potenzial zur weiteren maßvollen, baulichen Verdichtung auf, da sie lediglich mäßig bzw. gering belastet sind. In diesem Zusammenhang sollten die folgenden planerischen Aspekte berücksichtigt werden:

- Bei nutzungsintensivierenden Eingriffen die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigen. Daher Neubauten parallel zur Kaltluftströmung ausrichten.
- Bauhöhen möglichst gering halten.

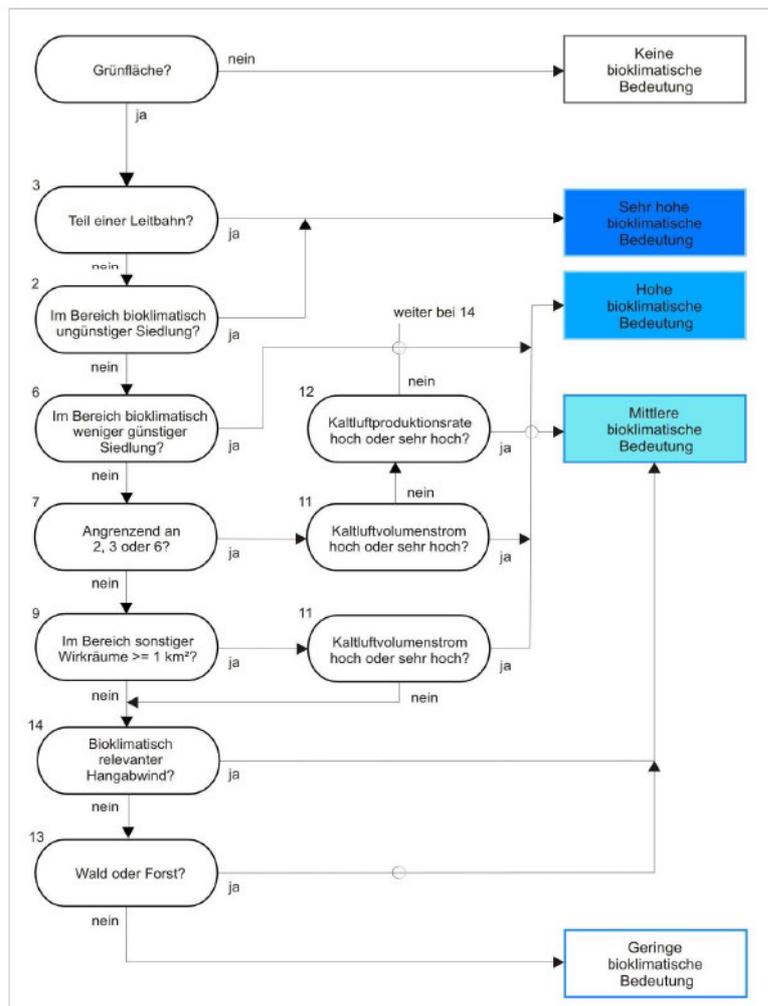
- Grün- und Freiflächenanteil erhalten.

**Belastungsbereiche** mit einer hohen bzw. sehr hohen Belastung weisen einen Durchlüftungsmangel, eine überdurchschnittliche Wärmebelastung und möglicherweise auch eine lufthygienische Belastung auf. Für diese Gebiete können die folgenden Empfehlungen gegeben werden:

- Verbesserung der Durchlüftung und Erhöhung des Vegetationsanteils
- Erhalt aller Freiflächen
- Reduzierung/Vermeidung von Emissionen
- Herabsetzung des Versiegelungsgrades

Diese Bereiche weisen daher gegenüber einer weiteren Verdichtung eine **hohe** bzw. **sehr hohe Empfindlichkeit** auf.

## 5.2 Planerische Einordnung der Grünflächen



Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grünflächen<sup>1</sup> im Hinblick auf planungsrelevante Belange bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum - Ausgleichraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann.

