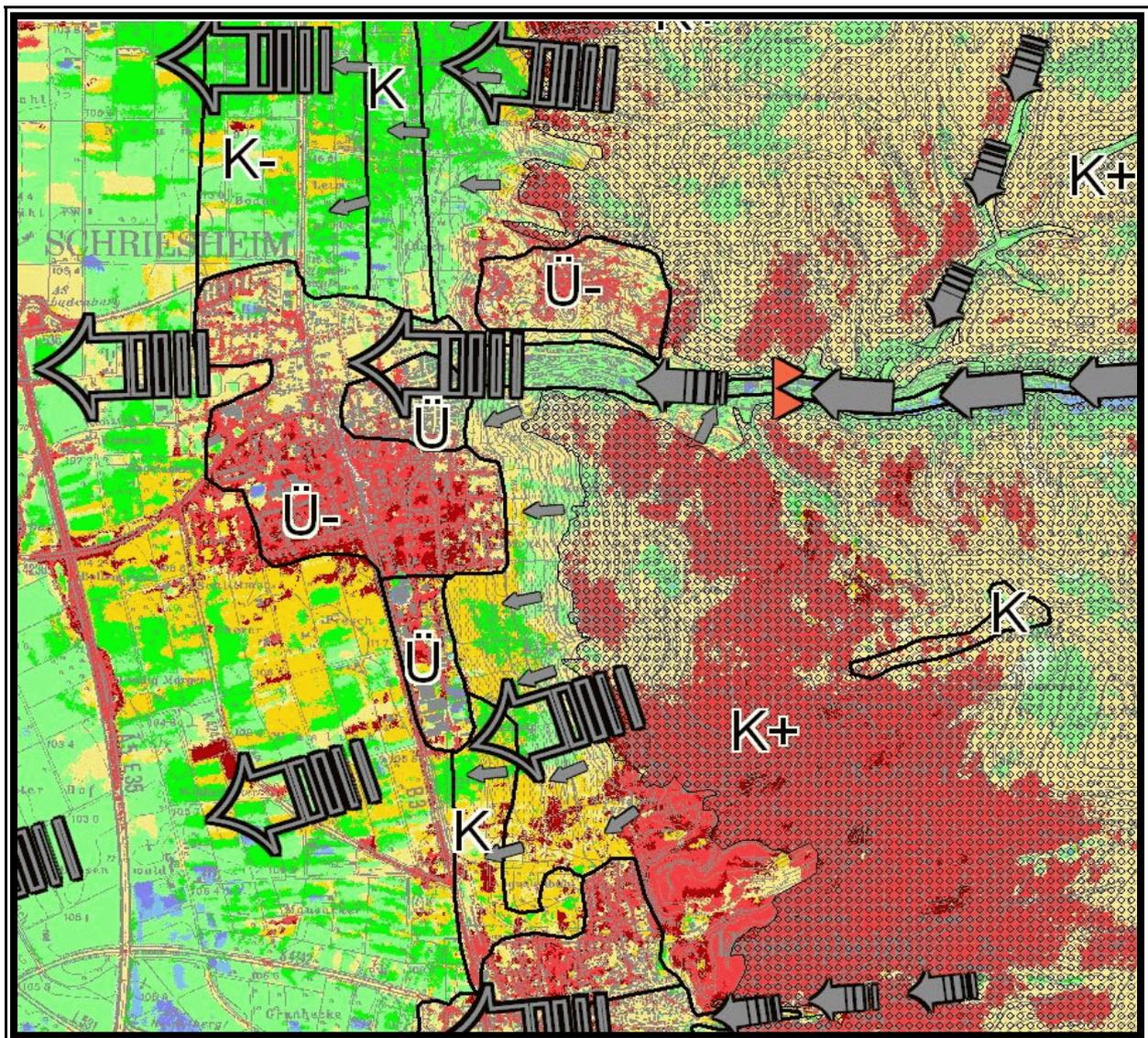


Klimauntersuchung Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim



Abschlußbericht



Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen

Eisenbahnstr. 43
D-79098 Freiburg
Tel 0761 / 202 16 46
Fax 0761 / 202 16 71
kontakt@steinicke-streifeneder.de

Klimauntersuchung
Nachbarschaftsverband
Heidelberg-Mannheim

Auftraggeber: Nachbarschaftsverband
Heidelberg-Mannheim

Bearbeitung: Dipl.-Geogr. Margit Streifeneder
Dipl.-Phys. Wolfgang Steinicke
Dipl.-Geogr. Jörg Timmer

Bearbeitungs-
stand: Abschlußbericht
Juni 2002

Inhalt

1	Aufgabenstellung	2
2	Datengrundlagen	3
3	Thermalscannerdaten und Auswertung der Thermaldaten	4
3.1	Angaben zur Befliegung	4
3.2	Aufbereitung und Interpretation der Thermaldaten	4
4	Auswertung vorhandener Daten zu Klima und Lufthygiene	11
4.1	Naturraum und Regionalklima	11
4.2	Lufthygiene	18
5	Klimafunktionskarte	25
5.1	Siedlungsbereiche	25
5.2	Kaltluftgebiete	27
5.3	Strömungsparameter	30
5.4	Sonstige klimarelevante Flächen	33
6	Bewertungskarte Klima/Luft	36
6.1	Vorbelastungen und Konflikte	36
6.2	Freiflächen	40
6.3	Siedlungsflächen	44
7	Allgemeine Planungsempfehlungen und Entwicklungsziele	46
8	Zusammenfassung	51
9	Glossar	58
10	Literaturverzeichnis	62
11	Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen	65
	Anhang	67

1 Aufgabenstellung

Der Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim benötigt zur Sicherung einer umweltverträglichen Entwicklung seines Verbandsgebietes fundierte Kenntnisse über die klimatisch-lufthygienischen Verhältnisse. Die in diesem Gutachten vorgestellte Untersuchung der Bereiche Klima/Lufthygiene umfaßt die

- ‘ Darstellung und Bewertung des klimatischen und lufthygienischen Ist-Zustands für das Gesamtgebiet des Nachbarschaftsverbandes,
- ‘ Untersuchung aktueller Planungsschwerpunkte (optional),
- ‘ Bewertung potentieller Konfliktsituationen,
- ‘ Ausarbeitung von Planungshinweisen.

Die für das gesamte Nachbarschaftsgebiet erstellten Karten, die „Klimafunktionskarte“ und die „Bewertungskarte Klima/Luft“ bilden eine ideale Basis für die Erstellung bzw. Überarbeitung von Landschafts-, Flächennutzungs- und Bebauungsplänen. Durch die flächendeckende, hochauflösende Untersuchung wird das komplexe Beziehungsgefüge zwischen Nutzung, Gelände, Klima und Luft sichtbar. Erst in der räumlichen Gesamtschau können einzelne Planungsvorhaben mit ihren Wechsel- bzw. Summenwirkungen richtig eingeschätzt werden.

In Tab. 1 sind die einzelnen Untersuchungsschritte, die verwendeten Daten und die daraus resultierenden Ergebnisse zusammengefaßt.

Tab. 1: Untersuchungsschritte, Datengrundlagen und Ergebnisse

Projektstufe	Daten und Methoden	Ergebnisse
Darstellung des klimatischen Ist-Zustands	Thermalscannerdaten Meteorologische Meßdaten Regionalklimadaten Landschaftsspezifische Daten	Klimafunktionskarte
Bewertung des klimatischen und lufthygienischen Ist-Zustands	Klimafunktionskarte Emissions- und Immissionsdaten	Bewertungskarte Klima/Luft Potentielle Konfliktbereiche Qualitative Aussagen zur Schadstoffbelastung
Darstellung und Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Planungsfolgen	Klimafunktionskarte Bewertungskarte Klima/Luft	Planungskarten Qualitative Aussagen zur klimatischen und lufthygienischen Belastung
Planungshinweise	Interpretation der Ergebnisse	Gutachten Präsentation
Weitere projektbegleitende fachliche Beratung	Grundlage: Gutachten, Karten	Gutachterliche Stellungnahme zu aktuellen Planungsfragen

2 Datengrundlagen

Die Basis für den vorliegenden Bericht bilden die von unserem Büro erhobenen bzw. vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten:

- ' Thermalscanneraufnahmen vom 03./04.09.1999: Thermalkarte Abend, Thermalkarte Morgen, Klassifizierte Karte aus Überlagerung von Abend und Morgen (vormals als "Klimatopkarte" bezeichnet)
- ' Langjährige Klimameßreihen von der Stationen des Deutschen Wetterdienstes in Mannheim (MÜLLER-WESTERMEIER 1990)
- ' Weitere Regionalklimadaten, insbesondere zu den Windverhältnissen an den Stationen Mannheim-Nord, Mannheim-Mitte, Weinheim, Heidelberg und Wiesloch (Luftreinhalteplan Großraum Mannheim-Heidelberg 1995)
- ' Landschaftsplan Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim (4 Kartenblätter im Maßstab 1:25.000, Stand Nov. 1998 sowie als ArcView-Projekt auf CD-Rom)
- ' Flächennutzungsplan Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim (1 Kartenblatt im Maßstab 1:25.000, Stand Dez. 1982)
- ' Satellitenbild für das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim
- ' Luftbilder für das Gebiet der Stadt Mannheim (als TIFF-Bilder auf CD-Rom)
- ' Baudichtenplan der Stadt Heidelberg (als TIFF-Bilder auf CD-Rom; Stand: 1999)
- ' Luftreinhalteplan Großraum Mannheim/Heidelberg 1995 (Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg)
- ' Topographische Karten 1:25.000, Ausgabe N (Kartenblätter 6416, 6417, 6516, 6517, 6518, 6617, 6618, Auflage 1996/97)
- ' Daten des Digitalen Höhenmodelles Baden-Württemberg im 50 m - Raster (Landesvermessungsamt Baden-Württemberg vom 04.12.2000 unter Az.: 2851.2-D/802)
- ' Diverse klimatische Einzelgutachten: Analyse klimaökologischer Funktionsabläufe im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens „Waldhofbecken (Nr. 57/8)“ in Mannheim-Luzenberg (Dr. Seitz ÖKOPLANA 1998); Klimaökologische Studie im Bereich des Rangierbahnhofs Mannheim zur Beurteilung möglicher klimatischer Folgeerscheinungen eines geplanten DB-Frachtzentrums (Dr. Seitz ÖKOPLANA 1994); Klimagutachten 2. Hafenzufahrt Rheinauhafen Mannheim (TÜV Energie und Umwelt GmbH, Niederlassung Nordbaden 1995)
- ' Gesamtverkehrsplanung Mannheim: Gesamtbelastungsplan 1999 (in Pkw-Einheiten pro 16 Stunden; Stand: Februar 2000)
- ' Verkehrsanalyse Heidelberg 1999/2000 (Stand: März 2001)
- ' Verkehrsdaten zu den Kreisstrassen (Stand: März 1992)
- ' Karte der Verkehrsstärken 1995 Baden-Württemberg im Maßstab 1:200.000; hrsgg. von der Strassenbauverwaltung Baden-Württemberg 1996, sowie die Aktualisierung dazu anhand der Verkehrszählungen aus dem Jahr 2000 (vorläufige Zahlen)
- ' FNP-Vorentwurf (Stand: Oktober 2001)
- ' Luftbilder 1:10.000 (Befliegung: 18.07.99)

3 Thermalscannerbefliegung und Auswertung der Thermaldaten

3.1 Angaben zur Befliegung

Während einer spätsommerlichen Strahlungswetterlage wurden im September 1999 zwei Thermal-scannerbefliegungen zur Aufzeichnung von Erdoberflächentemperaturen über dem Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim durchgeführt. Der erste Flug fand kurz nach Sonnenuntergang, der zweite Flug kurz vor Sonnenaufgang statt, um so das nächtliche Abkühlungsverhalten der Erdoberfläche zu erfassen. Ein Scanner funktioniert nicht wie eine Kamera, d.h. er macht keine Photos, sondern es handelt sich um einen sog. opto-mechanischen Abtaster (LÖFFLER 1994). Diese beruhen auf der Verwendung von schnell beweglichen Drehspiegeln, die das Aufnahmegebiet quer zur Flugrichtung zeilenweise abtasten. Die von der Erdoberfläche ausgehende Strahlung wird über ein optisches System, das die Strahlung in einzelne Wellenlängenbereiche zerlegt, auf Detektoren geleitet, die die Intensität der Strahlung messen. Typische Plattformen für Scannersysteme sind sowohl Flugzeuge als auch Satelliten. Das hier verwendete Aufnahmegerät war ein flugzeuggestützter Scanner vom Typ Daedalus AADS 1250, der die von der Erdoberfläche ausgehende langwellige Wärmestrahlung im thermischen Infrarot (Wellenlängenbereich 8 - 14 μm) aufzeichnete. Die Angaben zu den zwei Meßflügen sind in Tab. 2 zusammengestellt; Abb. 1 im Anhang zeigt das Untersuchungsgebiet.

Tab. 2: Angaben zu den Thermalscanneraufnahmen für den Nachbarschaftsverband Mannheim-Heidelberg

Aufnahmezeitraum	03.09.99/ 20:35-22:15 MESZ 04.09.99/ 05:00-06:10 MESZ
Gebietsgröße	ca. 25 km x 40 km
Flughöhe ü.G.	ca. 3200 m
Anzahl Flugstreifen	7
Geometrische Auflösung ¹⁾	ca. 8 m

3.2 Aufbereitung und Interpretation der Thermaldaten

Die Oberflächentemperaturdaten wurden geometrisch entzerrt und in Form zweier Bildverbände dargestellt (Thermalkarte Abend, Thermalkarte Morgen; vgl. Abb. 2 und 3 im Anhang). Sie zeigen flächendeckend die Temperaturen der Landschaftsoberfläche. Die Temperaturskalen von Abend- und Morgenflug sind einheitlich, damit ein direkter Vergleich anhand der gewählten Farbkodierung möglich ist. Dabei erscheint die Morgensituation aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung - mit Ausnahme einzelner Wasserflächen - allgemein kühler als die Abendsituation.

¹⁾ Unter geometrischer Auflösung versteht man die vom einzelnen Bildelement erfaßte Geländeoberfläche; bei einer Auflösung von 8 m entspricht ein Bildelement einer Fläche von 8 m x 8 m. Je höher die Auflösung, umso detaillierter sind die Informationen über die thermische Struktur des aufgenommenen Gebietes.

In einer windschwachen Strahlungswetterlage zeigen Oberflächen während der nächtlichen Abkühlungsperiode ein charakteristisches nahezu lineares Abkühlungsverhalten. Sind T_1 und T_2 die Temperaturwerte eines Oberflächenelements in der Abend- bzw. Morgenaufnahme, so läßt sich das Oberflächen-temperaturverhalten durch die Parameter

$$\begin{array}{ll} \text{Abkühlung} & dT = T_1 - T_2 \text{ und} \\ \text{mittlere Temperatur} & T_m = \frac{1}{2} (T_1 + T_2). \end{array}$$

beschreiben.

Auf dieser physikalischen Gesetzmäßigkeit beruht die Herstellung der „Klassifizierten Thermalkarte“ (vormals als „Klimatopkarte“ bezeichnet; vgl. Abb. 4 im Anhang), bei der die Bildverbände der Abend- und Morgensituation digital überlagert und für jedes Bildelement nach obiger Formel die mittlere nächtliche Temperatur und die Abkühlung berechnet werden.

Im Idealfall würde sich eine Landschaftsoberfläche gemäß ihrem Typ (Acker, Wiese, Asphaltfläche) verhalten, also charakteristische Werte der mittleren Temperatur und Abkühlung zeigen. Um die aus den Thermalaufnahmen gewonnenen, individuellen dT - T_m -Werte mit den theoretischen Idealwerten vergleichen zu können, muß man die Temperaturwerte korrigieren. Tages- und jahreszeitliche Einflüsse müssen aus den Daten eliminiert werden, so daß in erster Linie die Faktoren Wetterlage und Nutzung das Temperaturbild bestimmen, nicht jedoch der Befliegungstermin. Dies geschieht in Form der sog. standardisierten multitemporalen Klassifikation, gleichbedeutend mit einer festen Einteilung des Oberflächentemperaturverhaltens in 13 Klassen. Dabei werden die festen Landschaftsoberflächen durch die 12 Klassen B bis M, Wasserflächen durch die Klasse A beschrieben (vgl. Abb. 5 auf der folgenden Seite). Jeder Klasse wird eine bestimmte Farbe zugeordnet. Die Farbgebung der Klassen verläuft vertikal mit zunehmenden mittleren Temperaturen von blau über grün und gelb bis rot. Horizontal variiert die Farbintensität mit zunehmender nächtlicher Abkühlung von Dunkel nach Hell.

Erst diese Vorgehensweise ermöglicht die Vergleichbarkeit von Thermalaufnahmen verschiedener Städte bzw. ein- und derselben Stadt zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten. Ein Beispiel: Stadt A wird 1985 an einem mäßig warmen Frühsommertag mit maximalen Lufttemperaturen von 22 °C befliegen. Die Wiese XY hat auf den Thermalaufnahmen eine mittlere nächtliche Oberflächentemperatur T_m von 6 °C und eine Abkühlung dT von 4 K²). Sie fällt damit erwartungsgemäß in die blaue Klasse „L“ (intensive Kaltluftfläche). Fünf Jahre später wird Stadt A erneut befliegen und zwar an einem heißen Julitag mit einem Lufttemperaturmaximum von 30 °C. Unsere Wiese XY weist nun eine mittlere nächtliche Oberflächentemperatur von 10 °C und eine Abkühlung von 3 K auf. Betrachtet man nur die absoluten Temperaturen, so ist die Wiese - obwohl ihre Nutzung gleich geblieben ist - wärmer geworden und würde jetzt in die grüne Klasse „H“ (schwache Kaltluftfläche) oder sogar in die gelbe Klasse „E“ (schwache Wärmeinsel) eingeordnet werden. Tatsächlich ist aber nur das allgemeine Temperaturniveau angestiegen, relativ betrachtet ist die Wiese immer noch kühler als ein bebautes Gebiet. Und genau

²) Übereinstimmend werden in der Wissenschaft Temperaturdifferenzen in Grad Kelvin angegeben. Die Kelvinskala ist die auf den absoluten Nullpunkt bezogene Temperaturskala mit gleichen Gradabständen wie die Celsiusskala, d.h. 0 Kelvin = -273,15 °C, eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin entspricht einer Differenz von 1 °C.

diese Relationen zwischen den verschiedenen genutzten Flächen sollen durch die Thermalaufnahmen aufgezeigt werden, unabhängig von den absoluten Temperaturen.

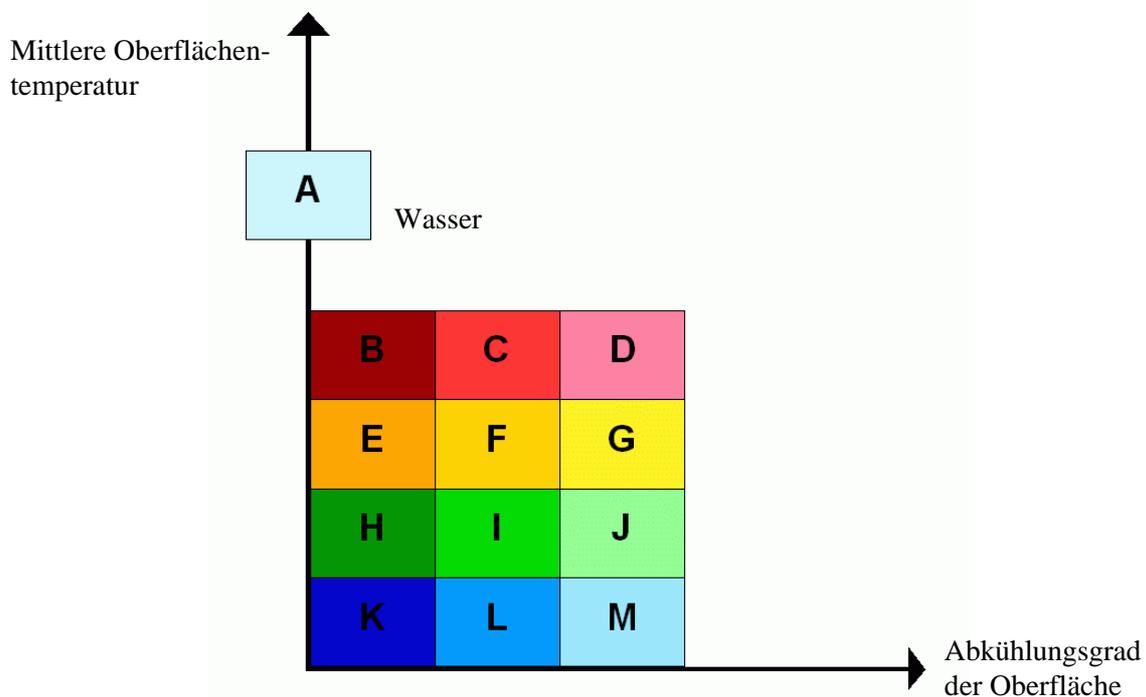


Abb. 5: Standardisierte Klassifikation des Oberflächentemperaturverhaltens

Betrachtet man nun die klassifizierte Thermalkarte des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim, so lassen sich bestimmte Zusammenhänge zwischen Nutzung und Temperaturklasse erkennen. Am auffälligsten sind sicherlich die großen rot-gelben "Kleckse" im östlichen Teil des Aufnahmegebietes. Dabei handelt es sich nicht - wie die roten Farben eigentlich vermuten lassen - um kräftige Wärmeinseln, sondern um Wälder an den mehr oder weniger steilen Hängen von Odenwald und Kraichgau. Das besondere Verhalten von Wäldern auf Thermalaufnahmen wird weiter unten genauer erklärt. Zu sehen ist außerdem eine Konzentration von roten Farben in den Stadtgebieten von Mannheim und Heidelberg und den sonstigen Städten im Untersuchungsraum, während im Umland die gelben, grünen und blauen Klassen vorherrschen. In erster Näherung kann man dies als den Gegensatz zwischen der Stadt als Wärmeinsel und dem Freiland als Kaltluftentstehungsgebiet bezeichnen. Bei genauerem Hinsehen läßt sich eine feinere Zuordnung zwischen Nutzung und Oberflächentemperaturverhalten herstellen, wie sie in Tab. 3 zusammengefaßt wird.

Dabei zeigt sich jedoch auch, daß es keine eindeutige Korrelation zwischen Nutzungsart und Temperaturklasse gibt. So können beispielsweise Straßen sowohl in den roten als auch in den gelben Klassen liegen, je nachdem ob sie in dicht besiedeltem Gebiet liegen oder übers Land führen (ein schönes Beispiel dafür ist die A5 bei Heidelberg-Pfaffengrund). Bei Landwirtschafts- und Waldflächen ist die Schwankungsbreite noch größer: von blau über grün bis gelb und rot sind alle Klassen vertreten. Hier sind es vor allem die Faktoren Vegetation, Bodenfeuchte und Geländeform, die das Erscheinungsbild beeinflussen. Damit wird klar, daß man sehr genaue Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet benötigt, um keine falschen Aussagen aus Thermalaufnahmen abzuleiten.