Die nach dem in Abb. 11 dargestellten Verfahren ermittelte bioklimatische Bedeutung der Freiräume basiert zum einem auf ihrer Lage in Bezug zu bioklimatisch belasteten Siedlungsstrukturen, zum anderen auf der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter, d.h. im Wesentlichen auf ihrem Kaltluftliefervermögen. Diese Unterscheidung wurde getroffen, weil die flächeninternen Klimaparameter nicht in allen Bereichen gleichermaßen

Abb. 11: Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen

<sup>1</sup> Als „Grünfläche“ werden hier unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung all jene Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal etwa 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.

aussagekräftig sind. So kann eine Grünfläche trotz relativ geringem Kaltluftliefervermögen in einem ansonsten stark überbauten Umfeld signifikant zur Verminderung der dort auftretenden hohen Belastungen beitragen. Aus diesem Grund wurden Freiräume im direkten Umfeld von Siedlungsbereichen mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen generell eine hohe bioklimatische Bedeutung zugesprochen.

## 6 Klimawandel in der Region Mittlerer Oberrhein / Nordschwarzwald

### 6.1 Grundlegendes zum Klimawandel in der Region Mittlerer Oberrhein / Nordschwarzwald

Im 4. Sachstandsbericht des IPCC 2007 über Klimaänderungen wird der aktuelle wissenschaftliche Kenntnisstand zusammengefasst. Danach ist davon auszugehen, dass sich die globale Mitteltemperatur bis zum Jahre 2100 um etwas 2 bis 4 K verändern wird. Damit einher gehen auch eine Zunahme von extremen Wetterereignissen sowie eine Veränderung in der Intensität und zeitlichen Struktur von Niederschlägen. Hier soll zunächst verdeutlicht werden, in welcher Form sich der thermische Wirkungskomplex auf die klimaökologische Situation im Untersuchungsgebiet auswirkt.

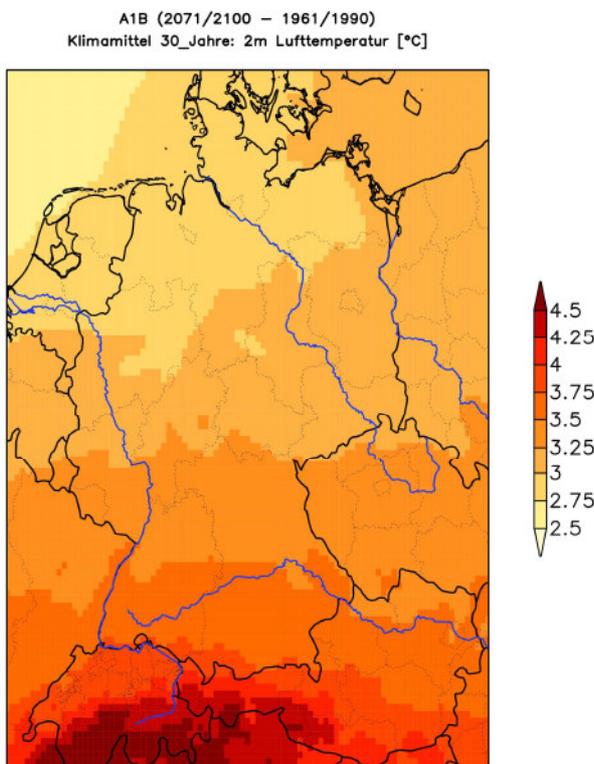


Abb. 12 Regionalisierung Klimawandel: Veränderung der Jahresmitteltemperatur in Deutschland im Zeitraum 2071/2100 gegenüber dem Zeitraum 1961/1990. Quelle: Regionales Klimamodell für Deutschland (REMO). Max-Planck-Institut für Klimaforschung HH (2007); CO<sub>2</sub>-Szenario A1B; Auflösung 10 km x 10 km

In Abbildung 12 wird das Ausmaß des globalen Temperaturanstieges für Deutschland aufgezeigt. In der Region Mittlerer Oberrhein / Nordschwarzwald ist demnach eine Temperaturzunahme von ca. 3,5 –4,0 K zu erwarten. Insbesondere im Bereich des Oberrheins kann im nationalen Maßstab mit einer überdurchschnittlichen Temperaturzunahme gerechnet werden. Gegenüber Norddeutschland ist hier eine etwa doppelt so hohe Temperaturzunahme wahrscheinlich. Damit sind negative Auswirkungen in unterschiedlichen Handlungsfeldern verbunden. Für das Themenfeld Stadtplanung lassen sich zum Beispiel folgende Wirkzusammenhänge aufzeigen:

- „Urban heat“, Hitzestreß und deren negative gesundheitliche Folgen (vgl. Extrem-Sommer 2003)
- Verschlechterung der Kaltluftproduktionsbedingungen (und damit der eigenbürtigen Luftaustauschprozesse, wie Flurwind etc.) durch weniger pflanzenverfügbares Wasser im Sommerhalbjahr. Rückkopplung zur Luftbelastungssituation.
- Verschlechterung der Lufthygienischen Situation: Gefahr des Sommersmogs (Verschärfung der Ozonproblematik)
- Erhöhter Bedarf an Gebäudekühlung und damit Anstieg des Energieverbrauchs in Siedlungsräumen.

Neben dem regionalen Klimamodell REMO stehen verschiedene weitere regionale Klimamodelle für Deutschland zur Verfügung. Eines davon ist das Climate Limited-area Model (CLM), welches auf einer Weiterentwicklung eines Wettervorhersagemodells auf einem Satz physikalischer Gleichungen beruht, die auch den Globalmodellen zugrunde gelegt sind. Für die Region Mittlerer Oberrhein / Region Nordschwarzwald wurde CLM angewendet. Modelliert wurde das SRES-Szenario A1B in einer Auflösung von 18 x 18 km für zwei repräsentative Punkte im Untersuchungsgebiet (Abb. 13). Diese befinden sich in der Rheintalebene und in einer Höhe von ca. 850 m ü. NN im Schwarzwald.

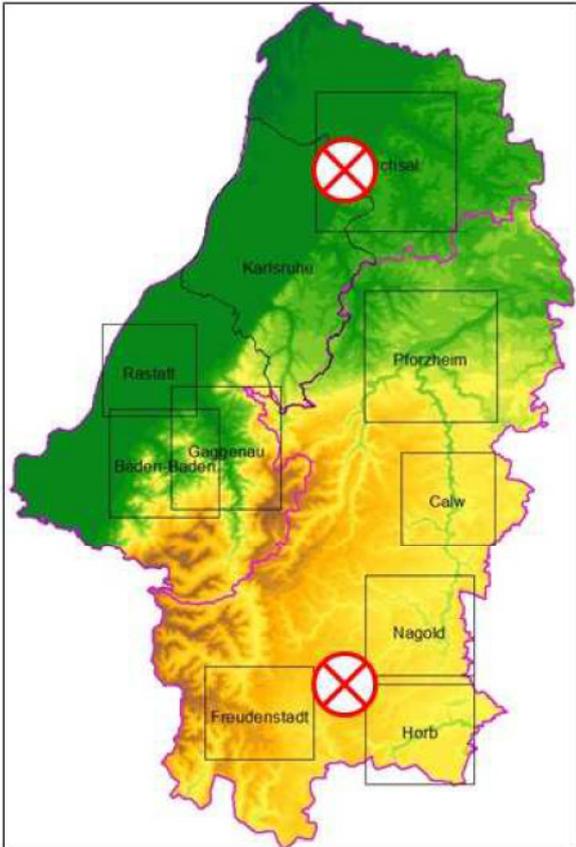


Abb. 13: Lage der beiden repräsentativen Punkte für das Untersuchungsgebiet

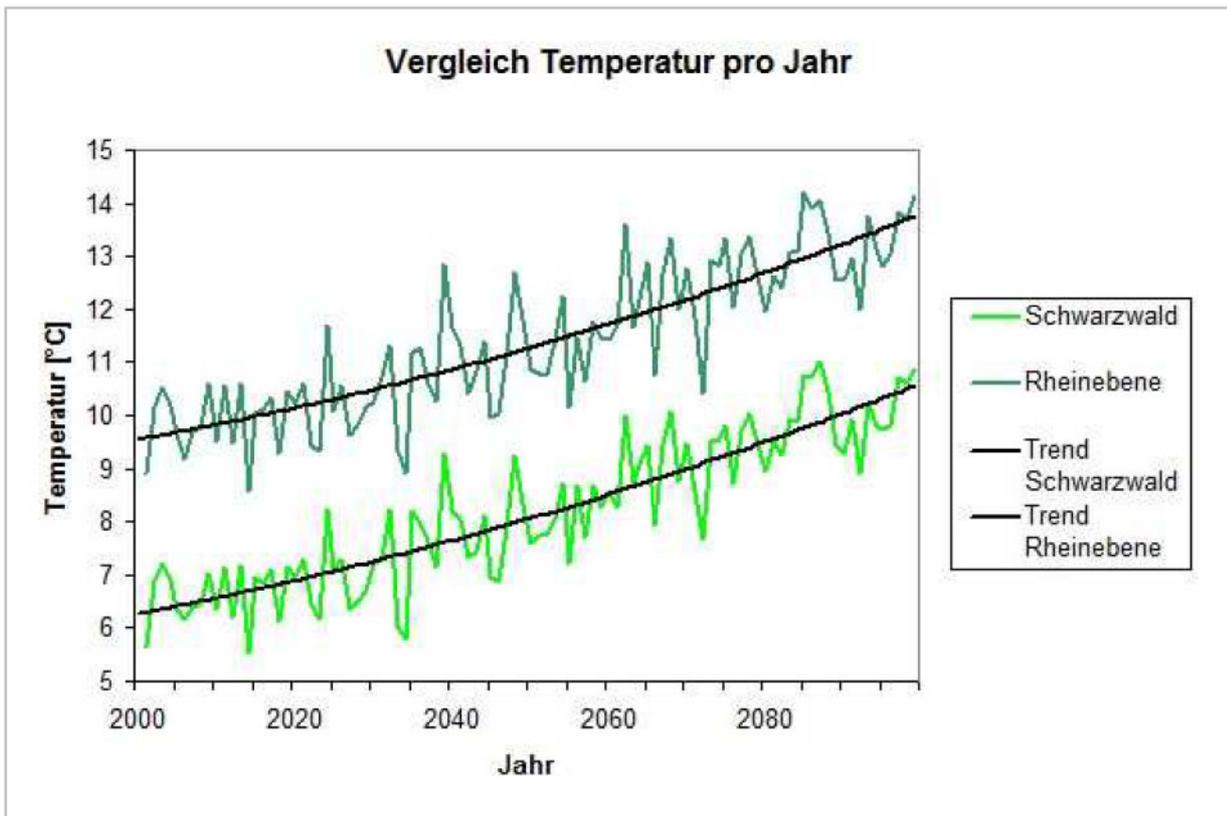


Abb. 14: CLM Modellierung der Temperaturentwicklung bis zum Jahr 2100 im Vergleich Rheinebene / Schwarzwald