Tab. 3: Zusammenhang Nutzung - Oberflächentemperaturverhalten

Temperaturklasse	Farbcodierung	Vorkommen
A	sehr helles blau	Wasserflächen (z.B. Rhein mit Altarmen, Neckar)
B	dunkelrot	kleine Gewässer (z.B. Teiche bei Leimen oder Nußloch); Uferbereiche; Straßen in Innenstädten; punktuell in Wäldern am Oberhang und auf Kuppen
C	rot	Straßenzüge in Siedlungen; versiegelte Flächen; Wälder
D	hellrot	punktuell in Straßenzügen in Siedlungen und in versiegelten Flächen; Wälder im Bereich der Rheinaue
E	dunkles gelb	Landwirtschaftsflächen im Bereich der Bergstrasse; Waldränder
F	gelb	Siedlungsflächen; große Überlandstraßen (z.B. A5, A 6) und Straßen in locker bebauten Siedlungen; Wälder; innerstädtische Parks und sonstige baumbestandene Freiflächen
G	helles gelb	Siedlungsflächen; innerstädtische Gleisanlagen; große Überlandstraßen und Straßen in locker bebauten Siedlungen; Wälder
H	dunkelgrün	Landwirtschaftsflächen im Bereich der Bergstrasse; punktuell in Wäldern
I	grün	Landwirtschaftsflächen; innerstädtische Grünflächen mit niedriger Vegetation (z.B. Sportplätze, Hausgärten); Wälder
J	hellgrün	punktuell in Landwirtschaftsflächen, innerstädtischen Grünflächen mit niedriger Vegetation und Wäldern im Bereich der Rheinaue
K	dunkelblau	Landwirtschaftsflächen, bevorzugt in Geländesenken und Flußbauen; hochgelegene Waldlichtungen; reflektierende Hallendächer
L	blau	Landwirtschaftsflächen, bevorzugt in Geländesenken und Flußbauen; größere innerstädtische Freiflächen; Waldlichtungen; reflektierende Hallendächer
M	hellblau	punktuell in Landwirtschaftsflächen und größeren innerstädtischen Freiflächen

Generell fällt bei der Verteilung der roten, gelben und grünen Klassen im Untersuchungsgebiet folgende Besonderheit auf: während die Klassen mit der jeweils geringsten Abkühlung (B, E, H) stärker im Ostteil des Aufnahmegebietes (also im Bereich der Bergstrasse bzw. des Odenwaldes) auftreten, finden sich die Klassen mit der jeweils stärksten Abkühlung (D, G, J) vor allem im westlichen Teil, also im Bereich der Rheinaue. Dies deutet auf das Phänomen der „wärmebegünstigten Hangzone“ hin, die später noch näher erläutert wird. Die kühlest blauen Klassen konzentrieren sich dagegen generell mehr auf die Mitte bzw. den Westteil des Untersuchungsgebietes.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen Nutzung und thermischem Verhalten werden im folgenden einige Nutzungstypen beschrieben.

Gewässer

Freie Wasserflächen unterscheiden sich in ihrem thermischen Verhalten deutlich vom Erdboden. Wichtigstes Kennzeichen ist ihr *ausgeglichener Temperaturgang*, d.h. die Schwankungen zwischen Tag und Nacht und auch zwischen den Jahreszeiten sind sehr viel kleiner als beim festen Boden. Verantwortlich dafür sind die folgenden drei physikalischen Besonderheiten von Wasser:

- L Kurzwellige Strahlung kann -insbesondere bei klaren Gewässern - bis in große Tiefen vordringen und bleibt nicht auf die Oberfläche beschränkt.
- L Wasser kann durch Strömungen und Wind durchmischt werden, so daß die aufgenommene Energie auf ein größeres Volumen verteilt wird.
- L Wasser besitzt ein extrem hohes Wärmespeichervermögen. So kann Wasser 3 bis 10mal soviel Wärme aufnehmen wie das gleiche Volumen Erdboden, bis seine Temperatur um 1 K ansteigt (HÄCKEL 1993).

Die Folge dieser Eigenschaften ist, daß Seen und Flüsse an heißen Sommertagen kühler sind als das viel stärker erhitzte Land, in der Nacht jedoch wärmer. Auf der Klassifizierten Thermalkarte, die ja das nächtliche Oberflächentemperaturverhalten darstellt, sind die Wasserflächen somit die wärmsten Oberflächen und erscheinen überwiegend in sehr hellem Blau (z.B. der Rhein mit seinen Altarmen und Stillgewässern oder der Neckar). Manche Gewässer, v.a. kleinere Flüsse und Teiche sind etwas kühler und fallen daher in die roten Klassen (z.B. die Baggerseen bei Leimen oder Nußloch). Ursachen dafür sind vermutlich geringere Wassertiefe und erhöhte Trübung.

Landwirtschaftsflächen

Wie eben beschrieben sind Wärmeaufnahme- und -speicherfähigkeit beim festen Boden ganz anders als beim Wasser. Die Energieumsätze bleiben auf die obersten Bodenschichten beschränkt, d.h. die Bodenoberfläche erhitzt sich rasch und kühlt auch rasch wieder aus. Unbewachsener Boden ist somit recht hohen Temperaturschwankungen unterworfen. Wie groß die Schwankungen sind, hängt wesentlich von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. Diese wiederum wird von der Bodenart, der Bodenfeuchte und dem Luftgehalt des Bodens bestimmt. So leitet z.B. Lehm besser als Sand oder Torf, nasser Boden besser als trockener, verdichteter Boden besser als lockerer. Je größer die Wärmeleitfähigkeit, umso kleiner sind die Temperaturschwankungen an der Bodenoberfläche und umgekehrt.

Neben den Bodeneigenschaften an sich hat das Vorhandensein einer Vegetationsdecke einen großen Einfluß auf das thermische Verhalten von Landwirtschaftsflächen. Da Pflanzenbestände im allgemeinen ein lockeres Gefüge mit einem hohen Luftanteil besitzen, sind sie ausgesprochen schlechte Wärmeleiter und können auch selbst kaum Wärme aufnehmen. Damit wird bewachsenem Boden wesentlich weniger Wärme zugeführt als unbewachsenem. Wiesen und mit Ackerfrüchten bestandene Felder sind daher sowohl tagsüber als auch nachts kühler als nackter Boden. Insbesondere Wiesen kühlen nach Sonnenuntergang sehr rasch aus. Sichtbares Zeichen dafür ist die Entstehung von Nebelschwaden über den Wiesen, wie sie vermutlich jeder schon mal beobachten konnte. Diese Ausführungen machen deutlich, weshalb landwirtschaftliche Flächen auf der Klassifizierten Thermalkarte ein recht breites Spektrum an Temperaturklassen aufweisen.

Wälder

Wälder stellen die höchste und dichteste Form einer Vegetationsdecke dar. Wie bei einer Wiese oder einem Weizenfeld findet auch hier der Energieumsatz nicht mehr am Boden, sondern an der Oberfläche der Vegetation, also am Kronendach statt. Der Bereich unterhalb der Baumkronen, der sog.

Stammraum, wird somit von Ein- und Ausstrahlung weitgehend abgeschirmt, so daß sich hier ein eigenes "Binnenklima" oder Bestandsklima ausbilden kann. Wichtigstes Merkmal dieses Bestandsklimas ist - ähnlich wie beim Wasser - der ausgeglichene Temperaturgang. Im Waldinneren ist es an einem Sommertag tagsüber kühler und nachts wärmer als im Umland. Weitere Unterschiede zum Freiland sind die stark reduzierte Windgeschwindigkeit, die höhere relative Luftfeuchte und die höhere Verdunstung.

Auch in Bezug auf die Lufthygiene nehmen Wälder eine Sonderstellung ein, denn sie filtern einen beachtlichen Teil der festen und flüssigen Schmutzstoffe der Atmosphäre aus. Gasförmige Luftverunreinigungen gehen wie andere Luftmoleküle zwar ungehindert durch den Wald, aber die Rauigkeit der Waldoberfläche verursacht eine stärkere Durchmischung der Luft, so daß die gesamte Konzentration an Luftschadstoffen in der bodennahen Luftschicht herabgesetzt wird. Wälder besitzen also eine hohe klimatische Gunstfunktion für den Menschen.

Auf der Klassifizierten Thermalkarte erscheinen Wälder meist in den gelben oder sogar in den roten, also relativ warmen Klassen. Ursache dafür ist, daß die am Kronendach abgekühlten Luftmassen in den Stammraum sinken und von dort durch wärmere Luftmassen wieder ersetzt werden. Daher bleibt die Waldoberfläche relativ warm und nur diese kann der Scanner vom Flugzeug aus einsehen, der Stammraum bleibt ihm verborgen! Auch das Relief spielt eine Rolle für das Erscheinungsbild von Wäldern auf Thermalaufnahmen. So sind Wälder an Hängen meist wärmer als in ebenen Lagen oder gar in Flußauen. Dies deckt sich mit der generellen Wärmeverteilung in windschwachen Strahlungsnächten: die durch die nächtliche Ausstrahlung abgekühlten Luftmassen fließen entsprechend der Geländeneigung ab und sammeln sich in Mulden und Talauen; daher sind in solchen Nächten die Hangzonen die wärmsten Gebiete, Ebenen und Geländesenken die kühlfsten.

Neben dem Relief sind auch die Flächengröße, die Baumartenzusammensetzung, die Höhe und Dichte des Baumbestandes und dessen Vitalität mögliche Einflußfaktoren für das Erscheinungsbild von Wäldern auf der Klassifizierten Thermalkarte.

Straßen und Gleisanlagen

Straßen und sonstige asphaltierte Flächen gehören zu den wärmsten Landoberflächen an einem heißen Sommertag und zwar sowohl tags als auch nachts. Durch ihre dunkle Farbe und die fehlende Verdunstung heizen sie sich tagsüber stark auf. Nachts wird die gespeicherte Wärme dann wieder an die Luft abgegeben. Besonders in dicht bebauten Gebieten bleiben die Straßen die ganze Nacht hindurch relativ warm und erscheinen daher auf der Klassifizierten Thermalkarte als rote Bänder, wie z.B. im gesamten Stadtkern von Mannheim und Heidelberg. Im Freiland kühlen sie etwas stärker ab und fallen dort überwiegend in die gelben Klassen (z.B. A5, A6, A656).

Bei Bahnanlagen liegen die Verhältnisse etwas anders. Der dunkle Schotterkörper heizt sich zwar tagsüber an der Oberfläche genauso stark auf wie eine Straße, er kann jedoch durch die zwischen den Schottern eingeschlossene Luft die Wärme schlechter weiterleiten und speichern als der Asphalt. Daher kühlen Gleisanlagen wesentlich rascher aus als Straßen und erscheinen auf der Klassifizierten

Thermalkarte häufig in den gelben Farben, wie beispielsweise die Gleisanlagen am Hauptbahnhof Mannheim oder bei Mannheim-Neuhermsheim. Im Umland sind Bahngleise im Gegensatz zu Straßen auf Thermalaufnahmen oft kaum noch zu erkennen (z.B. Bahnlinie zwischen Friedrichsfeld und Plankstadt).

Wohngebiete

Bei bebauten Gebieten hängt das thermische Erscheinungsbild stark von der Dichte, Höhe und Anordnung der Häuser, von der Durchgrünung und von der Lage des Gebietes ab (Kuppe oder Tal, Stadtzentrum oder Rand). Das thermische Spektrum reicht von kaum wahrnehmbaren Veränderungen gegenüber dem Freiland bis zur extremen Wärmeinsel. Dementsprechend unterschiedlich ist auch das Aussehen auf der Klassifizierte Thermalkarte. Charakteristisches Kennzeichen sind die Straßenzüge, die die meist in gelb erscheinenden Siedlungen als rote Adern durchziehen.

Eine Besonderheit im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes zeigen die Städte entlang der Bergstrasse am Anstieg zum Odenwald (Leutershausen, Schriesheim, Dossenheim). Trotz ihrer meist lockeren Bebauung weisen sie einen ungewöhnlich hohen Anteil an den warmen roten Farben auf. Ursache dafür ist vermutlich ihre Lage im Bereich der bereits erwähnten „wärmebegünstigen Hangzone“. Dahinter verbirgt sich folgendes lokalklimatisches Phänomen: die während windschwacher Strahlungsächte gebildete Kaltluft fließt hangabwärts und sammelt sich in Mulden und Talbecken. Dementsprechend tief sinken hier die nächtlichen Temperaturen ab. Am Oberhang dagegen werden die abfließenden Kaltluftmassen durch wärmere Luftpakete aus der Höhe ersetzt, so daß es hier deutlich wärmer ist als in den Tieflagen.

Gewerbe- und Industriegebiete, Hafenanlagen

Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt prinzipiell das gleiche wie für die Wohngebiete. Allerdings sind hier die Strukturen etwas flächiger als in den eher linear geprägten Siedlungen, weil sich größere versiegelte Komplexe mit unversiegelten Bereichen abwechseln. Schön zu sehen z.B. in den großen Gewerbe- und Industriekomplexen und in den Hafenanlagen im Norden Mannheims, oder bei dem Gewerbegebiet zwischen Heidelberg und Leimen. Charakteristisch für das Erscheinungsbild von Gewerbe- und Industriegebieten auf Thermalaufnahmen ist außerdem das Vorkommen von rechteckigen schwarzen oder blauen Flächen. Dabei handelt es sich um Hallendächer mit reflektierenden Eigenschaften, z.B. aus Metall oder Glas. Solche Dächer spiegeln die Kälte des Nachthimmels wieder, so daß die Thermographie keine verlässlichen Werte der Oberflächenstrahlungstemperatur liefern kann. Daher sind diese Flächen in der Klassifizierten Thermalkarte fehlklassifiziert.

4 Auswertung vorhandener Daten zu Klima und Lufthygiene

4.1 Naturraum und Regionalklima

Das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim gliedert sich in mehrere naturräumliche Einheiten. Der größte Teil gehört zum Nördlichen Oberrheintiefland mit der Oberrheinniederung im Westen und den sich östlich daran anschließenden, etwas höher gelegenen Sand- und Schotterflächen der Rhein-Niederterasse. Im Osten reicht das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes in den Odenwald mit dem zum Rhein hin entwässernden Neckartal hinein. Im Südosten liegt mit dem Übergang zu den sanften, von mächtigen Lößdecken überzogenen Höhen des Kraichgau noch eine dritte naturräumliche Einheit vor.³⁾

Die mittleren Höhen des Untersuchungsraumes bewegen sich zwischen 100 und 200 m ü.NN., wobei im Nordwesten mit 90 m ü.NN. der tiefste Punkt und im Odenwald bei Heidelberg mit 330 m ü.NN. der höchste Punkt erreicht werden.

Großklimatisch ist der Heidelberg-Mannheimer Raum dem mitteleuropäischen Übergangsklima zwischen dem ozeanisch geprägten Klima Westeuropas und dem Kontinentalklima Osteuropas zuzuordnen. Das Übergangsklima zeichnet sich durch einen relativ unbeständigen, ganzjährig feuchten Witterungsablauf mit Niederschlagsmaximum im Sommer aus. Der Süden Deutschlands ist ebenso wie der Osten stärker kontinental geprägt als der Westen und Norden, was sich in einer ausgeprägten Temperaturamplitude zwischen wärmstem und kältestem Monat sowie in einem deutlichen Überwiegen der Sommerniederschläge bemerkbar macht. Charakteristisch für Mitteleuropa ist außerdem das Vorherrschen der südwestlichen Richtungskomponente in der Höhenströmung, bedingt durch die großräumige Druckverteilung.

Diese großklimatischen Verhältnisse erfahren durch das Relief und die Nutzungsstrukturen eine regionale bzw. lokale Ausprägung. So führen z. B. die Randhöhen des Oberrheingrabens zu einer Kanalisierung der Strömung, die von der großräumigen Höhenströmung abweicht. Aber auch die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse weisen regionale und lokale Besonderheiten auf, wie nachfolgend beschrieben wird.

Temperatur

Der Untersuchungsraum gehört zu den wärmsten Räumen in Deutschland. Die Gründe dafür sind die geringe Meereshöhe, die Lage in einem von Randhöhen im Westen und Osten geschützten Graben und die Öffnung dieses Grabens nach Süden. Dementsprechend hoch liegt das Jahresmittel der Temperatur mit über 10 °C. Ein Blick auf Tab. 4 zeigt, dass die Jahresmitteltemperaturen in den zum Vergleich angeführten Städten Kaiserslautern (als westlicher Vertreter), Hamburg (als nördlicher Vertreter) und Dresden (als östlicher Vertreter) rund 1,5 bis 2 °C niedriger sind. Auch im Januar und Juli liegen die

³⁾ Viele der Angaben in diesem Kapitel stammen aus dem Luftreinhalteplan Großraum Mannheim-Heidelberg 1995, so dass diese Quelle nicht überall im Einzelnen zitiert wurde

Temperaturen in Mannheim und Heidelberg deutlich höher als in den anderen Städten, wobei im Winter besonders der Unterschied zum kontinental geprägten Dresden mit Minustemperaturen und im Sommer besonders zum rund 3 °C kühleren, ozeanisch geprägten Hamburg auffällt.

Die Wärmebegünstigung des Untersuchungsraumes zeigt sich auch in der geringeren Anzahl an Frosttagen und der höheren Anzahl an Sommertagen, wobei insbesondere Heidelberg mit nur 50 Frosttagen im Jahr ins Auge fällt.

Tab. 4: Vergleich langjähriger Temperaturmittelwerte und der Anzahl von Frost- und Sommertagen an mehreren Stationen; Zeitraum 1951-1980, Dresden 1961-1990 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, zit. aus UMWELTMINISTERIUM B-W 1995, STEINICKE & STREIFENEDER 1996 und DWD 1993a)

Station	Januar T in °C	Juli T in °C	Jahr T in °C	Frosttage Anzahl	Sommertage Anzahl
Mannheim	1,2	19,3	10,2	68	48
Heidelberg	1,7	19,6	10,7	50	46
Kaiserslautern	0,5	17,5	8,8	88	34
Hamburg	0,4	16,6	8,4	82	18
Dresden	-0,8	17,9	8,7	82	37

Eine Besonderheit im Untersuchungsgebiet weisen die Ortschaften entlang der Bergstrasse, also am Anstieg zum Odenwald mit einer mittleren Höhenlage zwischen 120 und 220 m ü.NN. auf. Trotz ihrer geringeren Größe im Vergleich zu Mannheim oder Heidelberg und einem demzufolge geringeren Einfluß von Bebauung und Abwärme auf die Temperatur, liegen ihre Jahresmitteltemperaturen ähnlich hoch wie in den Großstädten. Die Gründe dafür wurden bereits bei der Beschreibung der Klassifizierten Thermalkarte genannt („Warme Hangzone“).

Eine weitere lokale Besonderheit wird durch die bei bestimmten meteorologischen Bedingungen auftretenden sogenannten Bergwinde (oder Talabwinde) aus den Odenwaldtälern hervorgerufen: da die Talausgänge überwiegend bebaut sind, transportieren diese Bergwinde das Temperaturfeld der städtischen Wärmeinseln in die Oberrheinebene hinein. Die lokalen Strömungssysteme werden im Kapitel 5.3 im Zusammenhang mit der Klimafunktionskarte näher erläutert.

Der südöstliche Teil des Nachbarschaftsverbandes (Kraichgau) ist durch die Öffnung nach Osten hin nicht mehr so wärmebegünstigt.

Niederschlag

Im Bereich der Nördlichen Oberrheinebene findet eine Zunahme der Niederschläge von West nach Ost statt. Ursachen dafür sind die Abschirmung nach Westen hin durch Pfälzerwald, Taunus und Hunsrück sowie der Anstieg zum Odenwald im Osten.

Westlich des Rheins liegt die jährliche Niederschlagssumme im Durchschnitt bei 550 mm, in Mannheim werden 641 mm gemessen und auf den Höhen des Odenwaldes erreichen die Niederschlagssummen 1100 mm. Der südliche Teil des Untersuchungsgebietes entspricht mit ca. 700 bis 750 mm pro Jahr in etwa dem Jahresmittel von ganz Deutschland (770 mm).

Die höchsten Niederschlagsmengen werden in den Sommermonaten Juni bis August erreicht, am trockensten ist es von Januar bis März.

Nebel

Man unterscheidet in erster Linie zwischen Strahlungsnebel und Wolkennebel. Strahlungsnebel bildet sich vor allem bei windschwachen Wetterlagen, wenn der Boden und die darüberliegende Luftschicht stark abkühlen und der in der Luft vorhandene Wasserdampf kondensiert. Deshalb ist der Strahlungsnebel ein Maß für die Stagnation von Luftmassen und die Ansammlung von Kaltluft. Die meisten Nebeltage finden sich mit 50 Tagen pro Jahr entlang des Rheins, während in Heidelberg nur 30 Nebeltage und im Bereich der Bergstrasse und des Kraichgaus sogar noch weniger Nebeltage gezählt werden.

In den Höhenlagen des Odenwaldes treten wieder deutlich mehr Nebeltage auf (>100 Tage im Gipfelbereich), wobei es sich hier vor allem um den durch den Stau effekt der Berge hervorgerufenen Wolkennebel handelt.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit

Wie eingangs erwähnt bewirken die Randhöhen des Oberrheingrabens eine Ablenkung der großräumigen, meist südwestlichen Höhenströmung in nord-südliche Richtungen, entsprechend dem Verlauf des Grabens. Neben dieser Kanalisierung bewirken die Randhöhen, hier speziell der Odenwald, die Ausbildung lokaler Berg-/Talwindssysteme, deren Auswirkungen einige 100 m bis maximal 8 km in die Ebene hinein spürbar sind.

Zur Verdeutlichung der Windverhältnisse sind in Abb. 6 die langjährigen Windrichtungsverteilungen an mehreren Stationen im Großraum Mannheim-Heidelberg dargestellt. Die Stationen Weinheim und Wiesloch liegen etwas nördlich bzw. südlich des Nachbarschaftsverbandsgebietes.

Die in der Oberrheinebene gelegenen Stationen Mannheim-Nord und Mannheim-Mitte zeigen deutlich die Nord-Süd- bzw. Süd-Nord-Kanalisierung der Strömung. In Mannheim-Mitte liegt das Häufigkeitsmaximum bei Winden aus Süd bis Südsüdost (27,3 %), an der Station Mannheim-Nord sind Nordnordwest bis Nord am häufigsten vertreten (27,2 %). Die jeweiligen Gegenrichtungen weisen sekundäre Maxima auf. Am seltensten kommen bei beiden Stationen Winde aus Nordost bis Ost vor. Die höchsten Windgeschwindigkeiten sind mit Winden aus Südwest bis Süd verbunden, was sich besonders bei der frei anströmbaren Station Mannheim-Nord bemerkbar macht. Dort liegt auch das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit mit 2,9 m/s höher als an der von der städtischen Bebauung beeinflussten Station Mannheim-Mitte (2,2 m/s).