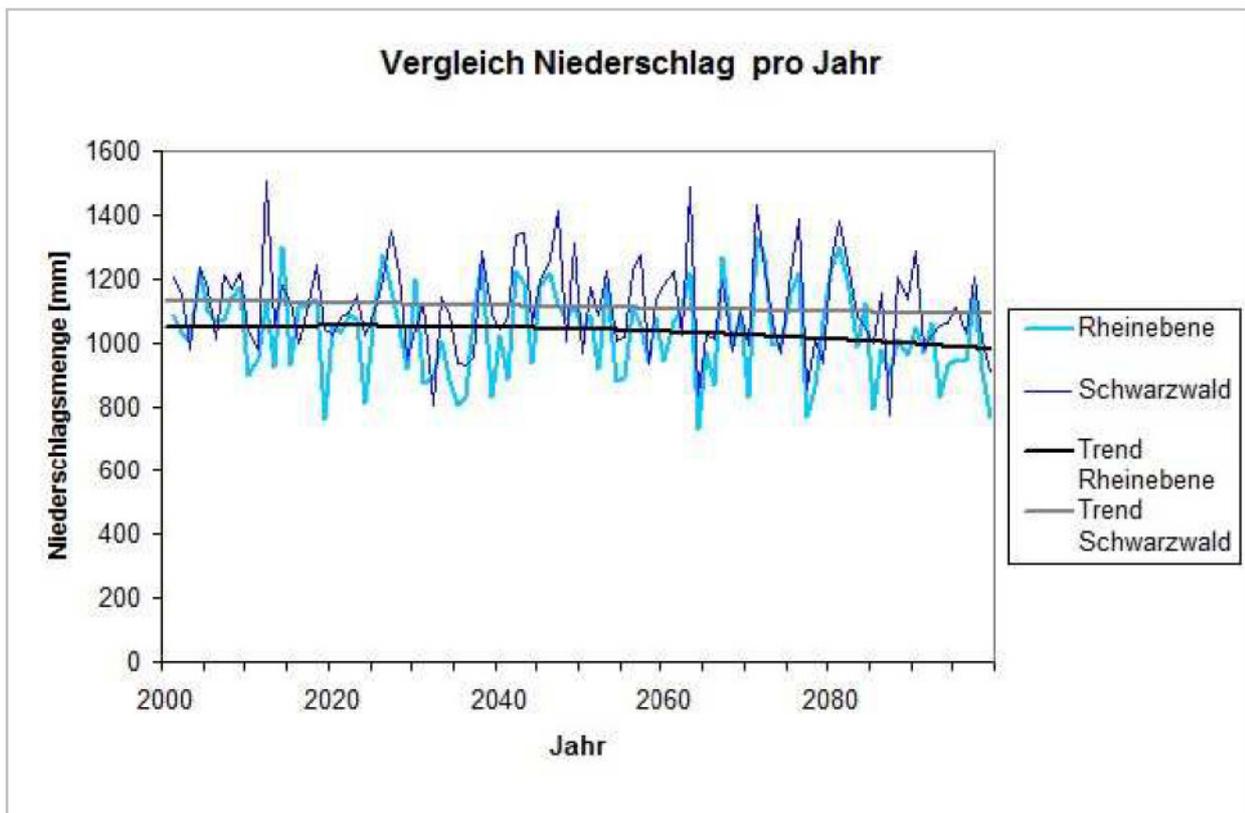


Abb. 15: CLM Modellierung Niederschlagsentwicklung bis zum Jahr 2100 im Vergleich Rheinebene / Schwarzwald

Wenn man die Temperaturveränderung in den beiden Planungsregionen betrachtet (Abb. 14), fällt auf, dass die relative Zunahme der Jahresmitteltemperatur in beiden Regionen parallel verläuft. In beiden Gebieten steigt die Jahresmitteltemperatur um ca. 3,4°C bis zum Ende des Jahrhunderts an. Der Temperaturanstieg verläuft dabei bis ca. Mitte des Jahrhunderts relativ moderat; ab ca. 2050 wird die Erwärmung deutlich stärker ausfallen. Die Höhenlage des Schwarzwaldes mit der damit einhergehenden weniger starken Temperaturentwicklung wirkt sich also weiterhin günstig aus.

Dabei wird sich die Wärmebelastung im Rheintal auf einem deutlich höheren Niveau als im Nordschwarzwald entwickeln. Begünstigt durch die Höhenlage wird die thermische Belastung im Bereich des Schwarzwaldes deutlich niedriger ausfallen als im Rheintal. Erst in der Dekade 2080-2090 wird im Nordschwarzwald das Temperaturniveau erreicht, das schon heute in der Rheinebene herrscht.