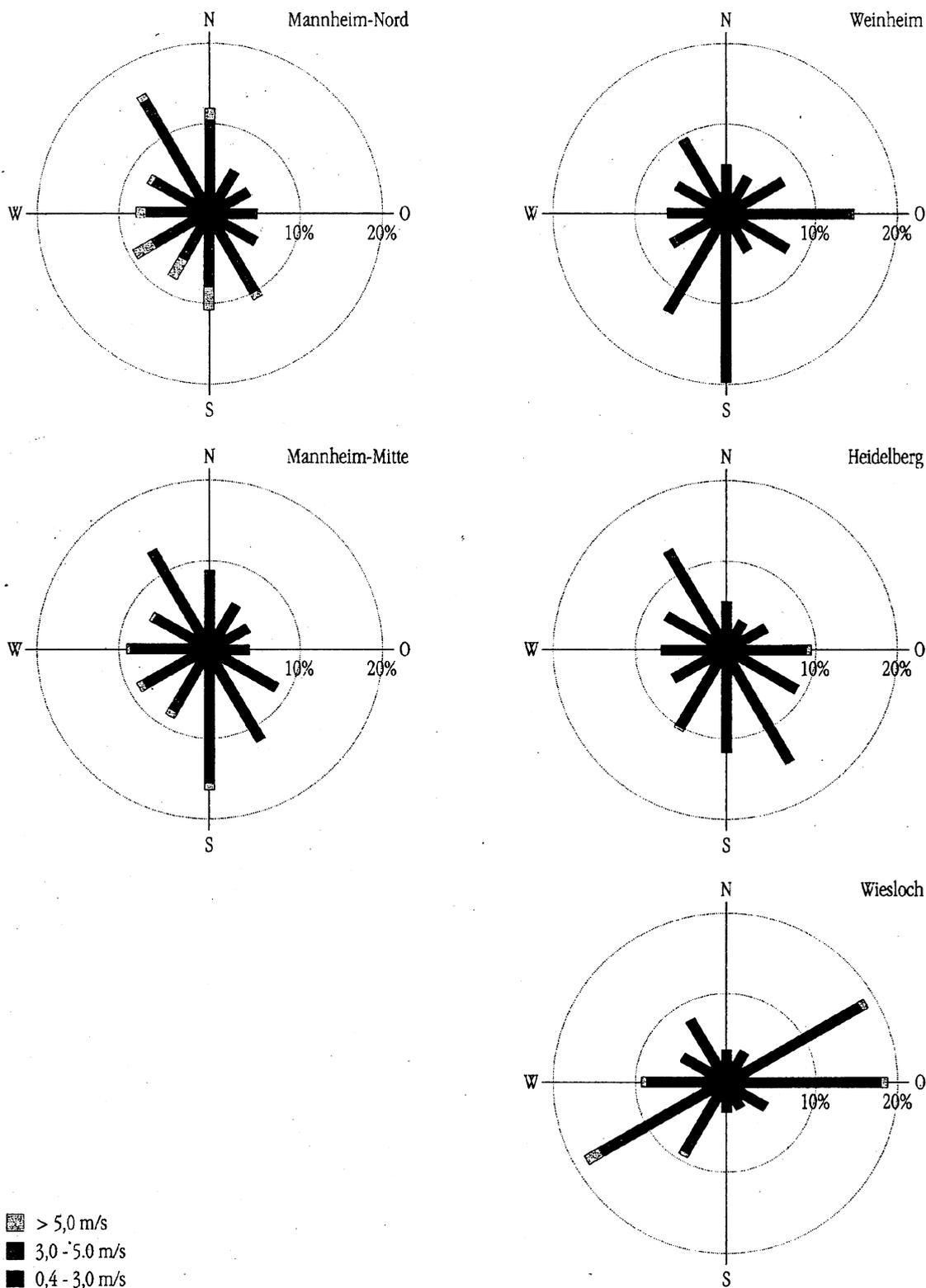


Abb. 6: Windrichtungsverteilung an den Standorten Mannheim-Nord, Mannheim-Mitte, Heidelberg und Wiesloch im Zeitraum Juli 1990 bis Juni 1994 (aus: UMWELTMINISTERIUM B-W 1995)

In Heidelberg werden am häufigsten Winde aus Südsüdost (14,5 %) gemessen. Diese Windrichtung tritt bevorzugt nachts auf, was darauf schließen läßt, dass es sich um Talabwinde aus dem Neckartal handelt. Die Gegenrichtung, die mit 12,8 % ein sekundäres Maximum aufweist, tritt dagegen häufiger tagsüber auf, ebenso wie Winde aus Süd bis Südsüdwest, die ebenfalls recht häufig vorkommen. Im Norden und Nordosten wirkt sich dagegen der Odenwald abschirmend aus, so dass der Wind nur selten aus diesen Richtungen weht. Windgeschwindigkeiten über 5 m/s kommen kaum vor, es überwiegen deutlich die Schwachwinde mit weniger als 3 m/s. Dementsprechend niedriger im Vergleich zu Mannheim ist das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in Heidelberg (1,8 m/s).

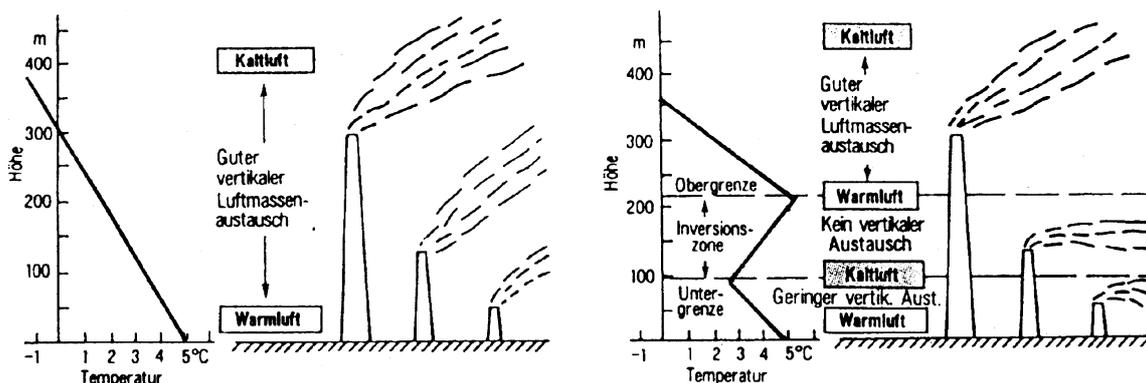
Ähnlich niedrig liegt die mittlere Windgeschwindigkeit an der Station Weinheim, die sich am Ausgang von Weschnitz- und Gorbheimer Tal befindet. Auch hier läßt sich anhand der überwiegend nachts auftretenden östlichen Strömungen ein Talabwind registrieren. Die Hauptwindrichtungen sind jedoch Süd bis Südsüdwest mit zusammen rund 33 %.

Eine etwas andere Windrichtungsverteilung zeigt sich an der im Kraichgau gelegenen Station Wiesloch. Durch die Öffnung des Geländes nach Osten hin liegt das Häufigkeitsmaximum im Gegensatz zu den anderen Stationen bei Ostnordost und Ost (mit einem Anteil von jeweils 18,2 % der Jahrestunden). Doch nicht nur die Öffnung des Geländes nach Osten hin spielt hier eine Rolle, sondern wiederum lokale Strömungen mit nächtlichen Talabwinden. Ein weiteres Häufigkeitsmaximum liegt mit ebenfalls 18,2 % bei Winden aus Westsüdwest. Das häufigere Auftreten von Windgeschwindigkeiten über 5 m/s und das Jahresmittel von 2,3 m/s weisen auf die freiere Anströmbarkeit von Wiesloch im Vergleich zu Heidelberg und Weinheim hin.

Der Anteil von Schwachwinden (hier definiert als Winde mit Geschwindigkeiten $< 3,0$ m/s) schwankt an den betrachteten Stationen zwischen 58,6 % (Mannheim-Nord) und 89,2 % (Weinheim). Damit sind die Windverhältnisse im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes zwar günstiger als in anderen Regionen Baden-Württembergs (z.B. Stuttgart-Bad Cannstatt 94,2 % Anteil an Schwachwinden, mittlere Windgeschwindigkeit 1,4 m/s), aber deutlich schlechter als in Städten in freien Lagen (z.B. Potsdam rund 40 % Anteil an Schwachwinden, mittlere Windgeschwindigkeit 4,6 m/s; Quelle DWD, zit. aus: STEINICKE & STREIFENEDER 1996).

Temperaturschichtung und Luftaustausch

Bei der Temperaturschichtung der Atmosphäre unterscheidet man zwischen labiler und stabiler Schichtung, je nachdem ob die Temperatur mit der Höhe abnimmt (Normalfall) oder gleichbleibt bzw. sogar zunimmt (Temperaturumkehr oder Inversion). Für das Stadtklima ist die Temperaturschichtung deshalb so bedeutsam, weil sie durch Förderung oder Unterbindung des vertikalen Luftaustausches zu einer raschen Verdünnung oder zu einer Anreicherung von Schadstoffen in der Luft führen kann. Dauern Wetterlagen mit stabiler Schichtung mehrere Tage an, was besonders im Herbst und Winter vorkommt, so erreichen die Schadstoffkonzentrationen oft gesundheitsgefährdende Werte und der Fachmann spricht von "Smog". Schon die sprachliche Zusammensetzung dieses Kurzwortes aus 'smoke' (= Rauch) und 'fog' (= Nebel) gibt den Hinweis auf die entscheidenden Ursachen dieser Erscheinung, nämlich die Kombination aus hoher Emission und austauscharmer Wetterlage. In Abb. 7 sind die klimatischen Voraussetzungen der Smogbildung schematisch dargestellt.



Links: Guter vertikaler Luftmassenaustausch, wobei mit zunehmender Höhe die Temperatur kontinuierlich abnimmt. Rechts: Smogsituation bei Inversionswetterlage, wobei die Temperatur mit zunehmender Höhe zweimal einer Temperaturumkehr unterworfen ist. Es findet zwischen einem oberen Warmluftkörper und einem darunter liegenden Kaltluftkörper kein vertikaler Luftmassenaustausch mehr statt. Dadurch reichern sich die Luftverunreinigungen in einem verhältnismäßig kleinen Raum an.

Abb. 7: Klimatische Voraussetzungen der Smogbildung (aus: ADAM 1988, S. 46)

Um die Gefährdung eines Gebietes durch Smog abschätzen zu können, muß man zum einen wissen, wie häufig austauscharme Wetterlagen vorkommen und zum zweiten wie hoch die generelle Schadstoffbelastung der Luft ist. In der "Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft" (kurz TA Luft) gibt es ein allgemein anerkanntes Verfahren zur Klassifizierung der Wettersituationen hinsichtlich der Ausbreitung von Schadstoffen. Anhand der Kriterien Tages- und Jahreszeit, Art und Menge der Bewölkung und Windgeschwindigkeit werden die Situationen in 6 Ausbreitungsklassen von sehr stabil bis sehr labil eingeteilt (vgl. Tab. 5).

Tab. 5: Die sechs Ausbreitungsklassen nach der TA Luft

Ausbreitungsklasse	Beschreibung	Eigenschaften
I	sehr stabil	Verdünnungsvermögen der Atmosphäre herabgesetzt. Tritt vornehmlich während der Nachtstunden bei wolkenarmen bzw. nebeligen Wetterlagen auf. Meist mit Inversionen verknüpft.
II	stabil	
III/1	neutral/leicht stabil	"Normales" Verdünnungsverhalten der Atmosphäre. Tritt vornehmlich an Tagen mit starker Bewölkung und/oder höheren Windgeschwindigkeiten auf.
III/2	neutral/leicht labil	
IV	labil	Erhöhtes Verdünnungsvermögen der Atmosphäre ("Thermik"). Tritt vornehmlich tagsüber bei geringer Bewölkung und nicht zu hohen Windgeschwindigkeiten auf.
V	sehr labil	

Da keine Zahlen zu den Häufigkeiten der Ausbreitungsklassen im Untersuchungsgebiet vorlagen, sollen näherungsweise die Werte an der ebenfalls im Oberrheingraben gelegenen Station Karlsruhe herangezogen werden. In Tab. 6 sind die Anteile an den Ausbreitungsklassen I bis V an der Station Karlsruhe im Vergleich mit Potsdam zusammengestellt.

Tab. 6: Ausbreitungsklassen nach TA Luft an der Station Karlsruhe (1975-1984) und Potsdam (1979-1988) (Quelle: DWD, zit. aus STEINICKE & STREIFENEDER 1996)

Station	I (sehr stabil)	II (stabil)	III/1 (neutral -leicht stabil)	III/2 (neutral -leicht labil)	IV (labil)	V (sehr labil)
Karlsruhe	18,6	22,4	32,3	13,5	7,0	4,2
Potsdam	4,2	10,9	62,7	13,0	6,3	2,9

An beiden Stationen sind die neutralen Klassen am häufigsten vertreten, allerdings beträgt der Anteil bei Potsdam nahezu 76 %, bei Karlsruhe nur rund 46 %. Die labilen Klassen kommen mit ca. 9 % (Potsdam) bzw. 11% (Karlsruhe) in etwa gleich oft vor. Bei den lufthygienisch kritischen stabilen Situationen weist Karlsruhe mit 41 % einen deutlich höheren Anteil auf als Potsdam mit 15 %.

Erfahrungsgemäß sind die stabilen Situationen mit Windgeschwindigkeiten unter 3 m/s (z.B. nach der Smogverordnung des Landes Baden-Württemberg als eine der Voraussetzungen für das Vorhandensein einer austauscharmen Wetterlage festgelegt) und einem höheren Anteil an östlichen und nördlichen Windrichtungen als bei den sonstigen Wetterlagen verbunden.

Bioklima

Das Bioklima als ein Maß für den Einfluß der meteorologischen Verhältnisse auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen lehnt sich im Untersuchungsraum eng an die naturräumliche Gliederung an. Der gesamte Bereich der Nördlichen Oberrheinebene und damit der größte Teil des Nachbarschaftsverbandsgebietes gehört zum Bereich mit häufiger Wärmebelastung und seltenen Kältereizen. Am Übergang zu Odenwald und Kraichgau schließt sich ein schmaler Saum mit ebenfalls seltenen Kältereizen und vermehrter Wärmebelastung an, d.h. die Wärmebelastung ist hier etwas geringer als in der Rheinebene. Der Großteil von Heidelberg und das Neckartal fallen ebenfalls in diese Kategorie. Im Kraichgau treten wie im Neckartal vermehrte Wärmebelastungen, jedoch etwas häufigere (gelegentliche) Kältereize auf. Mit zunehmender Meereshöhe nimmt die Wärmebelastung naturgemäß ab, die Kältereize zu. Die Gipfellagen des Odenwaldes weisen nur mehr gelegentliche Wärmebelastung und vermehrte Kältereize auf (DWD 1993b).

Zusammenfassend läßt sich festhalten, dass das Wohlbefinden der Menschen im Großraum Mannheim-Heidelberg vermehrt bis häufig durch Wettersituationen mit hoher Temperatur, hoher Luftfeuchte und geringer Luftbewegung (= Wärmebelastung) und nur selten bis gelegentlich durch Situationen mit niedriger Temperatur, erhöhter Windgeschwindigkeit und starker Bewölkung (= Kältereiz) beeinträchtigt wird.

4.2 Lufthygiene

Der Großraum Mannheim/Heidelberg gehört zum Smog-Gebiet Mannheim/Heidelberg, das entsprechend der Smog-Verordnung des Landes Baden-Württemberg vom Juni 1988 festgelegt ist. In diesen Gebieten sind gemäß § 44 BImSchG "Art und Umfang bestimmter Luftverunreinigungen in der Atmosphäre, die schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können, fortlaufend festzustellen sowie die für ihre Entstehung und Ausbreitung bedeutsamen Umstände zu untersuchen" (UMWELTMINISTERIUM B-W 1995). Im Rahmen dieser Aufgabe wurden verschiedene Messungen und Wirkungsuntersuchungen durchgeführt, deren Methoden und Ergebnisse im Luftreinhalteplan Großraum Mannheim/Heidelberg 1995 dargestellt sind. Abb. 8 auf der folgenden Seite zeigt die Städte und Gemeinden im untersuchten Plangebiet.

Der Luftreinhalteplan umfaßt folgende Teilbereiche:

- Emissionskataster
- Immissionskataster
- Wirkungsuntersuchungen
- Ursachenanalyse

Für die hier vorliegende Untersuchung sind in erster Linie die Ergebnisse aus den Immissionsmessungen interessant. Dennoch sollen zunächst einige Angaben zum Emissionskataster gemacht werden, weil diese die Hauptursachen für die lufthygienische Belastung im Großraum Mannheim/Heidelberg verdeutlichen.

Im Emissionskataster wurden für die 3 Quellengruppen Kleinf Feuerungsanlagen, Verkehr sowie Industrie und Gewerbe die Emissionen (Bezugsjahr 1992) bestimmt. Der Gesamtausstoß an Emissionen von 99.677 Tonnen im Bezugsjahr verteilt sich wie folgt auf die 3 Quellengruppen:

- | | |
|---------------------------|------|
| - Kleinf Feuerungsanlagen | 5 % |
| - Verkehr | 64 % |
| - Industrie und Gewerbe | 31 % |

Die Zahlen verdeutlichen, welcher hohen Anteil der Verkehr und hier insbesondere der Straßenverkehr (98% an den gesamten Verkehrsemissionen, der Rest stammt aus Schienen-, Schiff- und Flugverkehr) an der lufthygienischen Belastung im Untersuchungsraum hat. Verstärkt werden die negativen Auswirkungen des Verkehrs noch durch die niedrige Emissionshöhe im Vergleich zu gewerblichen und industriellen Quellen und durch den hohen Emissionsanteil des Straßenverkehrs bei den Problemstoffen Stickoxide und organische Gase und Dämpfe.

Doch nun zum Immissionskataster: um die Ergebnisse sowohl der flächenhaften als auch der punktuellen Schadstoffmessungen bewerten zu können, sind Beurteilungsmaßstäbe erforderlich. Dies sind zum einen die in der 1. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft) festgelegten Immissionswerte sowie die Immissionswerte der 22. und 23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV, 23. BImSchV). Neben diesen sog. Grenzwerten mit rechtsverbindlichem Charakter, die dem Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen dienen, gibt es weitere Bezugswerte, die sich stärker an dem Prinzip der "planerischen Vorsorge" orientieren als die rechtsverbindlichen Werte.

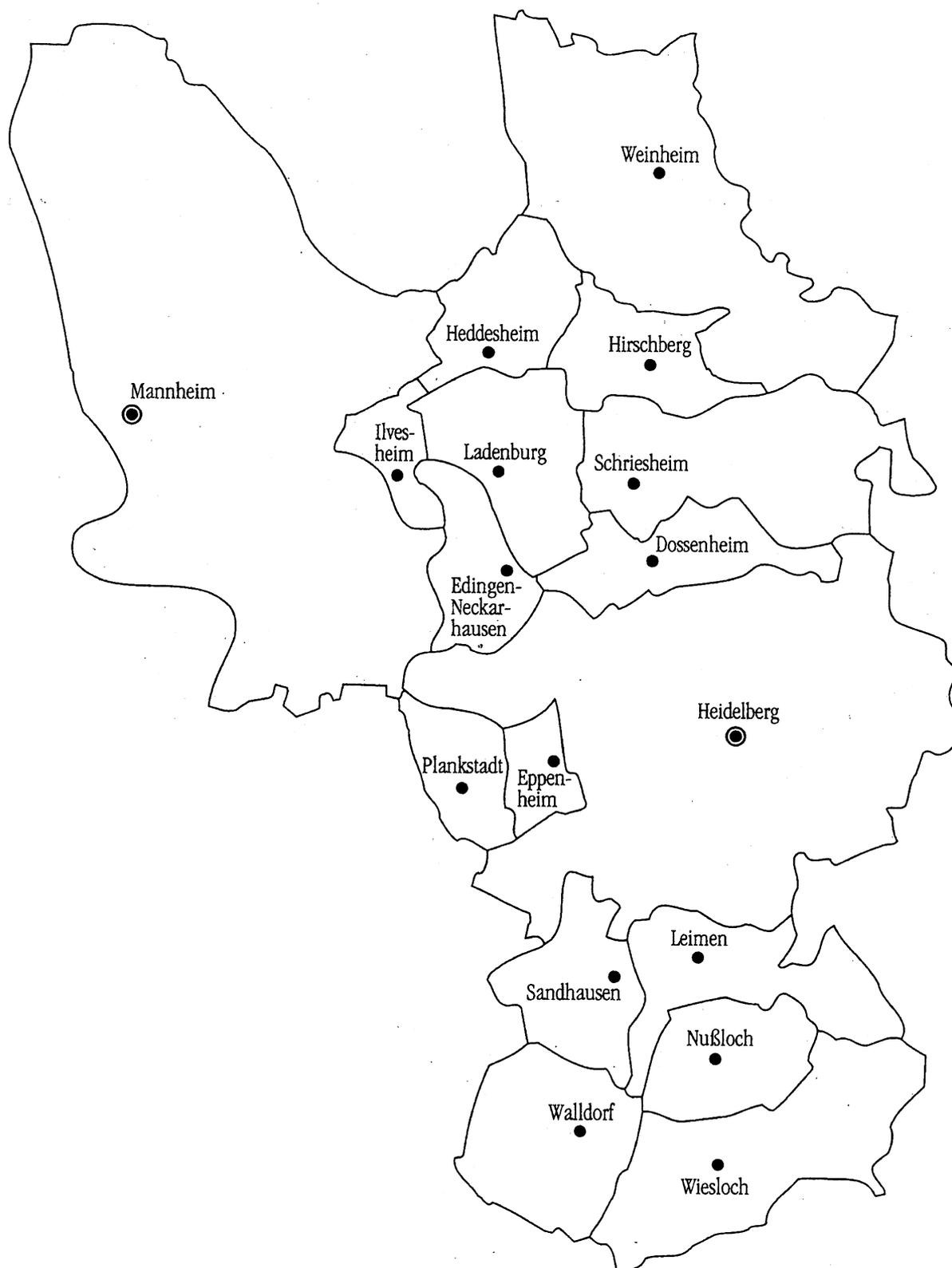


Abb. 8: Städte und Gemeinden des im Luftreinhalteplan Großraum Mannheim/Heidelberg untersuchten Gebietes (aus: UMWELTMINISTERIUM B-W 1995)

Einen Überblick über häufig eingesetzte Immissionskenngrößen gibt Tab. 7. Zusätzlich zu den darin aufgeführten Kenngrößen können die in der VDI-Richtlinie 2310 festgelegten "Maximalen Immissionskonzentrationen" (MIK-Werte) herangezogen werden (Tab. 8). Dabei handelt es sich um wirkungsbezogene, wissenschaftlich begründete und aus praktischen Erfahrungen abgeleitete Werte mit medizinischer und naturwissenschaftlicher Indikation. Da sich die MIK-Werte auf feste Zeiträume beziehen (z. B. ½ h, 1 h, 24 h), wird die Überschreitung eines Grenzwertes nicht vom Umfang des Meßwertkollektivs, sondern von den aufgetretenen Einzelwerten bestimmt. Dies birgt die Möglichkeit auch stichprobenartige Messungen zur Bewertung durchführen zu können [ALEXANDER 1995].

Grundsätzlich sei auf die Problematik der Immissionsbewertung hingewiesen, die sich trotz oder gerade wegen der Vielzahl von Grenz- und Leitwerten häufig schwierig gestaltet, zumal wirkungsbezogene Richtwerte oftmals über keinen rechtsverbindlichen Charakter verfügen und gesetzlich festgesetzte Grenzwerte nur den Charakter von Mindestanforderungen haben.

Tab. 7: Grenz (G)-, Prüf (P)- und Leitwerte (L) für Luftschadstoffimmissionen; Angaben in Fg/m³, bei Staubbiederschlag in g/(m²d) (aus: UMWELTMINISTERIUM B-W 1995; LfUG 2000)

	TA-Luft		BImSchG		EU-Richtlinien		LAI
	Jahresm.	98-Perz.	Jahresm.	98-Perz.	Jahresm.	98-Perz.	Jahresm.
SO ₂	140 (G)	400 (G)	-	350 (G)	40-60 (L)	-	-
NO	-	-	-	-	-	-	-
NO ₂	80 (G)	200 (G)	-	160 (P)	40 (G ab 2010)	135 (L)	-
CO	10 000 (G)	30 000 (G)	-	-	-	-	-
Schwebstaub	150 (G)	300 (G)	150 (G)	-	40-60 (L)	-	-
Staubbiederschlag	0,35 (G)	0,65 (G)	-	-	-	-	-
Benzol	-	-	10,0 (P)	-	5 (G ab 2010)	-	2,5 (L)
Ruß	-	-	8,0 (P)	-	-	-	1,5 (L)
Blei	2 (G)	-	-	-	0,5 (G ab 2010)	-	-

Erläuterungen zur Tab. 7:

Grenz- und Prüfwerte sind rechtsverbindlich. Bei ihrer Überschreitung / Nichteinhaltung müssen bzw. sollen Maßnahmen zur kurz- und längerfristigen Reduzierung der betreffenden Schadstoffe eingeleitet werden. **Leitwerte** haben keinen rechtsverbindlichen Charakter, sondern sie stellen Zielwerte dar, bei deren Überschreiten Maßnahmen zur langfristigen Reduzierung der Schadstoffe anzustreben sind.

Die TA Luft (1986) enthält Immissionswerte und Vorschriften zur Messung und Beurteilung von Immissionen. Streng genommen sind die TA Luft Immissionswerte nur im Zusammenhang mit den in der TA Luft ebenfalls vorgeschriebenen Verfahren zur Ermittlung der Schadstoffimmissionen gültig. Da sie aber die einzigen amtlichen Immissionswerte darstellen, werden sie häufig zur Beurteilung auch anderer

Belastungssituationen herangezogen.

In der Spalte „BlmSchG“ sind hier Werte aus der 22. BImSchV (SO₂, Schwebstaub) und der 23. BImSchV angegeben (NO₂, Benzol, Ruß). Die 22. BImSchV vom Oktober 1993 setzt die bisher in EU-Richtlinien festgesetzten Luftqualitätsnormen in innerstaatliches Recht um. Die Immissionswerte besitzen rechtsverbindlichen Charakter. In der 23. BImSchV vom Dezember 1996 sind Konzentrationswerte festgelegt, bei deren Überschreitung der Einsatz verkehrslenkender Maßnahmen zu prüfen ist. Aus wissenschaftlicher Sicht kann allerdings für die kanzerogenen Schadstoffe Benzol und Ruß kein Grenzwert angegeben werden, ab dessen Unterschreiten eine Unbedenklichkeit angenommen werden kann.

Unter „EU-Richtlinien“ sind in Tab. 7 verschiedene Richtlinien zusammengefaßt: EU-Richtlinie 80/779 (SO₂ und Schwebstaub), EU-Richtlinie 85/203 (NO₂), EU-Richtlinie 1999/30 (NO₂ und Blei) sowie für den Schadstoff Benzol eine erst im Entwurf vorliegende Richtlinie.

Für die kanzerogenen Schadstoffe Benzol und Ruß hat der Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI, 1991) Beurteilungsmaßstäbe zur Begrenzung des Krebsrisikos durch Luftverunreinigungen erarbeitet.

Tab. 8: MIK-Werte nach VDI 2310 (Angaben in Fg/m³)

	0,5 h	1 h	24 h	1 Jahr
CO	50 000		10 000	10 000
NO ₂	200		100	-
NO	1000		500	-
SO ₂	1000		300	-
Ozon	120		-	-
Schwebstaub	-	500	250	75

Die Auswertung der Immissionsmeßwerte im Großraum Mannheim/Heidelberg ergab, dass alle Grenz- und Richtwerte nach TA Luft und nach der 22. und 23. Bundesimmissionsschutzverordnung eingehalten werden. Allerdings werden insbesondere in Mannheim bei Schwebstaub und Staubniederschlag über 50% der Immissionswerte nach TA Luft und bei Stickstoffdioxid sogar 80% erreicht. Überschreitungen der Richtwerte nach VDI waren im Meßzeitraum nur für Ozon zu beobachten.

Schwefeldioxid

Bei diesem früher als Leitkomponente geltenden Schadstoff sind nur relativ geringe Belastungen im Untersuchungsraum festzustellen. Die in der TA Luft genannten Grenzwerte für das Jahresmittel werden zu maximal 19% ausgeschöpft, die Grenzwerte für die Spitzenbelastung (98-Perzentil) zu maximal 30%. Gründe für den Rückgang der SO₂-Immissionen sind der Einbau von Entschwefelungsanlagen in Kraftwerken und Industriebetrieben, der starke Ausbau der Fernwärme in Mannheim und Heidelberg und die Absenkung des Schwefelgehaltes beim Heizöl. Lediglich im Norden von Mannheim sind noch leicht erhöhte Konzentrationen festzustellen, die auf einen Einzelemitter zurückgehen.

Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und Benzol

Diese drei größtenteils unmittelbar auf den Strassenverkehr zurückzuführenden Schadstoffe spielen eine dominierende Rolle bei der Schadstoffbelastung des Untersuchungsgebietes. Im Innenstadtbereich von Mannheim werden die TA Luft - Grenzwerte beim Stickstoffdioxid für Jahresmittel und Spitzenbelastung zu 60 bis 80% ausgeschöpft, was auf die sehr hohe Verkehrsbelastung in Mannheim hinweist. Im übrigen Untersuchungsgebiet werden maximal 55% der Grenzwerte erreicht. Weitere Belastungsschwerpunkte sind bei allen 3 Schadstoffkomponenten die Autobahnen mit ihren Anschlußstellen und Kreuzen sowie die Innenstädte von Weinheim, Heidelberg, Walldorf und Wiesloch.

Der vom Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) empfohlene Leitwert für Benzol von $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird fast flächendeckend im gesamten Untersuchungsgebiet überschritten. In Mannheim liegt das Jahresmittel nahezu überall über $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An einigen Meßstellen in Mannheim und Heidelberg wurden sogar Werte von $8,4$ bis $9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, womit der Prüfwert von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fast erreicht wurde.

Ozon

Während des trockenen und warmen Sommers im Meßjahr 1992 wurden der MIK-Wert für Ozon sowie der Schwellenwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ häufig überschritten. Da Ozon ein sekundärer Luftschadstoff ist, der während des Transportes der Vorläufersubstanzen unter Einfluß von Sonnenstrahlung erst gebildet und in stärker verunreinigter Luft partiell wieder abgebaut wird, treten die höchsten Ozon-Belastungen in der Regel nicht in den Quellgebieten der Primärschadstoffe, also in den Stadtzentren und entlang der Straßen, sondern außerhalb der besonders schadstoffbelasteten Gebiete, insbesondere im ländlichen Raum auf (LfUG 2000).

Sowohl die Jahresmittel- als auch die 98-Perzentilwerte von Ozon zeigen im Untersuchungsraum eine relativ gleichmäßige Verteilung mit leicht erhöhten Konzentrationen am Rand des Meßgebietes und auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Niedrigste Werte wurden in den Stadtzentren und entlang stark befahrener Straßen festgestellt.

Staubniederschlag und Schwebstaub

Beim Staubniederschlag wurden im Jahresmittel maximal 54% des Grenzwertes nach TA Luft gemessen, beim 98-Perzentil maximal 67%. Erhöhte Belastungen durch Staubniederschlag wurden in Mannheim in den Bereichen Rheinhafen, Innenstadt, Friesenheimer Insel und Sandhofen bis Blumenau festgestellt. Weitere Schwerpunkte fanden sich westlich von Lützelsachsen sowie zwischen Handschuhsheim und Dossenheim.

Die Schwebstaubbelastung weist nur geringe Unterschiede im Untersuchungsraum auf. Die höchsten Werte wurden in Mannheim-Ladenburg, Mannheim-Mitte und auf der Friesenheimer Insel erreicht (maximal 41% des TA Luft Grenzwertes beim Jahresmittel und maximal 59% beim 98-Perzentil).

Um einen Überblick über die räumlichen Unterschiede in der Immissionsbelastung zu erhalten, ist es sinnvoll, nicht nur einen Schadstoff zu betrachten, sondern die drei bis vier höchsten Schadstoffkomponenten im Untersuchungsraum in einem sog. "Luftbelastungs- oder Luftverunreinigungsindex" zusammenzufassen.

Der Luftbelastungsindex für die Langzeitbelastung (LBI1, Jahresmittelwerte) bzw. Kurzzeitbelastung (LBI2, 98-Perzentilwerte) berechnet sich, indem man die gemessenen Konzentrationen durch ihre entsprechenden Grenz- oder sonstigen Bezugswerte teilt und diese Quotienten aufsummiert. Die Berechnung des Index erfolgt nach:

$$LBI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{G_i}$$

mit C_i = Kenngröße für die Konzentration bzw. Deposition des Stoffes i
 G_i = Bezugswert für den Stoff i
 n = Anzahl der im Index berücksichtigten Stoffe

(UMEG 1997)

Im vorliegenden Fall wurden zur Berechnung des Luftbelastungsindex die Schadstoffe Stickstoffdioxid, Benzol und Staubbiederschlag mit den in Tab. 9 angegebenen Bezugswerten verwendet. Vergleichsweise wurde zusätzlich Ozon in die Berechnung des Luftbelastungsindex miteinbezogen. Da Ozon jedoch, wie oben beschrieben ein sekundärer Luftschadstoff ist, der in stärker verunreinigter Luft auch wieder abgebaut wird, verwischten sich dadurch die Unterschiede in der Schadstoffbelastung zwischen den Ballungszentren und der stärker ländlich geprägten Umgebung. Daher wurde auf die Einbeziehung von Ozon letztendlich verzichtet.

Tab. 9: Bezugswerte zur Berechnung des LBI1 und LBI2 [UMEG 1997]

Schadstoff	Bezugswert	Quelle für Bezugswert
Stickstoffdioxid	I1: 80 µg/m ³ I2: 200 µg/m ³	TA Luft TA Luft
Benzol	I1: 2,5 µg/m ³ I2: 10 µg/m ³	Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) 23. BImSchV
Staubbiederschlag	I1: 0,35 g/(m ² d) I2: 0,65 g/(m ² d)	TA Luft TA Luft

Die Bewertung der Luftverunreinigung erfolgt in 9 Stufen von sehr niedriger bis extrem hoher Luftverunreinigung:

	LBI \leq 0,10	sehr niedrige Luftverunreinigung
0,10 <	LBI \leq 0,25	niedrige Luftverunreinigung
0,25 <	LBI \leq 0,60	mittlere Luftverunreinigung
0,60 <	LBI \leq 0,70	leicht erhöhte Luftverunreinigung
0,70 <	LBI \leq 0,90	erhöhte Luftverunreinigung
0,90 <	LBI \leq 1,00	hohe Luftverunreinigung
1,00 <	LBI \leq 1,10	deutlich überhöhte Luftverunreinigung
1,10 <	LBI \leq 1,50	sehr hohe Luftverunreinigung
1,50 <	LBI	extrem hohe Luftverunreinigung

In den Abb.9 und 10 im Anhang sind die Ergebnisse für die Langzeit- bzw. die Kurzzeitbelastung dargestellt.

Die Werte für die Langzeitbelastung bewegen sich im Untersuchungsgebiet überwiegend auf leicht erhöhtem bis erhöhtem Niveau (Mittelwert: 0,71) mit einer Schwankungsbreite von 0,49 (Minimum, zwischen Wallstadt und Heddeshcim) bis 1,23 (Maximum, Mannheim-Stadtmitte). Hohe bis deutlich überhöhte Luftverunreinigung findet sich bei Heidelberg-Kirchheim, in Mannheim-Rheinau, in Mannheim-Sandhofen, auf der Friesenheimer Insel und natürlich im Stadtzentrum von Mannheim, wo auch der Maximalwert mit einem LBI1 von 1,23 (gleichbedeutend mit sehr hoher Luftverunreinigung) berechnet wurde. Bei Heidelberg-Kirchheim ist anzumerken, dass die Beurteilungsflächen mit den höchsten Werten hier großteils außerhalb des bebauten Gebietes liegen. Ausschlaggebend für die hohe Luftbelastung in den genannten Schwerpunkten sind die Benzol- und Stickstoffdioxidwerte, auf der Friesenheimer Insel ist auch die Belastung durch Staubbiederschlag relativ hoch.

Bei der Kurzzeitbelastung beträgt das arithmetische Mittel aller Beurteilungsflächen 0,70, gleichbedeutend mit der Klasse „leicht erhöhte Luftverunreinigung“. Erwartungsgemäß schwanken die Werte bei der Spitzenbelastung stärker als bei der Langzeitbelastung, das Minimum (wiederum zwischen Wallstadt und Heddeshcim) liegt bei 0,39, das Maximum bei 1,50 (Friesenheimer Insel). Die Belastungsschwerpunkte Friesenheimer Insel, Mannheim-Zentrum, Mannheim-Rheinau und Heidelberg-Kirchheim sind geblieben. Hinzugekommen sind Gebiete mit hoher bis deutlich überhöhter Luftbelastung im Bereich Mannheim-Käfertal, Heidelberg-West und Sandhausen / Leimen-St. Ilgen. Beim LBI2 zeigt sich noch stärker als beim LBI1 die dominierende Rolle von Benzol für die hohen Werte in den Belastungszentren, wobei in Mannheim-Mitte hohe Stickstoffdioxidwerte hinzukommen. Bei der Beurteilungsfläche nördlich von Sandhausen fallen relativ hohe Staubbiederschlagswerte auf.

5 Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte zeigt eine flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes für das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim. Dabei gibt sie in erster Linie die Verhältnisse während autochthoner Wetterlagen, also windschwacher austauscharmer Hochdruckwetterlagen wieder. Über die Darstellung der Luftleitbahnen werden jedoch auch die auf alle Wetterlagen bezogenen, langjährigen mittleren Windverhältnisse berücksichtigt.

Aussagen zur thermischen Komponente basieren auf den klassifizierten Oberflächentemperaturen, den Nutzungsstrukturen und vorhandenen Klimadaten. Die dynamische Komponente des Klimas (= Strömungssituation) ergibt sich aus der Synthese der topographischen Verhältnisse (Relief), der aus den Nutzungsstrukturen abgeleiteten Bodenrauigkeit und der vorhandenen Windmeßdaten.

Da Vorgänge in der unteren Atmosphäre betrachtet werden, sind die Übergänge zwischen den Flächen fließend, d.h. die Abgrenzungen in der Klimafunktionskarte sind nicht als „scharfe“ Grenzen, sondern eher als „Grenzsäume“ zu sehen. Ebenso besitzen die dargestellten Pfeilsymbole „symbolhaften“ Charakter, d.h. aus ihrer Lage und Größe auf der Karte lassen sich keine exakten quantitativen Angaben (z.B. zu Reichweite oder Mächtigkeit der Strömungen) ableiten. Dasselbe gilt auch für die im nächsten Kapitel beschriebene Bewertungskarte Klima/Luft.

Um einen Eindruck von den lokalklimatischen Verhältnissen im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim zu bekommen, werden im Folgenden die auf der Klimafunktionskarte dargestellten thermischen und dynamischen Kategorien zunächst allgemein erläutert und dann räumlich zugeordnet. Die zugehörige Legende ist in Abb. 11 im Anhang dargestellt.

5.1 Siedlungsbereiche

Das Innenstadtklima „**Ü+**“ zeigt die stärksten Veränderungen der Klimaelemente gegenüber dem Freiland: stark erhöhte Temperaturen, sehr geringe nächtliche Abkühlung, geringe relative Feuchte und starke Einschränkung der Durchlüftung bei gleichzeitiger Böigkeit des Windes. Ursachen dafür sind die hochverdichtete Bebauung mit einem Versiegelungsgrad > 70 % und der geringe Grünflächenanteil sowie die zentrale Lage innerhalb des Stadtkörpers. Die Bebauung ist überwiegend höhergeschossig (> 3 Geschosse), zum Teil treten extreme Bauhöhenunterschiede auf und es finden sich zahlreiche Straßenschluchten. Ein weiteres wichtiges Kennzeichen ist die hohe lufthygienische Belastung, wobei als Hauptemissionsquellen der Autoverkehr, der Hausbrand und - bei gewerblicher/industrieller Nutzung - die Industrie- und Kraftwerksschornsteine zu nennen sind. Das Innenstadtklima ist insgesamt als stark belastend für den Menschen einzustufen.

Der Bereich „**Ü+**“ umfaßt den gesamten Stadtkern Mannheims beiderseits des Neckars und erstreckt sich nach Süden bis Mannheim-Rheinau. Des weiteren fallen in diese Kategorie die gewerblich genutzten Teile in Waldhof, Luzenberg und Käfertal sowie der Industriehafen. Weitere „**Ü+**“ - Gebiete sind der Innenstadtbereich Heidelbergs vom Südufer des Neckars bis nach Rohrbach, die Gewerbegebiete in HD-Pfaffengrund und zwischen HD-Rohrbach und Leimen (Gewerbegebiet Rohrbach Süd), das Gewerbegebiet Ilvesheim und das Einkaufszentrum im Norden Brühls.

Die Klimaeigenschaften von Gebieten der Kategorie „Ü“ liegen zwischen den intensiven innerstädtischen Überwärmungsbereichen und den nur geringfügig überwärmten, locker bebauten Siedlungsbereichen. Die immer noch deutlich geringere nächtliche Abkühlung im Vergleich zum Freilandklima findet ihre Ursachen in dem relativ hohen Versiegelungsgrad (zwischen 50 und 70 %), den eingeschränkten Be- und Entlüftungsmöglichkeiten und der nicht ausreichenden Durchgrünung. Die Bebauung ist meist blockförmig und mehrgeschossig (ca. 2 bis 5 Geschosse), die Bauhöhe variiert zum Teil stärker und es gibt bereits Straßenschluchten. Problematisch sind auch hier die entstehenden Emissionen mit den gleichen Quellen wie beim Innenstadtklima. Damit müssen dem Klimaraum insgesamt lufthygienisch und klimatisch mäßig belastende Eigenschaften zugeschrieben werden.

In größeren Städten schließen sich Gebiete der Kategorie „Ü“ meist ringförmig an die am stärksten überwärmten Innenstadtbereiche an. Dies ist auch in Mannheim und Heidelberg der Fall. In Mannheim fallen somit Teile von Waldhof, Käfertal, Neckarau und Rheinau in diese Kategorie. Ebenso gehören dazu: Mannheim-Sandhofen, Teile der Gartenstadt und Blumenau, der Großteil Vogelstangs, ein kleiner Bereich in Seckenheim, ganz Feudenheim, Neuostheim und Hochstätt sowie die Gewerbegebiete auf der Friesenheimer Insel und in Mannheim-Friedrichsfeld.

In Heidelberg zählen Teile von Pfaffengrund, Kirchheim, Rohrbach, Neuenheim und Handschuhsheim sowie das Gewerbegebiet in HD-Wieblingen zur Kategorie „Ü“.

Weitere „Ü“-Gebiete sind: der Südwestteil Brühls, der Großteil Schwetzingens und Oftersheims, der Ostteil Plankstadts, nahezu ganz Ketsch, die Stadtkerne von Sandhausen, Nußloch, Heddeshaim und Ladenburg, das Gewerbegebiet Ladenburg, Leimen, der östliche Bereich Eppelheims und Teile von Dossenheim und Schriesheim

Die Siedlungsbereiche der Kategorie „Ü-“ weisen immer noch eine deutliche Veränderung der Klimatelemente im Vergleich zum Freiland auf. Die relativ lockere Bebauung mit Einzelhäusern und kleineren Wohnblocks (meist nicht höher als 3 Geschosse), der geringe Versiegelungsgrad (< 50 %) und die gute Durchgrünung wirken jedoch einer stärkeren Überwärmung entgegen und unterstützen die Durchlüftung. Die schwache bis mäßige lufthygienische Belastung stammt in erster Linie vom Autoverkehr und vom Hausbrand. Insgesamt besitzt das Siedlungsklima der Kategorie „Ü-“ für den Menschen günstige Eigenschaften.

Typische Vertreter dieser Kategorie sind kleinere Umlandgemeinden und die Randbezirke größerer Städte. In Mannheim handelt es sich dabei um Schönau, Wallstatt, Teile Blumenau und der Gartenstadt, Neuhermersheim, das Maimarktgelände sowie Teile von Neckarau, Rheinau, Seckenheim und Friedrichsfeld. In Heidelberg gehören zu den „Ü-“ - Gebieten die Stadtteile Emmertsgrund, Ziegelhausen und Schlierbach, ein kleiner Teil Pfaffengrunds sowie die überwiegenden Teile von Wieblingen, Neuenheim und Handschuhsheim.

Von den weiteren Städten und Gemeinden im Untersuchungsgebiet fallen in die Kategorie „Ü-“: der Großteil Brühls, Randbezirke von Schwetzingen, Oftersheim und Eppelheim, der westliche Teil Plankstadts, der größte Teil von Sandhausen und Nußloch, Leimen-St. Ilgen sowie der östlichste Bereich Leimens, die Südostecke Dossenheims, der Großteil Schriesheims, Heddeshaims und Ladenburgs sowie ganz Leutershausen, Großsachsen, Edingen und Neckarhausen. Auch kleinere Gewerbegebiete im

Umland können zu dieser Kategorie zählen, wie z.B. das Gewerbegebiet zwischen Mannheim-Friedrichsfeld und Edingen oder östlich von Heddesheim.

Beim Blick auf die Klimafunktionskarte fällt auf, dass die Städte entlang der Bergstraße einen vergleichsweise hohen Anteil an den roten, auf Überwärmung hindeutenden Farben aufweisen und dennoch größtenteils der Kategorie „Ü-“ zugeordnet werden. Diese Besonderheit wurde bereits im Kapitel 3 ansatzweise erläutert. Neben den Faktoren Bebauungsstruktur und Vegetationsanteil spielt das Relief eine wichtige Rolle für die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse in einer Siedlung. Die während windschwacher Strahlungsnächte gebildete Kaltluft fließt hangabwärts und sammelt sich in Mulden und Talbecken. Dementsprechend tief sinken hier die nächtlichen Temperaturen ab. Am Oberhang dagegen werden die abfließenden Kaltluftmassen durch wärmere Luftpakete aus der Höhe ersetzt, so daß es hier deutlich wärmer ist als in den Tieflagen. Man spricht von der „wärmebegünstigten oberen Hangzone“. Die Lage einer Siedlung am Oberhang verstärkt ihre nutzungsbedingte Überwärmung, verbessert jedoch gleichzeitig die Durchlüftungsmöglichkeiten. Im allgemeinen ergeben sich daraus bioklimatisch günstige Bedingungen. Bei nicht zu starker Windexponiertheit sind solche Hänge, insbesondere bei Südexposition, optimale Wohnstandorte.

5.2 Kaltluftgebiete

Darunter sind überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen sowie innerstädtische größere Grünflächen zu verstehen, über denen aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung eine starke Abkühlung der bodennahen Luftschichten erzielt wird, auf denen also sozusagen Kaltluft „entsteht“. Je nach der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Neigung, Lage, Bewuchs) bleibt die kühle Luft auf der Fläche liegen oder sie fließt - da sie dichter und damit schwerer ist als warme Luft - der Schwerkraft folgend ab. Diese Bewegung muß man sich wie die eines zähen Breies oder von Honig auf einer geneigten Unterlage vorstellen. Über die für das Abfließen der Kaltluft nötige Neigung gibt es unterschiedliche Angaben in der Fachliteratur. Während GERTH (1986) einen Wert von 2 ° (- 3,5 %) angibt, sprechen HÄCKEL (1990) und BARLAG (1993) von Werten zwischen 0,5 und 1 ° (- 1 bis 2,2 %). Einigkeit besteht jedoch darin, daß neben der Neigung die Rauigkeit des Untergrundes eine wichtige Rolle in Bezug auf die Abflußmöglichkeiten spielt. Für die Klassifizierung der Kaltluftgebiete im Raum Heidelberg-Mannheim wurde ein mittlerer Wert von 1,5 % als Grenzneigung für den Kaltluftabfluß genommen.