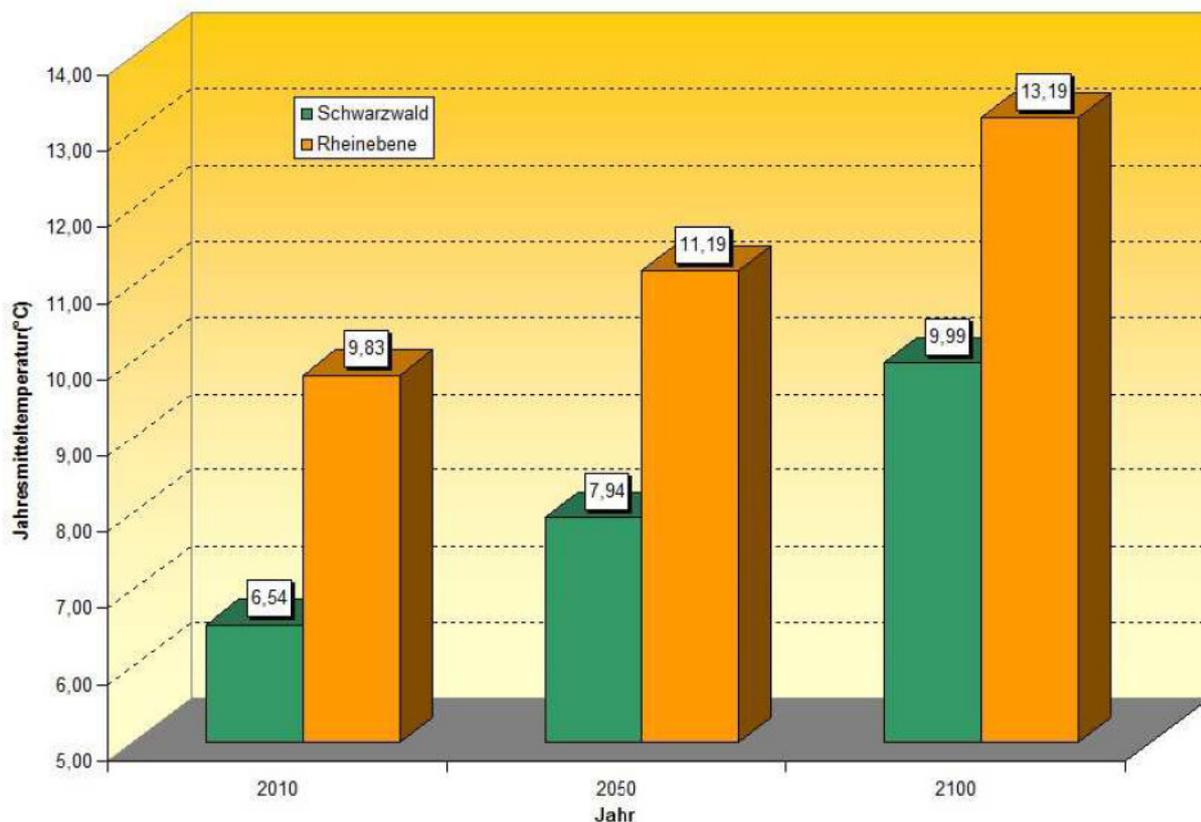


Abb. 16: Steigerung der Anzahl der Heißen Tage (Tagesmaximum der Temperatur >30°C) bis zum Jahr 2100 im Vergleich Region Mittlerer Oberrhein / Region Nordschwarzwald

Eine ganz ähnliche Entwicklung nimmt die Zunahme der Anzahl der „Heißen Tage“ (Heißer Tag: Maximumtemperatur > 30°C) in den beiden Regionen (s. Abb. 13). Im Bereich der Rheinebene wird sich die Anzahl bis zum Ende des Jahrhunderts verdoppeln, im Schwarzwald wird die Anzahl sogar 8 mal so hoch liegen wie heute. Hier kommt allerdings der sehr niedrige Ausgangswert von heute 2 Heißen Tagen zum Tragen.

Diese Betrachtung zeigt nur einen kleinen Ausschnitt aus möglichen Folgen des Klimawandels. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Aktualität der Themen bioklimatische Belastung durch Überwärmung und Hitzestress erhalten bleibt bzw. an Bedeutung noch weiter zunehmen wird.

Die verschiedenen Modellszenarien zeigen alle, dass eine erhebliche Erwärmung der Atmosphäre nicht mehr zu vermeiden ist. Über Maßnahmen im Bereich Klimaschutz, wie

- Energieeinsparung und damit zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung und
- Einsatz von regenerativen Quellen (Wind, Sonne, Biomasse) zur Energieerzeugung

kann die Erwärmung reduziert aber nicht mehr vermieden werden.

## 6.2 Auswirkung des Klimawandels in den Regionen Mittlerer Oberrhein und Nordschwarzwald

Negative Auswirkungen dieses unvermeidlichen Temperaturanstiegs können aber durch Maßnahmen zur Klimaanpassung reduziert und ggf. auch in Teilen ganz vermieden werden. Grob lassen sich folgende Handlungsfelder für Anpassungsmaßnahmen zusammenfassen:

Klimaökologischer Prozess / Klimaökologische Funktion	Auswirkung des Klimawandels in der Region Mittlerer Oberrhein	Auswirkung des Klimawandels in der Region Nordschwarzwald
<b>Station 1</b>  Kaltluftentstehung / Kaltluftproduktion	Der Klimawandel kann z.B. über den Wasserhaushalt des Bodens als steuernde Größe einen Einfluss auf die saisonale Kaltluftproduktion nehmen. Da mit geringeren Sommerniederschlägen eine Verringerung des Bodenwassergehaltes einher geht, kann lokal die Kaltluftproduktion potenziell zunehmen.	Verglichen mit der Region Mittlerer Oberrhein ist für den Bereich Nordschwarzwald eine geringe Abnahme der sommerlichen Niederschläge zu erwarten. In sofern wird sich die lokale Kaltluftproduktion hier unverändert bleiben.
<b>Station 2</b>  Hangabwind	Hangabwinde sind vor allem über der Abdachung des Berglands zum Rheintal hin anzutreffen. Der Einfluss des Klimawandels auf diese Kaltluftabflüsse ist voraussichtlich gering. Nur dort wo lokal höhere Kaltluftproduktionsraten zu erwarten sind, kann sich dieser Prozess verstärken.	In der Region Nordschwarzwald treten verbreitet Hangabwinde auf. Der Einfluss des Klimawandels auf diese Kaltluftabflüsse ist voraussichtlich ebenfalls gering. Nur dort wo lokal höhere Kaltluftproduktionsraten zu erwarten sind, kann sich dieser Prozess verstärken.
<b>Station 3</b>  Tagesperiodische Hangabwindssysteme / Bergwind	Hangabwindssysteme bzw. Bergwinde sind lediglich im Bereich der größeren Talaustritte wie z.B. der Murg relevant. Ein Einfluss des Klimawandels auf deren generelle Ausprägung ist nicht zu erwarten. Nur dort wo lokal höhere Kaltluftproduktionsraten zu erwarten sind, kann sich dieser Prozess verstärken.	Das Bergland in der Region Nordschwarzwald ist durch Hangabwindssysteme gekennzeichnet. Diese Prozesse werden sich weiterhin auch unter dem Einfluss des Klimawandels ausbilden. Nur dort wo lokal höhere Kaltluftproduktionsraten zu erwarten sind, kann sich dieser Prozess verstärken.
<b>Station 4</b>  Hinderniswirkung verschiedener Strukturen für die Kaltluftströmung	Die grundsätzliche Hinderniswirkung von Oberflächenstrukturen für den lokalen Luftaustausch wird sich unter dem Einfluss des Klimawandels nicht verändern.	Eine Auswirkung des Klimawandels auf die Hinderniswirkung ist auch in der Region Nordschwarzwald nicht zu erwarten.
<b>Station 5</b>	Die Ausprägung der Durchlüftung wird von der Hinderniswirkung einer Bebauung sowie der Intensität der Luftaus-	Aufgrund der Intensität der Luftaustauschprozesse wird die Durchlüftung der Siedlungsflächen im Vergleich zu