Die Funktion von Wäldern im Hinblick auf Kaltluftproduktion und -abfluß ist in der Literatur nicht unumstritten (GERTH 1986, HAUF u. WITTE 1985, NOACK 1986, PARLOW 1983). Die Angaben zur Kaltluftproduktivität eines Waldes reichen von 0,6 m³/(m²h) bis weit über 20 m³/(m²h). Bei Wäldern ist die Hauptenergieumsatzfläche nicht der Erdboden, sondern das Kronendach. Die dort durch nächtliche Ausstrahlung abgekühlten Luftmassen sinken in den Stammraum und werden dort zum Teil wieder erwärmt. Dies ist nach einer älteren Untersuchung von BAUMGARTNER (zit. aus GERTH 1986) der Grund für die im Vergleich zu Freiflächen geringe Kaltluftproduktionsrate von Wäldern. GOSSMANN dagegen (zit. aus PARLOW 1983) sieht eben diesen Kreislauf als Ursache für die kontinuierliche Kaltluftproduktion von Wäldern.

Ungeklärt ist zudem, ob bzw. in welchem Maße die kühlen Luftmassen aus dem Stammraum abfließen können oder ob der Abfluß hauptsächlich oberhalb des Kronendaches stattfindet. So kamen z.B. HAUF und WITTE (1985) in ihrer Fallstudie zu dem Ergebnis, daß der Kronenraum für den Kaltluftabfluß ein Strömungshindernis darstellt, während der lichte Stammraum relativ ungehindert durchströmt werden kann. Andere Untersuchungen erbrachten dagegen Hinweise darauf, daß der Kaltluftabfluß vorwiegend oberhalb des Kronendaches erfolgt, weil dort ein stärkeres Geschwindigkeitsmaximum gefunden wurde als im Stammraum (FINKE u. LÖBEL, zit. aus KRdL 1993). PARLOW (1983) hat bei Messungen im Gelände festgestellt, daß sich der Kaltluftabfluß an bewaldeten Hängen in erster Linie im Bereich von Hohlformen, also Tälern und Mulden vollzieht und weniger als flächiger Abfluß über den gesamten Hang. Auch wenn die Abflußvorgänge noch nicht vollständig geklärt sind, so hat sich in jüngerer Zeit doch die Ansicht durchgesetzt, daß bewaldete Hänge sehr effektive Kaltluftproduzenten sind, weil sie erstens ein größeres Kaltluftvolumen produzieren als Freiflächen und weil sie zweitens durch die zeitliche Verzögerung des Kaltluftabflusses auch tagsüber noch zu einer Abkühlung der Umgebung beitragen können. Lediglich in Bezug auf die Temperatur sind Freiflächen die "besseren" Kaltluftproduzenten, d.h. über Freiflächen kühlt die Luft stärker ab als über Wäldern. In bestimmten Fällen können Wälder aber auch Strömungshindernisse für Kaltluftabflüsse darstellen, z.B. wenn ein dichter Waldstreifen ein ansonsten unbewaldetes Tal quert.

Die Bedeutung der Kaltluft in ihrer Wirkung für den Menschen muß differenziert betrachtet werden. Fließen saubere Kaltluftmassen in ein überwärmtes Stadtgebiet ein, so bringen sie Abkühlung und frische Luft, sie sind also thermisch und lufthygienisch als günstig zu beurteilen. Nimmt die Luft auf ihrem Weg in die Stadt Schadstoffe auf, so wirkt sie zwar immer noch kühlend, trägt aber nicht mehr zur Verbesserung der Luftgüte bei. Sammelt sich die kalte Luft in Mulden und Talauen, so ist sie sowohl thermisch als auch lufthygienisch als ungünstig zu bewerten: es kommt zu erhöhter Frost- und Nebelbildung und durch die stabile Schichtung zur Anreicherung von Luftschadstoffen, sofern Emittenten im Sammelgebiet liegen.

Kaltluftentstehungsgebiete mit unterschiedlich guten Abflußmöglichkeiten

Dabei handelt es sich um überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzte Hangbereiche mit guten Kaltluftentstehungs- und

- guten (Hangneigung > 7 %),
- mäßigen (Hangneigung > 3,5 %) bzw.
- eingeschränkten (Hangneigung > 1,5 bis 3,5 %) Kaltluftabflußmöglichkeiten.

Gebiete mit Kaltluftentstehungs- und Abflußmöglichkeiten finden sich im Untersuchungsraum nur im östlichen Teil, also im Bereich von Odenwald und Kraichgau. In den höheren und steileren Lagen sind die Abflußmöglichkeiten meist gut, mit Annäherung an die Ebene werden die Hänge flacher und besitzen dementsprechend mäßige bis eingeschränkte Bedingungen für den Kaltluftabfluß.

Kaltluftsammlgebiete

Das sind Gebiete mit Kaltluftentstehungsfunktion, jedoch aufgrund der geringen Geländeneigung (<= 1,5 %) ohne oder nur mit stark eingeschränkten Abflußmöglichkeiten sowie Gebiete mit

ausgeprägter Kaltluft sammelfunktion.

Sämtliche Landwirtschafts- und Waldflächen in dem zur Oberrheinebene gehörenden größten Teil des Untersuchungsgebietes fallen aufgrund der Ebenheit des Geländes in diese Kategorie. Gebiete mit ausgeprägter Sammelfunktion und den damit verbunden oben erwähnten ungünstigen klimatisch-lufthygienischen Bedingungen konzentrieren sich vor allem auf die Flußniederungen entlang von Rhein und Neckar. Diese wurden auf der Bewertungskarte (vgl. hierzu die Ausführungen im Kap. 6.2) nochmals extra durch ein Piktogramm gekennzeichnet.

Innerstädtische Kaltluftentstehungsgebiete

Dazu gehören alle größeren innerstädtischen Freiflächen mit Kaltluftentstehungsfunktion (Parks, Friedhöfe, öffentliche & private Grünanlagen etc.).

In Abhängigkeit von ihrer Ausdehnung und Lage erfüllen innerstädtische Grünflächen sowohl klimatische und lufthygienische, als auch weitere ökologische Funktionen im städtischen Umfeld (Tab. 10), die allerdings häufig durch unterschiedliche Nutzungen (Erholungsnutzung, Verkehrswege und -anlagen, Randbebauung) beeinträchtigt sind (KRdL 1993). Die klimatische Wirksamkeit von Freiflächen ist im wesentlichen von ihrer Größe, den Reliefbedingungen und der Vegetationsstruktur aber auch von der Dichte und Durchlässigkeit der Randbebauung abhängig. Intensität und Reichweite der kühlenden Wirkung von Grünflächen steigen im Allgemeinen mit zunehmender Größe an. Bei Flächengrößen unter 5 ha sind kaum noch Temperaturdifferenzen zur bebauten Umgebung festzustellen.

Tab. 10: Auswirkungen von Grün- und Kleingartenanlagen

Stadtklimatische Ausgleichsfunktionen	Weitere Funktionen
<ul style="list-style-type: none"> < Erhöhung der Klimavielfalt < Kaltluftproduktion in der Nacht < Schattenspende durch Vegetation tagsüber < Erhöhung der Luftfeuchtigkeit durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen < Temperatenausgleich im Sommer < Bei geringem aerodynamischen Widerstand (also kein dichter Baumbestand) Wirkung als Luftleitbahn < z. T. Filterfunktion für Stäube [FRANKE 1977] und in geringem Maße sogar für gasförmige Luftbeimengungen [KRdL 1988] 	<ul style="list-style-type: none"> < Rückhaltung und Versickerung von Regenwasser (durch die unversiegelten Flächen kann Niederschlagswasser versickern und dem Grundwasserkörper zugeführt werden; bei Starkregenereignissen wird dadurch außerdem die Kanalisation entlastet) < Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten < Auflockerung des Stadtbildes < Erholungsfunktion < Entlastung der Erholungsgebiete im Umfeld der Stadt < Soziale Funktion (Kommunikation, Nachbarschaftshilfe, ...) < Verringerung von Transportwegen (lokal erzeugte Produkte)

Auf der Klimafunktionskarte für den Nachbarschaftsverband wurden nur Flächen größer 3 ha als innerstädtische Freiflächen ausgewiesen. Beispiele sind in Mannheim die großteils baumbestandene

Freifläche nördlich der Vereinigten Glaswerke, die Grünflächen an der Radrennbahn, der Herzogenriedpark, der Bereich am Wasserturm, der Luisenpark und der Schloßgarten. In Heidelberg wurden lediglich die Grünflächen am Neckarufer als „Ki“ - Gebiete ausgewiesen, die übrigen Grünflächen (wie z.B. der Friedhof) wurden aufgrund ihrer Stadtrandlage den außerstädtischen Kaltluftgebieten zugeordnet.

5.3 Strömungsparameter

Regionale Luftleitbahnen

Unter den Luftleitbahnen von regionaler Bedeutung sind großräumige Strukturen zu verstehen, die aufgrund ihrer geringen Rauigkeit, ihrer Richtungsgebung relativ zu den Hauptwindrichtungen und geringer Schadstoffbelastung den Austausch belasteter Luftmassen in Siedlungsgebieten gegen weitgehend frische Luft aus der Umgebung begünstigen. Meist handelt es sich dabei um Flußtäler, welche die Siedlungsgebiete queren. Sie ermöglichen den Luftaustausch sowohl bei autochthonen Wetterlagen als auch bei den am häufigsten auftretenden Windrichtungen.

Regionale Luftleitbahnen sind in Mannheim der Rhein, der Neckar, der nördliche Teil des Altrheins sowie die Bahnanlagen zwischen Neuhermsheim und Mannheim-Hauptbahnhof. Ebenfalls als regionale Luftleitbahnen fungieren die Neckarabschnitte im Bereich Ilvesheim / Mannheim-Seckenheim und Ladenburg / Neckarhausen. In Heidelberg ist der Neckar nicht nur eine Luftleitbahn, sondern zugleich Abflußbahn für den Kaltluftabfluß aus dem Odenwald. Des weiteren sind die radial auf das Stadtzentrum zulaufenden Landwirtschaftsflächen zwischen HD-Pfaffengrund und HD-Kirchheim als Luftleitbahnen von regionaler Bedeutung anzusehen.

Lokale Luftleitbahnen

Hier handelt es sich um kleinräumige Strukturen, die den Luftaustausch innerhalb der Stadt begünstigen. Voraussetzungen sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichende Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf der Strömungsbahnen. Als Faustregel für die Breite der Bahn wird im Handbuch „Stadtklima und Luftreinhaltung“ [Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL) 1988] eine Mindestbreite von der 10fachen Höhe der Randbebauung genannt, andere Quellen fordern eine Mindestbreite von 50 m und eine Mindestlänge in einer Richtung von 1000 m [MAYER, BACKTRÖGE u. MATZARAKIS 1994]. Wichtige Merkmale sind außerdem ihre Richtungsgebung durch vorhandene Strukturen und der Zusammenhang mit der Windrichtungsverteilung. Als Beispiele wären Grünflächen mit niedrigem Bewuchs, Wasserflächen, mehrgleisige Bahnanlagen und größere Straßen zu nennen. Die Kanalisierung der Luftströmungen ist in starkem Maße von den jeweiligen Strömungsrichtungen der Wetterlagen abhängig. Während windschwacher Hochdruckwetterlagen dienen die Luftleitbahnen als potentielle Einströmschneisen für Flurwinde. Die Luftgüte wird dabei zunächst nicht betrachtet, d.h. die transportierten Luftmassen können sowohl belastet (z.B. bei Straßen) als auch unbelastet sein (z.B. bei Grünanlagen). Eine Differenzierung in belastete und unbelastete Luftleitbahnen erfolgt im Rahmen der Bewertungskarte Klima/Luft.

Zu den lokalen Luftleitbahnen in Mannheim gehören

- die Landwirtschafts- bzw. sonstigen Freiflächen zwischen Sandhofen und Schönau, im Bereich Käfertal und Vogelstang sowie zwischen Wallstadt und Feudenheim,
- die Gleisanlagen im Gewerbegebiet auf der Friesenheimer Insel, in Käfertal und in Friedrichsfeld,
- der südliche Teil des Altrheins (Industriehafen), der Mühlauhafen und der Verbindungskanal sowie die Hafenbecken im Rheinau-Hafen,
- die Frankenthaler Strasse, die Diffenésstrasse von der Querung über den Altrhein bis zum Käfertaler Sammelbahnhof,
- die B38 von der Magdeburger Strasse bis etwa zur Höhe Rebenstrasse.

In Heidelberg wurden folgende lokale Luftleitbahnen ausgewiesen:

- die A5 zwischen HD-Pfaffengrund und Eppelheim und der Zubringer zum Autobahnkreuz Heidelberg (A656),
- die Nordwest-Südost verlaufenden Gleisanlagen im Bereich Hauptbahnhof und Güterbahnhof,
- die überwiegend als Sportanlagen bzw. Kleingärten genutzten Freiflächen im Bereich des Meßplatzes nördlich von Kirchheim sowie die Landwirtschaftsflächen zwischen HD-Rohrbach und dem Gewerbegebiet Rohrbach-Süd.

Des weiteren übernehmen die Grünzäsuren zwischen Leimen bzw. Nußloch und St. Ilgen, zwischen St. Ilgen und Sandhausen sowie zwischen Schwetzingen und Plankstadt die Funktion lokaler Luftleitbahnen. In Schwetzingen wurden außerdem die Gleisanlagen als Luftleitbahn ausgewiesen.

Kaltluftabflüsse (Talabwinde)

In vom Relief vorgegebenen Strukturen (Täler, Rinnen) kommt es während windschwacher Strahlungswetterlagen zur Ausbildung von Hang- bzw. Berg-Tal-Wind-Zirkulationen mit talaufwärtiger Strömung am Tage und talabwärtiger Strömung in der Nacht. Von Bedeutung sind hier vor allem die nächtlichen hang- bzw. talabwärtigen Strömungen, mit denen Kaltluft ins Stadtgebiet gelangt. Volumen und Geschwindigkeit der Ströme sind abhängig von der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Größe, Nutzungsart) und der Abflußbahn (Querschnitt, Rauigkeit, Gefälle). Als für die Belüftung einer Stadt relevante Größe eines Kaltluftstromes gilt eine Mindestabflußstärke von 10.000 m³/s [BMBau 1979, zit. aus KRdL 1993]. Bei einer durchschnittlichen Kaltluftproduktionsrate von Freiflächen zwischen 10 und 15 m³/(m²h) entspricht dies einer Einzugsgebietsgröße zwischen 240 und 360 ha. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kaltluftabflüsse liegt bei 1,5 bis 2 m/s; sie kann jedoch bei großen Berg-Talwindsystemen auch deutlich höher sein. Die vertikale Mächtigkeit variiert von wenigen Metern bis zu über 100 m, die horizontale Reichweite am Talausgang von einigen 100 m bis zu wenigen Kilometern [KRdL 1993].

Die Qualität des Kaltluftstromes hängt davon ab, ob sich in seinem Einzugsgebiet bzw. in seiner Abflußbahn Emittenten befinden. Eine Differenzierung in belastete und unbelastete Kaltluftabflüsse erfolgt im Rahmen der Bewertungskarte Klima/Luft.

Je nach Größe und Beschaffenheit von Einzugsgebiet und Abflußbahn wurden die im Untersuchungsraum auftretenden Kaltluftabflüsse in verschiedene Kategorien eingeteilt.

Bergwind (Talabwind) aus dem Odenwald

Hier handelt es sich um ein großräumiges Berg-/Talwindssystem aus dem Odenwald mit bis zu mehreren Kilometern in die Ebene hinein reichenden kühlen, nächtlichen Strömungen. Am ausgeprägtesten ist dieses lokale Windsystem im Neckartal, es läßt sich jedoch auch bei den übrigen Tälern entlang der Bergstrasse feststellen. Die Reichweite der Strömungen läßt sich nicht genau bestimmen. Sie hängt unter anderem ab von der Größe des Einzugsgebietes und vom Vorhandensein von Strömungshindernissen, aber auch von den jeweiligen meteorologischen Bedingungen. Für die Darstellung auf der Klimafunktionskarte wurde von einer mittleren Reichweite zwischen 2 km und 4 km ausgegangen. Die Signatur für „Bergwind“ wurde auf der Klimafunktionskarte zusätzlich zu den Pfeilen für die Kaltluftabflüsse eingeführt, um die großräumige Kühl- und Frischluftversorgungsfunktion des Odenwaldes hervorzuheben.

Intensive Kaltluftabflüsse unterschiedlicher Dimensionierung (Talabwinde)

Die intensiven Kaltluftabflüsse finden sich vor allem in den nicht bewaldeten, steileren Tälern, wie z.B. dem Tälchen bei Großsachsen, dem Kanzelbachtal (bei Schriesheim), Teilen des Mühlbachtals (bei Handschuhsheim) und des Gossentales sowie natürlich im Neckartal.

Verzögerte Kaltluftabflüsse unterschiedlicher Dimensionierung (Talabwinde)

Durch natürliche oder künstliche Hindernisse wie z.B. Verengung des Talquerschnittes, Pflanzriegel, Dämme oder Bebauung wird der Kaltluftstrom abgebremst. Dadurch wird die Reichweite der Kaltluftmassen eingeschränkt und bei Wärmezufuhr infolge von Bebauung verlieren sie mehr oder weniger schnell ihre Kühlwirkung. Neben der Erhöhung der Bodenrauigkeit kann auch geringes Gefälle oder ein stark gewundener Talverlauf den Kaltluftabfluß verzögern.

Aufgrund der dichten Bewaldung des Odenwaldes fallen die meisten Kaltluftabflüsse in diese Kategorie. Beispiele sind die Seitentälchen des Kanzelbachtals, das Peterstal und Steinbachtal (bei HD-Ziegelhausen) und die Tälchen nördlich von Schatthausen.

Flächenhafte Kaltluftabflüsse (Hangabwinde)

An Hängen mit geringer Rauigkeit und ausreichender Neigung fließt die Kaltluft flächig über den gesamten Hang ab. Mächtigkeit, Geschwindigkeit und Reichweite sind bei diesen flächenhaften Abflüssen deutlich geringer als bei den oben beschriebenen, in Tälern kanalisierten Kaltluftströmen. Flächenhafte Kaltluftabflüsse bilden sich im Untersuchungsgebiet vor allem am Übergang des Odenwaldes in die Oberrheinebene aus.

Strömungsbarrieren

Kompakte Bebauung, dichte Gehölzbestände oder Dämme führen zur Unterbrechung oder Verzögerung von Luftströmungen und zum Luftstau. In erster Linie betrifft dies Schwachwindsituationen, bei denen der Horizontalaustausch eingeschränkt und durch Barrierewirkung zusätzlich mehr oder weniger unterbunden wird. Laut GESAMTHOCHSCHULE KASSEL [1991] kann sogar thermische Überhitzung (z.B. von Straßen oder Bahnanlagen) zu einem Barriere-Effekt führen. Hier sei noch auf die Ambivalenz bestimmter Strukturen hingewiesen: so kann eine breite geradlinige Straße oder eine Bahnlinie die Funktion einer

Luftleitbahn erfüllen und gleichzeitig eine thermische und/oder dynamische Barriere für Kaltluftströme darstellen.

Bei den Beispielen im Untersuchungsraum sei hier auf die bereits beschriebenen Kaltluftabflüsse und Luftleitbahnen verwiesen, da Barrieren immer im Zusammenhang mit diesen Strömungen auftreten.

5.4 Sonstige klimarelevante Flächen

Wasserflächen

Wasserflächen mit ausreichender Größe (>1ha) wirken ausgleichend auf den Temperatur- und Feuchtehaushalt ihrer Umgebung. Die erhöhte Verdunstung kann allerdings auch zu vermehrter Nebelbildung führen, wenn sich das Gewässer z.B. in einem Kaltluftammelgebiet befindet. Wie weit Temperaturerniedrigung bzw. Feuchteerhöhung ins bebaute Gebiet hinein spürbar sind, hängt von der Ufergestaltung (offen, Damm, Wand), der Bebauungsdichte und der Breite der zum Gewässer mündenden Straßen ab. In Japan durchgeführte Messungen belegen z.B., daß bei 100 m breiten, senkrecht zum Fluß verlaufenden Straßen in einer Entfernung von 50 m zum Ufer eine Temperaturreduktion von etwa 2 K erfolgt. Nach etwa 300 m wurde immerhin noch eine Temperaturabsenkung um 1 K ermittelt. Änderungen der relativen Luftfeuchtigkeit waren bei dicht bebauten Gebieten nur bis maximal 50 m nachweisbar, bei aufgelockerter Bebauung dagegen bis zu einer Entfernung von 150 m [KUTTLER 1993].

Ob sich zwischen einem innerstädtischen Wasserkörper und seiner bebauten Umgebung bei strahlungsreichen Wetterlagen eine "Gewässer-/Stadtwindzirkulation" entwickelt - vergleichbar der großskaligen sog. "Land-Seewindzirkulation" - hängt von der Größe und Tiefe des Gewässers ab. Ist das Gewässer groß genug, kann sich tagsüber eine Ausgleichsströmung vom kühleren Wasserkörper zum überwärmten bebauten Gebiet einstellen. Nachts hingegen wird aufgrund des Fehlens eines ausreichend großen Temperaturgradienten zwischen warmem Gewässer und überwärmten Stadtkörper entweder keine oder nur eine sehr schwache Luftzirkulation entstehen [KUTTLER 1993].

Aufgrund ihrer glatten Oberfläche begünstigen Wasserflächen das Überströmen von Luftmassen. Befinden sie sich innerhalb einer Luftleitbahn, so erhöhen sie deren Leistungsfähigkeit und verbessern zudem die Qualität der Luftmassen, da Gewässer als Senke für eine Vielzahl in der Luft enthaltener gas- und partikelförmiger Schadstoffe zu betrachten sind. Erklärt wird dieser positive lufthygienische Effekt von Wasser dadurch, daß sich die Ablagerungsgeschwindigkeit von sehr kleinen Teilchen über einer Wasseroberfläche erhöht, weil die Teilchen in der feuchten wassernahen Luft rasch anwachsen [KUTTLER 1991].

Beispiele für klimarelevante Wasserflächen sind im Untersuchungsgebiet in erster Linie die Fließgewässer von Rhein und Neckar. Beim Rhein kommen noch die Altarme und Hafenbecken dazu. Größere Stillgewässer finden sich in Mannheim-Vogelstang, im Luisenpark (Kutzenweiher), in Niederfeld (Stollenwörthweiher), in Rheinau (Rheinauer See), bei Pfingstberg, beim Schwetzingen Schloß, in der Umgebung von Leimen und Nußloch sowie nordöstlich von Heddeshheim.

Halden / Deponien

Halden und Deponien verändern je nach ihrer Größe, Form, Oberflächenbeschaffenheit (Bewuchs) und Lage relativ zur Hauptwindrichtung in unterschiedlichem Maße die Lufttemperatur, die Verdunstung, den Niederschlag, die Besonnung / Verschattung, die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit und die Turbulenz in ihrer Umgebung. Insbesondere die Auswirkungen auf Wind- und Turbulenzverhältnisse sind von Bedeutung, weil dadurch auch die Ausbreitung von Schadstoffen beeinflusst wird.

Aus Windkanaluntersuchungen ließen sich folgende Erkenntnisse ableiten, die jedoch im Einzelfall anhand der konkreten Halde und ihrer Umgebung überprüft werden müssten (aus KUTTLER u. LÖBEL 1993; STEINICKE & STREIFENEDER 1995):

- Die stärksten Erhöhungen der Windgeschwindigkeit treten an der luvseitigen⁴⁾ Plateaukante der Halde auf, die Zone mit den geringsten Windgeschwindigkeiten und zugleich erhöhter Turbulenz befindet sich am leeseitigen Fuß der Halde.
- Bei Queranströmung - bezogen auf die Längsachse - kommt es an den Haldenfußbereichen zu einer Häufung der hangparallelen Richtungen, während die anderen Windrichtungen an den Fußbereichen z.T. stark unterrepräsentiert sind.
- Befinden sich Emittenten im Haldenlee (sowohl Boden- als auch abgehobene Quellen), so erhöhen sich dort aufgrund der reduzierten Windgeschwindigkeit und der erhöhten Turbulenz die Konzentrationen. Dabei verschiebt sich - im Vergleich zum Fall ohne Halde - das Konzentrationsmaximum in Richtung zur Quelle und die Konzentrationen nehmen mit zunehmendem Abstand von der Halde rascher ab. Die geschilderten Effekte variieren je nach Haldenform und Steilheit der Hänge (Abb. 12)
- Auch durch abgehobene Quellen im Luv der Halde werden die Schadstoffkonzentrationen in Bodennähe erhöht, allerdings nicht so stark wie bei der Leelage. Die Immissionsfelder von luvseitigen Bodenquellen werden durch die Halde dagegen kaum beeinflusst.
- Aufgrund der geschilderten Zusammenhänge sollten haldennahe Emittenten vermieden oder abgebaut werden. Dabei variiert der Bereich um die Halde, in dem keine Quellen angesiedelt werden sollten, je nach Grundriß und Steilheit der Halde zwischen zwei und acht Haldenhöhen (Abb. 13).

⁴⁾ Luv = dem Wind zugewandt; Lee = vom Wind abgewandt

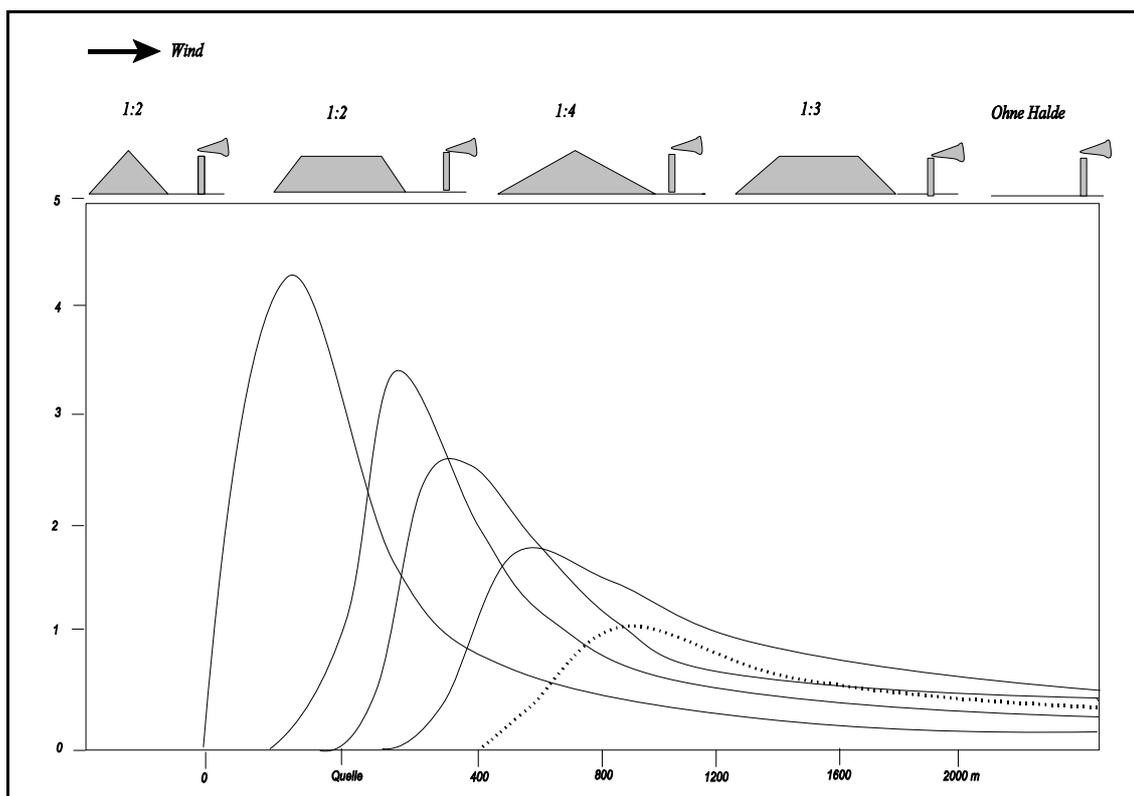


Abb. 12: Längsprofil der Bodenkonzentration für verschiedene Haldentypen (abgehobene Quelle bei 200 m im Haldenlee; gestrichelt = Fall ohne Halde). Die Kurven entsprechen der Reihenfolge der Haldentypen. Auf der Ordinate ist die normierte bodennahe Immissionskonzentration aufgetragen (Maximum des ungestörten Falls = 1) (aus: KUTTNER u. LÖBEL 1993, leicht verändert)

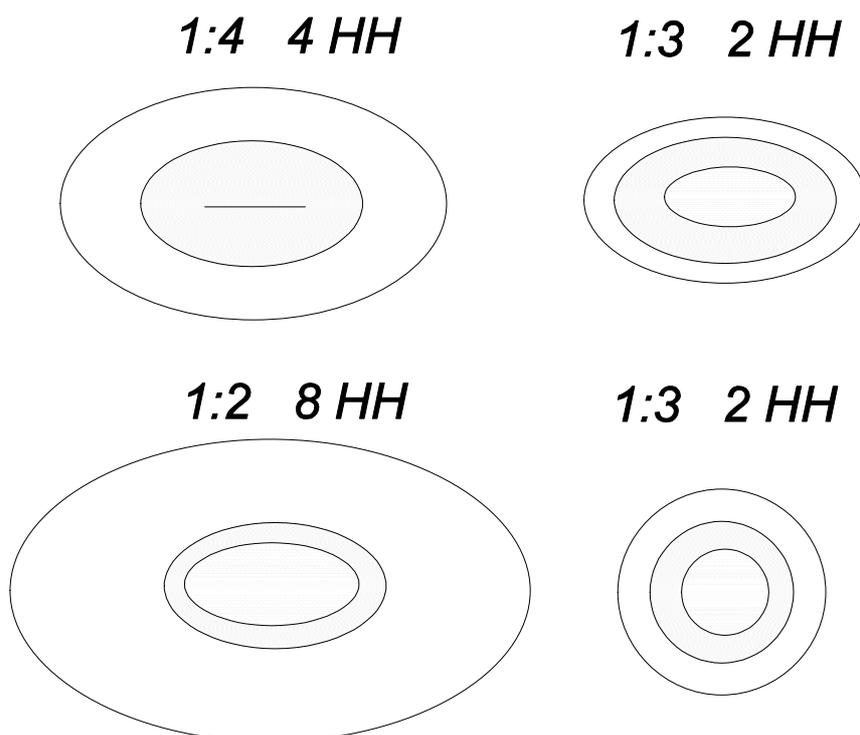


Abb. 13: Äußerer Bereich = Gebiet ungünstiger Quellposition (Größe in HH = Haldenhöhe) für verschiedene Haldentypen. Bei Positionen beliebiger Höhe außerhalb dieses Bereichs wird die Konzentration um weniger als 30% erhöht (aus: KUTTNER u. LÖBEL 1993, leicht verändert)

6 Bewertungskarte Klima/Luft

Auf der Basis der Klimafunktionskarte wurde unter Einbeziehung der vorliegenden lufthygienischen Daten die Bewertungskarte Klima/Luft für das gesamte Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim erstellt. Im Gegensatz zur weitgehend wertfreien Darstellung auf der Klimafunktionskarte werden auf der Bewertungskarte die Frei- und Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion bzw. ihrer Empfindlichkeit gegenüber Eingriffen in mehrere Klassen eingeteilt. Luftleitbahnen und Kaltluftabflüsse werden differenziert in weitgehend unbelastete und schadstoffbelastete Strömungen. Dargestellt sind außerdem Vorbelastungen wie Hauptverkehrsstraßen und die flächenhafte Lang- bzw. Kurzzeitbelastung. Vergleiche hierzu die Legende in Abb. 14 im Anhang.

Darauf aufbauend wurden Planungsempfehlungen bzw. Erhaltungs- und Entwicklungsziele für die einzelnen Kategorien der Bewertungskarte erarbeitet, die in Kapitel 7 beschrieben werden.

Die Klassifizierung der Freiflächen (Kap. 6.2) und Siedlungsflächen (Kap. 6.3) auf der Bewertungskarte Klima/Luft wird erst im Zusammenhang mit der im Kapitel 5 beschriebenen Klimafunktionskarte nachvollziehbar, denn diese beschreibt flächendeckend die thermische Situation im Untersuchungsraum. Die Kenntnis der thermischen Situation geht zum Einen in Form von Kaltluftproduktivität und Abflußmöglichkeiten in die Bewertung der Freiflächen mit ein, zum Anderen in Form des Überwärmungsgrades und der damit verbundenen thermischen Belastung in die Bewertung der Siedlungsflächen. Aus Gründen der Lesbarkeit wird jedoch auf der Bewertungskarte darauf verzichtet, die Abgrenzungen der Siedlungsbereiche und Kaltluftgebiete der Klimafunktionskarte erneut darzustellen.

6.1 Vorbelastungen und Konflikte

Unter den Vorbelastungen sind die durch die verschiedenen Quellgruppen (Verkehr, Hausbrand, Gewerbe- und Industrie) hervorgerufenen lufthygienischen Belastungen zu verstehen. Durch die Überlagerung dieser Informationen mit den klimatischen Gegebenheiten werden Konflikte aufgezeigt, z.B. in Form belasteter Luftleitbahnen oder Kaltluftabflüsse. Weitere Konflikte sind die anthropogen bedingten Barrieren, die Luftleitbahnen oder Kaltluftabflüsse behindern.

Straße mit hohem, sehr hohem bzw. extrem hohem Verkehrsaufkommen: die Angaben zum Verkehrsaufkommen auf den Strassen im Nachbarschaftsverbandsgebiet mussten aus verschiedenen Quellen zusammengestellt werden (vgl. Kap. 2 / Datengrundlagen). Mit Ausnahme der Gesamtverkehrsplanung Mannheim, wo der Bezugszeitraum 16 Stunden betrug, wurden die durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV-Werte) in der üblichen Maßeinheit Anzahl KFZ pro 24 Stunden angegeben. Die Strassen im Untersuchungsgebiet wurden in 3 Klassen eingeteilt:

- Strasse mit hohem Verkehrsaufkommen
 - innerstädtisch: DTV \geq 10.000 bis 30.000 kfz/24 h
 - im Außenbereich: DTV \geq 15.000 bis 30.000 kfz/24 h
- Strasse mit sehr hohem Verkehrsaufkommen: DTV $>$ 30.000 bis 60.000 kfz/24 h
- Strasse mit extrem hohem Verkehrsaufkommen: DTV $>$ 60.000 kfz/24 h

Im Entwurf der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1(1994) wird als "Grenzwert" für Hauptverkehrsstraßen zwar generell eine durchschnittliche Verkehrsstärke von 15.000 Kfz/24 h angesetzt, jedoch heißt es in der Städtebaulichen Klimafibel (1998), daß gerade im Innenstadtbereich bereits ab 10.000 Kfz/24 h Immissionsprognosen nötig sein können. Im Sinne der "planerischen Vorsorge" entschieden sich die Verfasser dieses Gutachtens daher für den niedrigeren "Grenzwert". Für die gekennzeichneten Straßenabschnitte sollte entsprechend den Anforderungen der 23. Bundes-Immissionsschutzverordnung (23. BImSchV) geprüft werden, ob die dort festgelegten Konzentrationswerte für NO₂, Benzol und Ruß eingehalten werden (vgl. Tab. 11).

Tab. 11: Konzentrationswerte nach 23. BImSchV [KRdL 1995]

Komponente	Zeitbezug	Konzentrationswert
Stickstoffdioxid (NO ₂)	98-Perzentilwert aus Halbstundenmittelwerten	160 µg/m ³
Ruß	Jahresmittelwert	8 µg/m ³
Benzol	Jahresmittelwert	10 µg/m ³

Eine Überschreitung der Werte wird von der für den Immissionsschutz zuständigen Behörde der Straßenverkehrsbehörde mitgeteilt, die dazu ermächtigt ist, den Straßenverkehr auf bestimmten Straßen oder in bestimmten Gebieten einzuschränken oder zu verbieten.

Strassen mit hohem Verkehrsaufkommen sind:

In Mannheim: Teile der Frankenthaler, Sonderburger und Waldstrasse, Bürstadter Strasse, Diffenésstrasse, Hafenbahnstrasse, Oskar-von-Miller-Strasse, Waldhofstrasse, Käfertaler Strasse, Herzogenriedstrasse, Röntgenstrasse, Dudenstrasse, Neustädter Strasse, Am Aubuckel, Wingertsbuckel, Hauptstrasse (Feudenheim), Bunsenstrasse, Luzenberger Strasse, Schienenstrasse, Sudetenstrasse (L597), Magdeburger Strasse, Banater Strasse, innerstädtische Teile der Siebenbürger Strasse, Collinistrasse, Teile von Friedrichring, Bismarck- und Reichskanzler-Müller-Strasse, Kolpingstrasse, Am Oberen Luisenpark, Theodor-Heuss-Anlage, Seckenheimer Land- und Hauptstrasse (B37), Schubertstrasse, Mehlstrasse, Windeckstrasse, Teile der Neckarau- und Ludwigshafener Strasse, Lindenhofstrasse, Meeräckerstrasse, Steubenstrasse, Rheingoldstrasse, Teile der Mallau-, Wachenburg-, Relais- und Rhenaniastrasse, Edinger Riedweg, Friedrichsfelder Landstrasse (L597 innerhalb MA-Friedrichsfeld).

In Heidelberg: Dossenheimer Landstrasse (B3), Rottmannstrasse, Handschuhsheimer Landstrasse, Brückenstrasse, Theodor-Heuss-Brücke, Berliner Strasse, Mönchhofstrasse, Teil der Strasse „Im Neuenheimer Feld“, Strasse am nördlichen Neckarufer von der Theodor-Heuss-Brücke ostwärts bis zum Stadtteil Ziegelhausen, Strasse am südlichen Neckarufer vom Südrand Wieblingens (Mannheimer Strasse) bis ostwärts bis zum Stadtteil Schlierbach (B37), Teile der Bergheimer, Rohrbacher und Karlsruher Strasse (B3), Kurfürsten-Anlage, Friedrich-Ebert-Anlage, Bahnhofstrasse, Eppelheimer Strasse, Teile des Czernyrings, Carl-Benz-Strasse, Hebelstrasse, Kirchheimer Weg, Cuzaring.

Sonstige: Brückenstrasse, Schloßstrasse und Ladenburger Strasse in Ilvesheim, B36 zwischen Brühl und Schwetzingen und zwischen Schwetzingen und AS Schwetzingen/Hockenheim, L600 zwischen Oftersheim

und Patrick-Henry-Village, Verbindungsstück zwischen L600a (Speyerer Strasse) und B3 (B535), Teile der B3 von Großsachsen im Norden bis Nußloch im Süden des Verbandsgebietes, K4156 zwischen Nußloch und Sandhausen, Rohrbacher Strasse (L594) und St. Ilgener Strasse in Leimen, Theodor-Heuss-Strasse in St. Ilgen.

Strassen mit sehr hohem Verkehrsaufkommen sind:

In Mannheim: Teile der Frankenthaler-, Wald- und Luzenbergstrasse, Untermühlastrasse, Ludwig-Jolly-Strasse, Jungbuschbrücke, Freherstrasse, Dalbergstrasse, Kurpfalzbrücke, Parkring, Teile von Luisen- und Friedrichring, Kaiserring, Teile von Bismarck- und Reichskanzler-Müller-Strasse, Augustaanlage, Wilhelm-Varnholt-Allee (B37), Goethestrasse, Renzstrasse, Friedrich-Ebert-Brücke, Friedrich-Ebert-Strasse, Rollbühlstrasse, B38 in Vogelstang, Teile der Feudenheimer Strasse, B37/38a zwischen Carlo-Schmid-Brücke und AS MA-Neckarau sowie südlich der Mallaustrasse, Teile der Ludwigshafener, Neckarauer, und Casterfeldstrasse, B36 zwischen Wachenburgstrasse und AS MA-Schwetzingen.

In Heidelberg: B37 vom Autobahnkreuz Heidelberg bis zur Gneisenaustrasse, der westliche Teil der Bergheimer Strasse, Czernybrücke und Nordteil des Czernyrings, Ernst-Walz-Brücke, Mittermaierstrasse, Lessingstrasse, Römerstrasse, Montpellierbrücke, Ringstrasse, Speyerer Strasse (L600a).

Sonstige: A656 zwischen AS MA-Seckenheim und Autobahnkreuz Heidelberg, ein Teilstück der B36 südlich der AS Schwetzingen/Hockenheim.

Strassen mit extrem hohem Verkehrsaufkommen sind:

In Mannheim: ein kurzes Stück des Luisenrings, Spatzenbrücke, Kurt-Schumacher-Brücke, Konrad-Adenauer-Brücke, Carlo-Schmid-Brücke, B37/38a zwischen AS MA-Neckarau und Mallaustrasse, Abschnitt der Casterfeldstrasse zwischen B37/38a und Wachenburgstrasse.

In Heidelberg: die innerstädtischen Abschnitte der A5.

Sonstige: A6, A656 zwischen AS MA-Neckarau und AS MA-Seckenheim, A5.

Lufthygienische Langzeit-/Kurzzeitbelastung: die Ausweisung von Bereichen mit unterschiedlicher Lang- und Kurzzeitbelastung stützt sich auf die Ergebnisse der flächendeckenden Rastermessungen nach TA Luft von Januar 1992 bis Januar 1993 (UMWELTMINISTERIUM B-W 1995). Um speziell die räumlichen Unterschiede in der lufthygienischen Belastung erfassen zu können, wurde ein sogenannter "Luftbelastungsindex" erstellt, bei dem mehrere Schadstoffkomponenten gemeinsam betrachtet werden. Die Berechnung des Luftbelastungsindex ist in Kapitel 4.2 ausführlich beschrieben, die Ergebnisse sind in den Abb. 9 und 10 im Anhang dargestellt.

Die im Luftreinhalteplan vorgeschlagene 9stufige Bewertung der Luftbelastung von sehr niedriger bis zu extrem hoher Luftverunreinigung mußte zur Darstellung in der Bewertungskarte Klima/Luft vereinfacht werden. Es wurden folgende drei Klassen ausgewiesen:

C	mittlere Lang- und Kurzzeitbelastung:	LBI1 & LBI2: 0,26 - 0,60
C	leicht erhöhte bis erhöhte Lang- und Kurzzeitbelastung:	LBI1 & LBI2: 0,61 - 0,90
C	hohe bis sehr hohe Lang- und Kurzzeitbelastung:	LBI2 & LBI2: 0,91 - 1,50

Insgesamt schwankten die Werte im Untersuchungsraum beim LBI1 zwischen 0,49 und 1,23 und beim LBI2 zwischen 0,39 und 1,50. Gebiete mit hoher bis sehr hoher Lang- und Kurzzeitbelastung sind in Mannheim die Friesenheimer Insel, das Stadtzentrum, Teile von Käfertal und Rheinau sowie in Heidelberg der Bereich zwischen Pfaffengrund und Kirchheim. Des Weiteren findet sich in Sandhausen eine Beurteilungsfläche mit hoher bis sehr hoher Belastung. Die übrigen Gebiete von Mannheim und Heidelberg und auch die erfassten größeren Umlandgemeinden (Edingen, Ladenburg, Neckarhausen, Schriesheim, Dossenheim, Leimen, St. Ilgen, Nußloch, Sandhausen) fallen überwiegend in die Klasse mit leicht erhöhter bis erhöhter Lang- und Kurzzeitbelastung. Eine mittlere Lang- und Kurzzeitbelastung findet sich vor allem in den landwirtschaftlich genutzten Räumen zwischen den Siedlungen, aber auch in Teilen von MA-Seckenheim, MA-Friedrichsfeld, Ilvesheim, Heddesheim, Großsachsen, Leutershausen, Schriesheim, Dossenheim und Sandhausen.

Regionale/Lokale Luftleitbahnen (schadstoffbelastet): die Ausweisung als schadstoffbelastete Luftleitbahnen ist eine rein *qualitative* Einschätzung und stützt sich auf die bekannten Informationen zur lufthygienischen Situation im Untersuchungsgebiet. Wie hoch die Schadstoffkonzentrationen im einzelnen sind, müßte durch Vor-Ort-Messungen oder Modellrechnungen überprüft werden. Vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kap. 6.2, wo die unbelasteten Luftleitbahnen beschrieben werden.

Hinsichtlich ihrer Auswirkungen sind belastete Luftleitbahnen anders zu beurteilen als belastete Kaltluftabflüsse. Während bei den Kaltluftabflüssen die negativen Aspekte meist überwiegen (Zufuhr und Anreicherung von Schadstoffen in Bodennähe), können Luftleitbahnen trotz ihrer Schadstoffbelastung noch zu einer Verbesserung der lufthygienischen Situation führen, weil sie für eine bessere Durchlüftung und damit für einen rascheren Abtransport von Schadstoffen sorgen.

Räumliche Zuordnung: Als belastete regionale Luftleitbahnen wurden in Mannheim die innerstädtischen Abschnitte von Rhein und Neckar, der nördliche Teil des Altrheins und die Gleisanlagen vom Hauptbahnhof bis zum Rangierbahnhof ausgewiesen. In Heidelberg wurden die Freiflächen zwischen Pfaffengrund und Kirchheim aufgrund der im Luftreinhalteplan festgestellten hohen Immissionsbelastung als belastete regionale Luftleitbahn eingestuft, ebenso wie der Abschnitt des Neckars zwischen Ernst-Walz- und Theodor-Heuss-Brücke.

Belastete lokale Luftleitbahnen sind in Mannheim die Frankenthaler Strasse, die B38 in Vogelstang, der Bogen von der Diefenbrücke über den Sammelbahnhof und entlang der Bahnlinie durch Käfertal bis hin zu den Kleingärten bzw. Parkanlagen in Au, die Bahnlinie in Verlängerung des Friesenheimer Beckens (Ölhafen), der südliche Teil des Altrheins, die Hafenbecken von Mühlauhafen und Verbindungskanal, Teile der Hafenbecken im Rheinau-Hafen sowie Teile der Grünzäsuren zwischen Gartenstadt und Käfertal, zwischen Vogelstang und Wallstadt und zwischen Wallstadt und Feudenheim. In Heidelberg sind es der innerstädtische Abschnitt der A5, die B37 zwischen Autobahnkreuz Heidelberg und Gneisenaustrasse, die beiden nordwest-südost verlaufenden Bahnlinien sowie die Grünflächen rings um den Meißplatz in der Südstadt, die als belastete lokale Luftleitbahnen ausgewiesen wurden. Weitere belastete lokale Bahnen im Untersuchungsgebiet sind die Grünzäsur zwischen St. Ilgen und Leimen entlang der B3 und Teile der Bahnlinie durch Friedrichsfeld.

Bergwind aus dem Odenwald (schadstoffbelastet): bei dem großräumigen Berg- oder Talabwind aus dem Odenwald handelt es sich großteils um unbelastete Luftmassen. Lediglich dort, wo sich am Talausgang Siedlungen oder Hauptverkehrsstrassen befinden, wurde der Bergwind als - zumindest geringfügig - schadstoffbelastet gekennzeichnet (bei Schriesheim, Dossenheim und HD-Handschuhsheim). Vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kap. 6.2, wo die unbelasteten Bergwinde beschrieben werden.

Anthropogen bedingte klimarelevante Barrieren: dazu gehören vom Menschen geschaffene Strukturen, die Kaltluftabflüsse mit Bezug zu Siedlungsräumen behindern oder die Durchströmbarkeit von Luftleitbahnen einschränken (z.B. Straßen- oder Bahndämme, kompakte Siedlungsränder, quer zum Talverlauf stehende große Gebäude). Im Gegensatz zur Klimafunktionskarte wurden auf der Bewertungskarte natürliche Barrieren, wie z.B. Talverengung oder Wälder nicht als Barrieren mit aufgenommen. Wälder sind aber in der Bewertungskarte als Schwarz-Weiß-Signatur dargestellt.