<p>Einwirkbereiche Kaltluft, bzw. Durchlüftung von Siedlungen</p>	<p>tauschprozesse bestimmt. Je nach Umfang einer künftigen Bebauung sind die grundsätzlichen Luftaustauschprozesse durch den Klimawandel aber nicht betroffen (vgl. Station 8).</p>	<p>heute voraussichtlich nicht beeinträchtigt.</p>
<p><b>Station 6</b>  Kalt- und Frischluft- leitbahnen</p>	<p>Diese Strukturen werden auch weiterhin eine wichtige Funktion erfüllen, insbesondere vor dem Hintergrund eines allgemein ansteigenden bioklimatischen Belastungsniveaus in den Siedlungsflächen. Ein klimawandelbedingter Effekt auf Leitbahnen ist wenig wahrscheinlich.</p>	<p>Die Auswirkung des Klimawandels auf die Funktion der meist an Tiefenlinien gebundenen Leitbahnen ist voraussichtlich gering.</p>
<p><b>Station 7</b>  Bioklimatische Be- lastung im Sied- lungsraum</p>	<p>Mit dem zu erwartenden Klimawandel wird die Intensität und Dauer von Witterungsperioden mit Wärmebelastung insgesamt zunehmen. Viele Siedlungsflächen innerhalb des Rheintals sind bereits jetzt bioklimatisch stark beaufschlagt, so dass die Auswirkungen auf das Bioklima in der Region Mittlerer Oberrhein auch besonders deutlich verstärkt werden.</p>	<p>Aufgrund der Höhenlage und dem damit einhergehenden niedrigeren Temperaturniveau ist auch die bioklimatische Situation allgemein günstiger. Dies wird durch den intensiven nächtlichen Luftaustausch während sommerlicher Hochdruckwetterlagen unterstützt. Daher werden die Auswirkungen des Klimawandels auf das Bioklima in der Region Nordschwarzwald geringer sein als im Bereich des Rheintals.</p>
<p><b>Station 8</b>  Flurwinde</p>	<p>Antreibende Kraft für die Ausbildung von Flurwinden ist die nächtliche Temperaturdifferenz zwischen erwärmten Siedlungsarealen und kühleren Grünflächen. Sofern mit dem Klimawandel das Temperaturniveau insgesamt ansteigt, bleibt auch der Temperaturunterschied zwischen beiden Strukturen als „Motor“ erhalten. Daher werden die Flurwinde zwischen Grünflächen und der Bebauung voraussichtlich kaum beeinträchtigt. Sollte unter dem Einfluss des Klimawandels der nächtliche Temperaturunterschied zwischen Siedlungs- und Grünflächen im Vergleich zu heute weiter ansteigen, kann damit auch die Intensität der Flurwinde zunehmen.</p>	<p>Im Bergland spielen die Flurwinde im Rahmen des Luftaustauschgeschehens eine untergeordnete Rolle, da durch die Geländesituation orografisch ausgelöste Windsysteme das Austauschgeschehen dominieren.</p>