Räumliche Zuordnung: Anthropogen bedingte klimarelevante Barrieren finden sich in Großsachsen, Schriesheim, Dossenheim, HD-Handschuhsheim, im Bereich Klingenteichstrasse und Steigerweg in Heidelberg, in Leimen, in Ochsenbach, in MA-Käfertal und MA-Feudenheim.

Nachrichtlich

Als ergänzende Informationen ohne Bewertungscharakter sind Waldflächen, Gewerbe- / Industriegebiete, die großflächigen Gleisanlagen in Mannheim und Heidelberg, die Hafenanlagen in Mannheim und die Grenze des Nachbarschaftsverbandes eingetragen. Die Nutzung des Siedlungsraumes geht aber in der Bewertung der Freiflächen (mit direktem Bezug zum Siedlungsraum) in die Bewertung ein (vgl. Bewertungsmatrix in Abb. 15 auf Seite 41).

6.2 Freiflächen

Entscheidend für die Einstufung der Freiflächen als Flächen mit geringer bis sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion ist zum einen ihre Kaltluftproduktivität und zum anderen ihr Bezug zum Siedlungsraum. Kaltluftentstehungsgebiete, Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen und Waldbestände mit direktem Bezug zum Siedlungsraum fallen in die Kategorie sehr hoch bis hoch, wobei die Bedeutung mit zunehmender Empfindlichkeit bzw. Belastung des Wirkungsraumes ansteigt. Anders ausgedrückt: Freiflächen, die als Kalt- bzw. Frischluftlieferanten für mäßig bis stark belastete Siedlungsgebiete mit überwiegender Wohnnutzung dienen, erhalten eine höhere Bewertungsstufe als Flächen, die in Wechselwirkung mit Gewerbe- oder Industriegebieten oder niedrig belasteten Wohngebieten stehen. In die Kategorie mit mittlerer Bedeutung fallen Kaltluftentstehungsgebiete, Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen und Wälder mit direktem Bezug zu niedrig belasteten Wohngebieten und niedrig oder mäßig belasteten Gewerbegebieten oder mit nur indirektem Bezug zum Siedlungsraum. Indirekter Bezug zum Siedlungsraum bedeutet in reliefiertem Gelände, daß die Kalt- und Frischluft nicht direkt in Richtung bebauter Gebiete abfließen kann, weil die Entstehungsgebiete entweder von der Siedlung abgewandt liegen (also z.B. an einem Hang, der nicht zur Siedlung hin, sondern von der Siedlung weg abfällt) oder weil sie zu weit vom Siedlungsrand entfernt sind. In ebenem Gelände kann die Unterscheidung zwischen

direktem und indirektem Siedlungsbezug nur über das Kriterium der Entfernung vom Siedlungsrand erfolgen. Dabei wurde bei Kaltluftabflüssen und Luftleitbahnen als Grenzwert ein Abstand vom Siedlungsrand von ca. 2000 m festgelegt, bei allen sonstigen Flächen eine Distanz von rund 500 bis 1000 m vom Siedlungsrand. Flächen ohne nennenswerte Kaltluftproduktion, Flächen innerhalb eines ausgedehnten Kaltluftpotentials sowie Flächen ohne Siedlungsbezug werden in die vierte Kategorie (geringe Bedeutung) eingestuft.

Die in Abb. 15 dargestellte Bewertungsmatrix soll die Einteilung der Freiflächen in die beschriebenen vier Kategorien nochmals verdeutlichen. Dabei ist unter der „Belastung des Siedlungsraumes“ die Synthese aus thermischer (Überwärmung) und lufthygienischer Belastung gemeint. Bei den innerstädtischen Freiflächen kommt als weiteres, in der Matrix nicht genanntes Kriterium die Flächengröße hinzu. Sind sie kleiner als 3 ha, werden sie nicht dargestellt. Sind sie zwischen 3 und 5 ha groß, so wird ihre Ausgleichsfunktion auch dann nur als „hoch“ eingestuft, wenn sie aufgrund ihrer Lage (nämlich innerhalb einer mäßig bis hoch belasteten Siedlung) in die Kategorie „sehr hoch“ fallen würden. Grünflächen größer 5 ha werden je nach Lage (gering, mäßig oder hoch belastete Siedlung) als Ausgleichsflächen von mittlerer, hoher oder sehr hoher Bedeutung eingestuft.

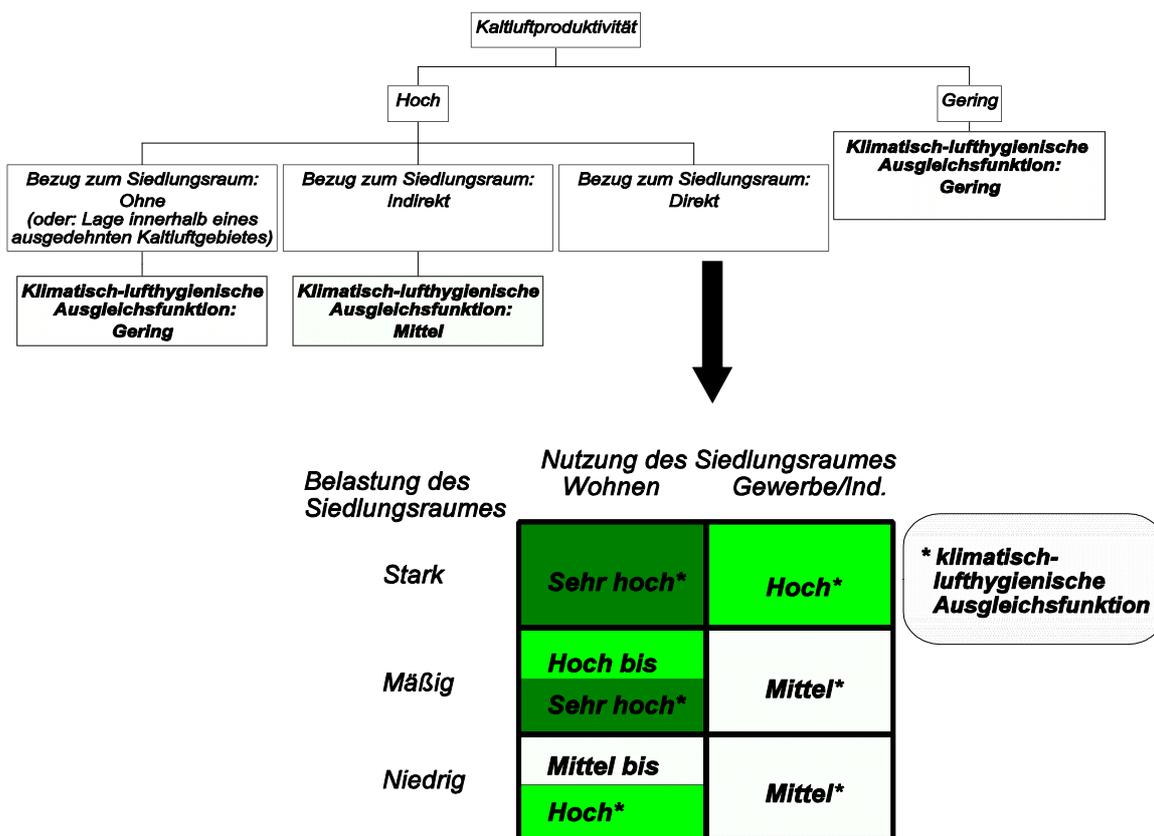


Abb. 15: Bewertungsmatrix „Freiflächen“

Räumliche Zuordnung: Freiflächen mit sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion konzentrieren sich im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes auf die Freiflächen in und um Mannheim und Heidelberg. In Mannheim handelt es sich dabei um die fingerförmig in die Stadt hineinreichenden und meist zugleich als Luftleitbahn dienenden Freiflächen zwischen Sandhofen und Schönau, in Käfertal, in Vogelstang, Wallstadt und Feudenheim. Auch die Wald- und Grünflächen im Bereich ReiBinsel/Aufeld und Flugplatz Neuostheim gehören in diese Kategorie. Innerstädtisch erfüllen alle größeren Grün- und Parkanlagen (als Mindestgröße wurden ca. 5 ha festgelegt) sehr hohe Ausgleichsfunktionen, wie z.B. der Herzogenriedpark, der Hauptfriedhof, der Luisenpark und Teile des Schloßgartens.

In Heidelberg konzentrieren sich die Flächen mit sehr hoher Ausgleichsfunktion auf die Frei- und Waldflächen südlich des Neckars, so z.B. der große Bereich zwischen Pfaffengrund und Kirchheim, die Grünzäsur zwischen Rohrbach und dem Gewerbegebiet Rohrbach-Süd und natürlich die bewaldeten, frischluftproduzierenden, stadtnahen Hangflächen des Odenwaldes.

Bei den Flächen mit hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion handelt es sich um Freiflächen, die ebenfalls einen direkten Bezug zu Siedlungen haben und zwar entweder zu mäßig belasteten Wohngebieten oder zu stark belasteten Gewerbe- und Industrieflächen. Freiflächen dieser Kategorie sind somit überwiegend rings um die Außenbezirke von Mannheim (z.B. Schönau, Gartenstadt, Rheinau) und Heidelberg (z.B. Neuenheim, Handschuhsheim, Eppelheim) bzw. rings um die mäßig belasteten Umlandgemeinden (z.B. Ketsch, auf Teilbereichen rings um Brühl, Sandhausen, Plankstadt, Schwetzingen und Oftersheim) zu finden oder in Wechselwirkung mit grossen Gewerbegebieten (z.B. auf der Friesenheimer Insel, bei Ladenburg oder bei Rohrbach-Süd). Auch die Frei- und Waldflächen am Übergang vom Odenwald zur Ebene („Bergstrasse“) wurden mit Ausnahme des oben genannten zentralen Heidelberger Bereiches als Flächen mit hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion eingestuft.

Als Freiflächen mit mittlerer klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion wurden Bereiche mit Bezug zu Wohngebieten ausgewiesen, die sich durch relativ günstige klimatisch-lufthygienische Bedingungen auszeichnen oder zu Gewerbegebieten mit mäßiger Belastung. Dementsprechend ist diese Kategorie im Einzugsbereich der kleineren Städte und Gemeinden des Nachbarschaftsverbandes zu finden (z.B. Heddesheim, Ladenburg, Edingen-Neckarhausen sowie auf Teilgebieten rings um Sandhausen, Plankstadt, Schwetzingen und Oftersheim). Des weiteren erhielten Freiflächen mit nur indirektem Siedlungsbezug eine mittlere Wertigkeit, also z.B. die siedlungsfernen Landwirtschafts- und Waldflächen am Nordwestrand des Untersuchungsgebietes oder westlich von Ketsch oder die Gebiete im Südosten um Maisbach, Ochsenbach und Gauangelloch sowie Teile des Odenwaldes.

Nur geringe Bedeutung für eine klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion haben Flächen, die zu weit von Siedlungsgebieten entfernt und innerhalb eines ausgedehnten Kaltluftpotentials liegen oder die kaum Kaltluft produzieren. Solche Flächen finden sich im Untersuchungsgebiet auf der Rheininsel des Otterstädter Altrheins, in den hochgelegenen, siedlungsabgewandten Teilen des Odenwaldes oder in den ausgedehnten Waldgebieten nordöstlich von Mannheim und südlich von Oftersheim. Aufgrund der geringen Kaltluftproduktion wurden die Deponien (auf der Friesenheimer Insel, an der Grenze des Nachbarschaftsverbandes nordwestlich von Heddesheim und zwischen Heddesheim und Ladenburg)

sowie die Autobahnkreuze, Anschlußstellen und sonstigen großen Straßenkreuzungen im Umland ebenfalls als Flächen mit nur geringer Ausgleichsfunktion dargestellt.

Als zusätzliche Informationen werden unter dem Oberbegriff der Freiflächen die weitgehend unbelasteten Luftleitbahnen und Kaltluftabflüsse sowie Kaltluftsammelgebiete, Halden/Deponien und grössere Wasserflächen dargestellt.

Regionale/lokale Luftleitbahnen

Bei den Luftleitbahnen in Mannheim und Heidelberg handelt es sich aufgrund der hohen Schadstoffbelastung in diesen beiden Ballungszentren großteils um belastete Luftleitbahnen (vgl. Kap. 6.1). Als relativ unbelastete regionale Bahnen sind in Mannheim die Rheinabschnitte am Stadtrand und der Neckar bzw. Neckar-Kanal östlich der Friedrich-Ebert-Brücke zu nennen. An unbelasteten lokalen Luftleitbahnen finden sich die Bahn zwischen Sandhofen und Schönau, Teile der Luftleitbahnen im Bereich Käfertal, Vogelstang und Wallstadt sowie in Mannheim-Friedrichsfeld und Rheinau-Hafen.

In Heidelberg ist der Neckar eine weitgehend unbelastete Luftleitbahn von regionaler Bedeutung, die Grünzäsur zwischen HD-Rohrbach und dem Gewerbegebiet Rohrbach-Süd ist die einzige unbelastete Luftleitbahn von lokaler Bedeutung.

Ansonsten finden sich unbelastete regionale Bahnen auf den Neckarabschnitten im Bereich Ilvesheim / Mannheim-Seckenheim und Ladenburg / Neckarhausen. Als unbelastete lokale Bahnen sind die Gleisanlagen in Schwetzingen, die Grünzäsuren zwischen Schwetzingen und Plankstadt, zwischen Sandhausen und St. Ilgen sowie der südliche Abschnitt der Luftleitbahn zwischen Nußloch und St. Ilgen zu nennen.

Bergwind aus dem Odenwald und Kaltluftabflüsse

Sowohl bei den in Tälern kanalisiertes Kaltluftabflüssen als auch bei den flächenhaften Kaltluftabflüssen am Hang handelt es sich durchwegs um unbelastete Luftmassen aus den großteils bewaldeten, unbesiedelten Hang- und Kuppenflächen des Odenwaldes (vgl. Kap. 6.1). Lediglich bei den großräumigen, weit in die Ebene hineinreichenden Bergwinden muss man damit rechnen, dass sie beim Überströmen der Siedlungen und Verkehrswege Schadstoffe aufnehmen, so dass hier zum Teil belastete, zum Teil unbelastete Strömungen ausgewiesen wurden.

Kaltluftsammelgebiete

Wie bei der Beschreibung der Klimafunktionskarte im Kapitel 5 bereits erwähnt, fallen sämtliche Landwirtschafts- und Waldflächen in dem zur Oberrheinebene gehörenden größten Teil des Untersuchungsgebietes aufgrund der Ebenheit des Geländes in die Kategorie der potentiellen Kaltluftsammelgebiete. Auf der Bewertungskarte wurden die Bereiche, die aufgrund ihrer Lage, Nutzung und der Häufung blauer Klassen auf der klassifizierten Thermalkarte auf eine besonders ausgeprägte Sammelfunktion mit entsprechend ungünstigen klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen (erhöhte Dunst-, Nebel- und Frostneigung; bodennahe Schadstoffanreicherung) schließen lassen, mit einem speziellen Symbol hervorgehoben.

Es handelt sich dabei um die tiefgelegenen Landwirtschafts-, Wiesen- und Waldflächen entlang des Rheins, die Ackerflächen zwischen Unterem Dossenwald und der Bahnlinie bei Alteichwald (südlich MA-Friedrichsfeld), die Talaue in der Neckarschleife bei Ilvesheim / Seckenheim, die Niederung entlang des Neckars zwischen Edingen und HD-Wieblingen, landwirtschaftlich genutzte Flächen nördlich von Heddesheim sowie im Bereich des Leimbachtales südöstlich von Oftersheim.

Wasserflächen und Halden/Deponien

Vergleiche hierzu die Ausführungen im Kapitel 5.4.

6.3 Siedlungsflächen

Die Siedlungsflächen werden hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung (Bebauungsverdichtung, Flächenversiegelung) bzw. Siedlungserweiterung in drei Bewertungsklassen eingeteilt. Bewertungskriterium ist zum Einen die bereits bestehende thermische und lufthygienische Belastung des betrachteten Gebietes und zum Anderen der Einfluß des Gebietes auf benachbarte Siedlungsbereiche oder Freiräume. Hinsichtlich ihrer thermischen Belastung, also dem Grad der Überwärmung, wurden die Siedlungsgebiete im Rahmen der Klimafunktionskarte bereits untersucht und in drei Klassen (Ü+, Ü, Ü-) eingeteilt. Die Ausführungen im Kapitel 5.1 sowie die Klimafunktionskarte sind daher, wie bereits oben erläutert, wichtige Grundlagen zum Verständnis der Klassifizierung der Siedlungsflächen auf der Bewertungskarte.

Hoch verdichtete und belastete Innenstadtbereiche fallen grundsätzlich in die Klasse mit hoher Empfindlichkeit gegenüber einer weiteren Nutzungsintensivierung. In dieselbe Klasse gehören aber auch locker bebaute Siedlungen mit günstigen bioklimatischen Verhältnissen, die einen starken Einfluß auf angrenzende stärker verdichtete Siedlungen innehaben (z.B. Wohngebiete am Oberhang oder im Bereich von Luftleitbahnen). Zur besseren Unterscheidung wurden die letzteren auf der Bewertungskarte mit einer Schraffur dargestellt (gelb-braun bzw. orange-braun; vgl. Bewertungsmatrix in Abb. 16). In den genannten Gebieten muß jede Planung hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen sehr sorgfältig geprüft werden.

Auch in den Gebieten mit mittlerer Empfindlichkeit sollte eine geplante Nutzungsänderung nicht ohne kritische Betrachtung realisiert werden. Es handelt sich hierbei um niedrig oder mäßig belastete Siedlungsbereiche mit geringem oder keinem Einfluß auf angrenzende Siedlungs- oder Freiräume (z.B. Wohngebiete am Unterhang oder in einem Kaltluftsammlgebiet, aber nicht im Bereich einer Luftleitbahn).

Relativ unbedenklich sind Nutzungsintensivierungen in Gebieten, die in die dritte Kategorie mit geringer Empfindlichkeit eingestuft wurden. Wichtigstes Kriterium für die Einstufung in diese Klasse ist die Tatsache, daß eine Nutzungsänderung in diesen Gebieten keinen Einfluß auf benachbarte Siedlungs- oder Freiräume hat und zugleich zu keiner nennenswerten Belastung im betrachteten Gebiet selbst führt. Locker bebaute, gut durchgrünte Siedlungsgebiete mit günstigen klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften oder auch mäßig belastete Gewerbegebiete fallen in diese Kategorie.

Die Bewertungsmatrix in Abb. 16 verdeutlicht die Einteilung der Siedlungsflächen in die beschriebenen drei Kategorien. Dabei ist unter der „Belastung des Siedlungsraumes“ die Synthese aus thermischer (Überwärmung) und lufthygienischer Belastung gemeint. Die schraffierten Kategorien bei den Siedlungsflächen sind nicht als „Übergangsstufen“ zu sehen, sondern sie wurden deshalb eingeführt, um den eigentlichen Widerspruch zwischen geringer Belastung des Siedlungsraumes und dennoch Einstufung in mittlere bis hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung nachvollziehbar zu machen.

Belastung des Siedlungsraumes	Einfluss auf benachbarte Räume		
	Stark	Gering	Kein
Stark	Hoch*	Hoch*	Hoch*
Mäßig	Hoch*	Mittel*	Gering bis Mittel*
Niedrig	Hoch*	Gering bis Mittel*	Gering*

*** Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung**

Abb. 16: Bewertungsmatrix „Siedlungsflächen“

Räumliche Zuordnung: Bei den Siedlungsgebieten mit hoher Empfindlichkeit handelt es sich im Untersuchungsraum in erster Linie um die dicht bebauten, überwärmten und vor allem lufthygienisch belasteten Kernstadtbereiche von Mannheim und Heidelberg. In Mannheim erstreckt sich dieser Bereich von der Friesenheimer Insel über das Stadtzentrum und Teile von MA-Neckarau bis zum Rheinau-Hafen. Auch die Gewerbe- und Industriegebiete in MA-Waldhof, MA-Käfertal und MA-Vogelstang fallen überwiegend in die Klasse mit hoher Empfindlichkeit. Die Gebiete entlang der Frankenthaler Strasse (zwischen Waldhof und Schönau), entlang der B38 (in Vogelstang) oder entlang der Strasse „Am Aubuckel“ (in Feudenheim) sowie die Gleisanlagen des Rangierbahnhofs wurden aufgrund ihres Einflusses auf Luftleitbahnen als hoch empfindliche Gebiete ausgewiesen.

In Heidelberg sind es zum Einen die verdichteten Gebiete vom Stadtzentrum nach Süden bis zum Gewerbegebiet Rohrbach-Süd und nach Westen bis zum Gewerbegebiet in Pfaffengrund und zum Anderen die locker bebauten Wohngebiete im Neckartal und an den Oberhängen am Übergang zum Odenwald (HD-Emmertsgrund, HD-Neuenheim, HD-Handschuhsheim), die als Gebiete mit hoher Empfindlichkeit eingestuft wurden. Auch in den Gemeinden Schriesheim, Dossenheim, Leimen, Nußloch sowie in den Ortsteilen Großsachsen und Leutershausen (Gemeinde Hirschberg) wurden die höhergelegenen, im Bereich der Kaltluftabflüsse befindlichen Siedlungsteile trotz ihrer an sich günstigen klimatisch-lufthygienischen Verhältnisse als Gebiete mit hoher Empfindlichkeit ausgewiesen (gelb-braun bzw. orange-braun schraffiert).

In die Kategorie mit mittlerer Empfindlichkeit fallen die restlichen Stadtgebiete von Mannheim und Heidelberg mit Ausnahme einiger randlicher Stadtteile, die nur geringe Empfindlichkeit aufweisen. Mittlere Empfindlichkeit besitzen ebenso die etwas dichter bebauten Teile der Umlandgemeinden Brühl, Ketsch, Plankstadt, Schwetzingen, Oftersheim, Sandhausen, St. Ilgen, Ladenburg und Heddesheim sowie ganz Eppelheim. Die oben genannten Gemeinden bzw. Ortsteile am Übergang zum Odenwald (Großsachsen, Leutershausen, Schriesheim, Dossenheim, Leimen und Nußloch) erhielten ausserhalb der Bereiche mit hoher Empfindlichkeit aufgrund ihrer Lage in einem klimatisch sensiblen Gebiet durchwegs die Einstufung in die mittlere Kategorie, obwohl sie überwiegend günstige klimatisch-lufthygienische Bedingungen besitzen (gelb-orange schraffiert).

Die restlichen Stadtteile (Teile von MA-Schönau, MA-Gartenstadt, MA-Wallstadt, MA-Seckenheim, MA-Friedrichsfeld, HD-Wieblingen und HD-Neuenheim), Teile der Umlandgemeinden (Brühl, Ketsch, Plankstadt, Schwetzingen, Oftersheim, Sandhausen, St. Ilgen, Ladenburg und Heddesheim) sowie ganz Ilvesheim und Edingen fallen aufgrund ihrer günstigen klimatisch-lufthygienischen Strukturen in die Kategorie mit geringer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung. Grenzt ein Gebiet mit geringer Empfindlichkeit an eine Hauptverkehrsstrasse, so wurde ein Streifen beiderseits der Strasse bis zu einem Abstand von ca. 150 bis 200 m aufgrund der zu erwartenden Schadstoffbelastung durch den Kfz-Verkehr der Kategorie „mittlere Empfindlichkeit“ zugeordnet (z.B. in MA-Seckenheim entlang der B37 oder in MA-Wallstadt entlang von Sudetenstrasse und der A6).