## 7 Literatur

- EICHHORN, J. (1995): Validierung eines Prognosemodells zur Vorhersage Kfz-bedingter Schadstoffimmissionen. *Annal. Meteorol.* 31, 339-340
- FANGER, P.O. (1972): *Thermal comfort. Analysis and application in environment engineering.* – New York, 244 S.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2000): Planungsrelevante Inwertsetzung von Kenngrößen zur Regionalwindströmung und zum Kaltlufthaushalt für die Regionalplanung in Thüringen. GIS-basierte Aufbereitung von numerischen Modellrechnungen. (95 S.)
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. *Beitr. Phys. Atmosph.* , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): *Numerical Simulation of canopy flows.* Springer Verlag Heidelberg
- GROSS, G., MOSIMANN, Th., P. TRUTE, Th. FREY & R. LESSING (1996): Die Untersuchung kleinräumiger Kaltluftabflüsse mittels empirischer Abschätzung und numerischer Simulation. – *Meteorol. Zeitung*, N. F:5 76 - 89
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. *Meteor. Z.schr.* Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- GROSS, G. et al. (2010): Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 2010
- IVU UMWELT GmbH (2005): Programmsystem IMMIS.
- KIESE, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. *Landschaft + Stadt* 20, H. 2: 67-71
- LOHMEYER GmbH & Co. KG (2009): Ermittlung natürlicher Ausgleichsfunktionen in der Region Mittlerer Oberrhein. 42 S.
- MARKS, R., M. J. MÜLLER, H. LESER & H.-J. KLINK (Hrsg) (1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). – *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, Bd. 229, 222 S.
- MAYER & MATZARAKIS (1992): Stadtklimarelevante Luftströmungen im Münchner Stadtgebiet. – Forschungsvorhaben Stadtluft, Abschlussbericht, Lehrstuhl für Bioklimatologie u. Meteorologie Univ. München. 96 S.
- MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE HAMBURG (2008): Klimawauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Schriftenreihe Climate Change 11-08 des Umweltbundesamtes. Hamburg/Dessau
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, REFERAT ÖFFENTLICHKEITSARBEIT (Hrsg.): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- RÖCKLE, R. und C.-J. RICHTER (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen. PEF-Bericht 136, Forschungszentrum Karlsruhe

- RODI, W. (1980): Turbulence models and their application in hydraulics. IAHR Section on Fundamentals of Division II: Experimental and mathematical fluid dynamics, Delft
- SCHÄDLER, G. et al. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. PEF Bericht 138, Forschungszentrum Karlsruhe.
- ULRICH, W. (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 57
- WERNER, G. (1979): Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Schriftenreihe Raumordnung des Bundesminist. F. Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 06.032 Bonn, 116 S.
- VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1, Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima (Dezember 2008)
- VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. (Dezember 1997)
- VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5, Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft (Dezember 2003)
- VERBAND REGION STUTTGART (Hrsg): Klimaatlas Region Stuttgart. 50 S. (Mai 2008).
- ZMARSLY, E. et al. (1999): Meteorologisch-klimatologisches Grundwissen. Ulmer Verlag Stuttgart.