7 Allgemeine Planungsempfehlungen und Entwicklungsziele

Auf der Basis der Bewertungskarte Klima/Luft wurden für die verschiedenen Kategorien von Frei- und Siedlungsflächen, von Luftleitbahnen und Kaltluftabflüssen sowie für die dargestellten Vorbelastungen und Konfliktbereiche Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele erarbeitet, die in Tab. 12 zusammengestellt sind. Es handelt sich dabei um relativ allgemein gehaltene Empfehlungen, die im Einzelfall (z.B. bei Erstellung eines Bebauungsplanes) unter Berücksichtigung der jeweils individuellen Bedingungen konkretisiert werden sollten.

Tab. 12: Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele für die auf der Bewertungskarte dargestellten Kategorien von Frei- und Siedlungsflächen, Luftleitbahnen und Kaltluftabflüssen, Vorbelastungen und Konfliktsituationen

	Planungsempfehlung / Entwicklungsziel
Freiflächen	
sehr hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	im Außenbereich: großräumiger Erhalt, Bebauung und Versiegelung nur in Ausnahmefällen und unter Beachtung klimatisch-lufthygienischer Vorgaben im Innenbereich: Erhalt und Ausbau, Entsiegelung vorsehen, abwechslungsreiche Pflanzstrukturen anstreben, Vernetzung einzelner Grünflächen
hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	im Außenbereich: großräumiger Erhalt, Bebauung und Versiegelung nur in geringem Umfang und unter Erhalt des Siedlungsbezuges im Innenbereich: Erhalt, keine weitere Versiegelung, abwechslungsreiche Pflanzstrukturen anstreben, Vernetzung einzelner Grünflächen

	Planungsempfehlung / Entwicklungsziel
mittlere klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	maßvolle Bebauung möglich, klimatische Gegebenheiten berücksichtigen (Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen, Hauptwindrichtungen)
geringe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	Bebauung für Siedlungen im Bereich des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim unkritisch, mögliche Auswirkungen auf Siedlungsgebiete außerhalb des Verbandsgebietes sind gegebenenfalls zu prüfen
Luftaustausch	
Regionale Luftleitbahn	Erhalt, keine Bebauung und Versiegelung, Schadstoffeinträge vermeiden, keine flächigen Aufforstungen, lineare Gehölzstrukturen oder kleine Baumgruppen sind vertretbar
Lokale Luftleitbahn	Erhalt, Ausbau durch Rücknahme bzw. Auflockerung der Randbebauung anstreben, keine flächigen Aufforstungen, lineare Gehölzstrukturen oder kleine Baumgruppen sind vertretbar
Bergwind aus dem Odenwald	keine Bebauungsverdichtung im Bereich der Talausgänge, keine riegelförmige Bebauung oder Bepflanzung am Übergang vom Odenwald zur Ebene
Intensiver / Verzögerter Kaltluftabfluß in Tälern	Freihalten der Abflußbahn von Bebauung, riegelförmiger Bepflanzung und von Emittenten
Flächenhafter Kaltluftabfluß am Hang	Freihalten der Hangfläche von Bebauung, riegelförmiger Bepflanzung und von Emittenten
Kaltluftsammelgebiet	keine Bebauung, keine frostempfindlichen Kulturen anpflanzen, Schadstoffeinträge vermeiden bzw. vermindern, Waldanteil erhöhen
Sonstige klimarelevante Flächen	
Wasserflächen > 1 ha	Erhalt, in der Übergangszone zum Gewässer Bebauung vermeiden bzw. auflockern
Halden / Deponien	Begrünung mit Bäumen und Sträuchern, keine abgehobenen Quellen (Schornsteine) in einem Abstand bis zur 2- bis 8fachen Haldenhöhe (je nach Form der Halde und Steilheit der Hänge) zulassen
Siedlungsflächen	
hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung	bei lockerer Bebauung: günstige Siedlungsstrukturen erhalten, möglichst keine Siedlungsverdichtung zulassen, vorhandene Luftleitbahnen erhalten bzw. ausbauen bei verdichteter Bebauung: keine weitere Versiegelung zulassen, Reduktion der Emissionen, Erhöhung des Vegetationsanteils, Blockinnenhofentkernung und -begrünung, Dach- und Fassadenbegrünung
mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung	maßvolle Nachverdichtung möglich, Neuversiegelung durch Dach- und Fassadenbegrünung sowie Begrünung von Straßenräumen und Blockinnenhöfen ausgleiche, Reduktion vorhandener bzw. weitestgehende Vermeidung zusätzlicher Emissionen
geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung	Siedlungsverdichtung und -erweiterung möglich, bei Neuplanungen geringen Flächenverbrauch, energieoptimierte Bauweise und umweltfreundliche Infrastruktur (Energieversorgung, Verkehrsanbindung) anstreben

	Planungsempfehlung / Entwicklungsziel
Vorbelastungen und Konflikte	
Strasse mit hohem Verkehrsaufkommen	Reduktion von Emissionen durch Verkehrsverminderung, Geschwindigkeitsbeschränkung und Verkehrslenkung (Ampelschaltung, Parkleitsysteme) - mittlere Priorität -
Strasse mit sehr hohem Verkehrsaufkommen	Reduktion von Emissionen durch Verkehrsverminderung, Geschwindigkeitsbeschränkung und Verkehrslenkung (Ampelschaltung, Parkleitsysteme) - hohe Priorität -
Strasse mit extrem hohem Verkehrsaufkommen	Reduktion von Emissionen durch Verkehrsverminderung, Geschwindigkeitsbeschränkung und Verkehrslenkung (Ampelschaltung, Parkleitsysteme) - höchste Priorität -
mittlere lufthygienische Lang- und Kurzzeitbelastung	Reduktion von Emissionen aus Hausbrand, Industrie, Kraftwerken und Verkehr - mittlere Priorität -
leicht erhöhte bis erhöhte lufthygienische Lang- und Kurzzeitbelastung	Reduktion von Emissionen aus Hausbrand, Industrie, Kraftwerken und Verkehr - hohe Priorität -
hohe bis sehr hohe lufthygienische Lang- und Kurzzeitbelastung	Reduktion von Emissionen aus Hausbrand, Industrie, Kraftwerken und Verkehr - höchste Priorität -
Schadstoffbelastete Regionale Luftleitbahn	Schadstoffeinträge in Luftleitbahn vermindern (Emissionsreduzierung, Immissionsschutzmaßnahmen), keine weiteren Emittenten und Strömungshindernisse zulassen
Schadstoffbelastete Lokale Luftleitbahn	Schadstoffeinträge in Luftleitbahn vermindern (Emissionsreduzierung, Immissionsschutzmaßnahmen), Entsiegelungsmaßnahmen vorsehen, Randbereiche begrünen
Schadstoffbelasteter Bergwind aus dem Odenwald	Schadstoffeinträge vermindern (Emissionsreduzierung, Immissionsschutzmaßnahmen), keine weiteren Emittenten und Strömungshindernisse zulassen
anthropogen bedingte klimarelevante Barriere	Riegelwirkung nicht verstärken, Auflockerung bzw. Entfernen der Barriere anstreben

Immer wiederkehrende Forderungen im Rahmen der Schaffung bzw. Erhaltung günstiger klimatischer und lufthygienischer Bedingungen sind die Bereiche Emissionsvermeidung und Verbesserung der Grünausstattung. In Tab. 13 sind entsprechende Maßnahmen und Umsetzungsinstrumente aufgelistet und zwar getrennt für Bestand und Neuplanungen.

Tab. 13: Maßnahmen und Umsetzungsinstrumente für die Handlungsfelder Emission/Immission und Vegetation (Quelle: BKR 1995, verändert)

Handlungsfeld Emission/Immission			
Planung und Baugenehmigung (§ 34 BauGB)		im Bestand	
Maßnahme	Umsetzungsinstrument	Maßnahme	Umsetzungsinstrument
<ul style="list-style-type: none"> - Energieeinsparung durch Bereitstellung umweltverträglicher Energieträger, wie regenerative Energien, Kraft-Wärme-Kopplung, Fern- und Nahwärmenetze - Einschränkungen bei der Kfz-Nutzung und Förderung von Alternativen - Ausschluß emittierender Betriebe in empfindlichen Gebieten - räumliche Zuordnung von Emittenten und empfindlichen Nutzungen 	<ul style="list-style-type: none"> - § 9(1) Nr. 23 BauGB: Verbrennungsverbot für emissionsstarke Brennstoffe (Holz, Kohle, Erdöl) - kostendeckende Vergütung regenerativer Energien - finanzielle Förderung von Stickoxid- und CO₂-armen Heizungsanlagen - Anschluß- und Benutzungszwang z.B. für Gas oder Fernwärme durch Ortssatzung - Stellplatzablösesatzung - Einrichten von Tempo-30-Zonen oder Wohnstraßen - auto-unabhängige Siedlungen - komfortable ÖPNV-Anbindung - Verlagerung des Güterverkehrs auf Schiene und Wasserweg - §§ 5 und 9 BauGB - § 4 und 10 BImSchG - Länderverordnung nach § 49 BImSchG 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieeinsparung durch Sanierung von Gebäuden, Erneuerung von Heizungsanlagen, Abwärmenutzung und Ersatz konventioneller Energiebereitstellung durch Kraft-Wärme-Kopplung oder Fernwärme - Einschränkung des Kfz-Verkehrs - Berücksichtigung bei Verkehrsplanungen - Tempolimit, Einrichtung von Tempo-30-Zonen - Förderung umweltverträglicher Alternativen zum Kfz-Verkehr - Reduktion gewerblich-industrieller Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Überprüfung der Einhaltung bauordnungsrechtlicher Nebenbestimmungen - finanzielle Förderung von Umbaumaßnahmen - Beratung, Öffentlichkeitsarbeit - Stellplatzablösesatzung, Stellplatzrichtlinie - Verkehrsbeschränkungen nach § 40 BImSchG - § 6 Abs. 1 StVG i.V.m. § 42 Abs. 4a StVO bzw. § 45 Abs. 1 StVO - Förderprogramme für den ÖPNV sowie für Radwegbau - § 17 BImSchG (nachträgliche Anordnung) - § 24 BImSchG (Anordnung im Einzelfall)

Handlungsfeld Vegetation			
Planung und Baugenehmigung (§ 34 BauGB)		im Bestand	
Maßnahme	Umsetzungsinstrument	Maßnahme	Umsetzungsinstrument
- Dach- und Fassadenbegrünung	- Eingriffsregelung - § 9 (1) Nr. 25 BauGB - Gestaltungssatzung	- Dach- und Fassadenbegrünung	- Förderprogramme mit finanziellen Anreizen
- Bepflanzung nicht bebauter Grundstücksflächen	- § 9 (1) Nr. 25 BauGB - Pflanzgebote nach § 178 BauGB	- Hofbegrünung im Zusammenhang mit Entsiegelungsmaßnahmen	- Entwässerungssatzung mit gespaltenem Gebühremaßstab - Innenhofbegrünungsprogramm - Öffentlichkeitsarbeit
- Sicherung von Grünflächenanteilen im B-Plan	- § 9 (1) Nr. 10, 15, 18, 20, 24 BauGB - § 5 (2) Nr. 9, 10 BauGB	- Sicherung bestehender Vegetationsbestände	- Vorgartensatzung (gültig für Teile des Stadtgebiets) - Baumschutzsatzung - Überprüfung der Einhaltung bauordnungsrechtlicher Nebenbestimmungen
- Sicherung und Gestaltung von Freiflächen	- Landschaftsplan, Flächennutzungsplan - Stadtökologische Verträge gemäß § 6 des Maßnahmengesetzes zum BauGB - Privatrechtliche Bindungen im Rahmen von Kauf- und Pachtverträgen	- Begrünung von Straßenraum, Stellplätzen, öffentlichen Plätzen und Gebäuden	- Landschaftsplan, Flächennutzungsplan - Wohnumfeldverbesserungsprogramme - Begrünungsmaßnahmen bei Radwegbau, Straßenumgestaltung

8 Zusammenfassung

Aufgabe und Methodik

Das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim mit den beiden Ballungsräumen Mannheim und Heidelberg liegt größtenteils in der nördlichen Oberrheinebene und gehört daher zu den wärmsten Gegenden Deutschlands. Das Bioklima zeichnet sich durch häufige Wärmebelastung aus, mit abnehmender Tendenz nach Osten, denn dort befindet sich der Übergang zu den Randhöhen des Odenwaldes. Aus den Odenwaldtälern kommen auch die Frisch- und Kaltluftströme, die in warmen Sommernächten bis zu mehreren Kilometern in die Rheinebene hinein für Kühlung sorgen. Lufthygienisch gehört das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes zu einem vom Land Baden-Württemberg ausgewiesenen Smoggebiet, in dem die Schadstoffbelastung der Luft kontinuierlich beobachtet wird. Insbesondere das dichte Strassennetz mit mehreren Autobahnen und Bundesstrassen führt zu einer erhöhten Schadstoffbelastung.

Insgesamt treten im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim durchaus klimatisch und lufthygienisch belastende Bedingungen auf, so dass fundierte Kenntnisse der lokalen und regionalen klimatisch-lufthygienischen Verhältnisse von grosser Bedeutung für eine umweltverträgliche Planung sind. Diese Grundlagen werden im vorliegenden Gutachten mit den zugehörigen Karten bereitgestellt. Für den gesamten Untersuchungsraum wurde der klimatisch-lufthygienische Ist-Zustand flächendeckend analysiert und bewertet. Es wurde eine Fülle von bestehenden Daten (Regionalklima, Flächenutzung, Relief, Immissionen) verwendet und aufbereitet. Neu war die Nutzung flächendeckender, hochauflösender Thermalscannerdaten des Gesamtgebiets. Hierzu wurde die Abend- und Morgensituation während einer sommerlichen windschwachen Strahlungswetterlage aufgenommen. Aus der Überlagerung von Abend- und Morgenaufnahme („Klassifizierte Thermalkarte“) ergibt sich eine wesentliche Grundlage der Klimafunktionskarte. Dargestellt wird das Oberflächentemperaturverhalten, das mit der Nutzung, dem Relief und der Rauigkeit korreliert ist und Einfluß auf die lokalklimatischen Phänomene hat. Es zeigen sich die typischen Effekte von „Wärmeinseln“ und „Kaltluftflächen“.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden in Form großformatiger Karten (Klimafunktionskarte, Bewertungskarte Klima/Luft) präsentiert. Abschließend werden allgemeine Planungs- und Entwicklungsziele definiert. Alle kartierten Ergebnisse sind digital im Geografischen Informationssystem „ArcView“ verfügbar. Damit steht dem Nutzer ein anschauliches Instrumentarium zur Beurteilung der klimatischen Relevanz von Planungsvorhaben zur Verfügung. Die Maßstabebene der Untersuchung (1:25.000) eignet sich in erster Linie für Fragen zur Flächennutzungsplanung, jedoch auch in Bezug auf Bebauungspläne und Einzelvorhaben lassen sich bereits erste Hinweise ableiten. In kritischen Fällen können hier jedoch vertiefende Untersuchungen erforderlich werden.

Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte zeigt eine flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes für das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim. Dabei gibt sie in erster Linie die Verhältnisse während autochthoner Wetterlagen, also windschwacher austauscharmer Hochdruckwetterlagen wieder. Über die Darstellung der Luftleitbahnen werden jedoch auch die auf alle Wetterlagen bezogenen, langjährigen mittleren Windverhältnisse berücksichtigt.

Auf der Klimafunktionskarte sind die überwärmten **Siedlungsbereiche** in verschiedenen Kategorien dargestellt. Gebiete mit der stärksten Überwärmung und dementsprechend belastenden bioklimatischen Bedingungen (**Ü+**) sind die Stadtkerne von Mannheim und Heidelberg, Gewerbegebiete (z.B. in Waldhof, Luzenbach, Käfertal oder HD-Pfaffengrund) sowie der Industriehafen.

Gebiete mit schwächerer Überwärmung und mässig belastenden bioklimatischen Eigenschaften (**Ü**) finden sich in der Peripherie der Innenstädte von Mannheim und Heidelberg (z.B. Teile von Käfertal, Waldhof, Neckarau, Pfaffengrund, Kirchheim). Des weiteren wurden Teile der grösseren Umlandgemeinden (z.B. Schwetzingen, Oftersheim, Sandhausen, Heddeshelm) als Ü-Gebiete eingestuft.

Die Siedlungsbereiche der Kategorie **Ü-** weisen immer noch eine deutliche Veränderung der Klimaelemente im Vergleich zum Freiland auf, besitzen jedoch im allgemeinen günstige bioklimatische Eigenschaften. Typische Vertreter dieser Kategorie sind kleinere Umlandgemeinden und die Randbezirke größerer Städte. Es fällt auf, dass die Städte entlang der Bergstraße einen vergleichsweise hohen Anteil an den roten, auf Überwärmung hindeutenden Farben aufweisen und dennoch größtenteils der Kategorie Ü- zugeordnet werden. Neben den Faktoren Bebauungsstruktur und Vegetationsanteil spielt das Relief eine wichtige Rolle für die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse in einer Siedlung. Die Städte entlang der Bergstrasse liegen in der sogenannten „wärmebegünstigten oberen Hangzone“. Die Lage einer Siedlung am Oberhang verstärkt ihre nutzungsbedingte Überwärmung, verbessert jedoch gleichzeitig die Durchlüftungsmöglichkeiten. Bei nicht zu starker Windexponiertheit sind solche Hänge, insbesondere bei Südexposition, optimale Wohnstandorte.

Kaltluftgebiete sind überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen sowie innerstädtische größere Grünflächen, über denen aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung eine starke Abkühlung der bodennahen Luftschichten erzielt wird, auf denen also sozusagen Kaltluft „entsteht“. Je nach der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Neigung, Lage, Bewuchs) bleibt die kühle Luft auf der Fläche liegen oder sie fließt - da sie dichter und damit schwerer ist als warme Luft - der Schwerkraft folgend ab. Gebiete mit Kaltluftentstehungs- und Abflußmöglichkeiten finden sich im Untersuchungsraum nur im östlichen Teil, also im Bereich von Odenwald und Kraichgau. In den höheren und steileren Lagen sind die Abflußmöglichkeiten meist gut, mit Annäherung an die Ebene werden die Hänge flacher und besitzen dementsprechend mäßige bis eingeschränkte Bedingungen für den Kaltluftabfluß.

Kaltluftsammlergebiete produzieren Kaltluft, die jedoch aufgrund der geringen Geländeneigung nicht abfließen kann. Sämtliche Landwirtschafts- und Waldflächen in dem zur Oberrheinebene gehörenden größten Teil des Untersuchungsgebietes fallen aufgrund der Ebenheit des Geländes in diese Kategorie. Gebiete mit ausgeprägter Sammelfunktion und den damit verbunden ungünstigen klimatisch-lufthygienischen Bedingungen (erhöhte Dunst-, Nebel- und Frostneigung; bodennahe Schadstoff-

anreicherung) konzentrieren sich vor allem auf die Flußniederungen entlang von Rhein und Neckar. Zu den innerstädtischen Kaltluftentstehungsgebieten (Ki) gehören alle größeren innerstädtischen Freiflächen mit Kaltluftentstehungsfunktion (Parks, Friedhöfe, öffentliche & private Grünanlagen etc.). Beispiele sind in Mannheim die großteils baumbestandene Freifläche nördlich der Vereinigten Glaswerke, die Grünflächen an der Radrennbahn, der Herzogenriedpark, der Bereich am Wasserturm, der Luisenpark und der Schloßgarten. In Heidelberg wurden lediglich die Grünflächen am Neckarufer als Ki-Gebiete ausgewiesen.

Auch wenn die Abfluvvorgänge noch nicht vollständig geklärt sind, so hat sich in jüngerer Zeit doch die Ansicht durchgesetzt, daß bewaldete Hänge sehr effektive Kaltluftproduzenten sind, weil sie erstens ein größeres Kaltluftvolumen produzieren als Freiflächen und weil sie zweitens durch die zeitliche Verzögerung des Kaltluftabflusses auch tagsüber noch zu einer Abkühlung der Umgebung beitragen können. Lediglich in Bezug auf die Temperatur sind Freiflächen die "besseren" Kaltluftproduzenten, d.h. über Freiflächen kühlt die Luft stärker ab als über Wäldern. Hierfür gibt es im Odenwald viele Beispiele.

Unter den **Luftleitbahnen** von regionaler Bedeutung sind großräumige Strukturen zu verstehen, die aufgrund ihrer geringen Rauigkeit, ihrer Richtungsgebung relativ zu den Hauptwindrichtungen und geringer Schadstoffbelastung den Austausch belasteter Luftmassen in Siedlungsgebieten gegen weitgehend frische Luft aus der Umgebung begünstigen. In Heidelberg ist der Neckar nicht nur eine Luftleitbahn, sondern zugleich Abflußbahn für den Kaltluftabfluß aus dem Odenwald. Beispiele in Mannheim sind der Rhein, der Neckar, der nördliche Teil des Altrheins sowie die Bahnanlagen zwischen Neuhermsheim und Mannheim-Hauptbahnhof.

Bei lokalen Luftleitbahnen handelt es sich um kleinräumige Strukturen, die den Luftaustausch innerhalb der Stadt begünstigen. Voraussetzungen sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichende Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf der Strömungsbahnen. Zu den lokalen Luftleitbahnen in Mannheim gehören z.B. die Landwirtschafts- bzw. sonstigen Freiflächen zwischen Sandhofen und Schönau, im Bereich Käfertal und Vogelstang sowie zwischen Wallstadt und Feudenheim. In Heidelberg sind dies etwa die A5 zwischen HD-Pfaffengrund und Eppelheim und der Zubringer zum Autobahnkreuz Heidelberg (A656).

In vom Relief vorgegebenen Strukturen (Täler, Rinnen) kommt es während windschwacher Strahlungswetterlagen zur Ausbildung von Hang- bzw. Berg-Tal-Wind-Zirkulationen mit talaufwärtiger Strömung am Tage und talabwärtiger Strömung in der Nacht. Die vertikale Mächtigkeit solcher **Kaltluftabflüsse** variiert von wenigen Metern bis zu über 100 m, die horizontale Reichweite am Talausgang von einigen 100 m bis zu wenigen Kilometern.

Besonders bedeutend ist das großräumige Berg-/Talwindssystem aus dem Odenwald mit bis zu mehreren Kilometern in die Ebene hinein reichenden kühlen, nächtlichen Strömungen. Am ausgeprägtesten ist dieses lokale Windsystem im Neckartal, es läßt sich jedoch auch bei den übrigen Tälern entlang der Bergstrasse feststellen. Die Reichweite der Strömungen läßt sich nicht genau bestimmen.

Intensive Kaltluftabflüsse finden sich auch in den nicht bewaldeten, steileren Tälern, wie z.B. dem Tälchen bei Großsachsen, dem Kanzelbachtal (bei Schriesheim), Teilen des Mühlbachtals (bei Handschuhsheim) und des Gossentales sowie natürlich im Neckartal.

Durch natürliche oder künstliche Hindernisse wie z.B. Verengung des Talquerschnittes, Pflanzriegel, Dämme oder Bebauung wird der Kaltluftstrom abgebremst (verzögerter Kaltluftabfluss). Aufgrund der dichten Bewaldung des Odenwaldes fallen die meisten Kaltluftabflüsse in diese Kategorie. Beispiele sind die Seitentälchen des Kanzelbachtals, das Peterstal und Steinbachtal (bei HD-Ziegelhausen) und die Tälchen nördlich von Schatthausen.

An Hängen mit geringer Rauigkeit und ausreichender Neigung fließt die Kaltluft flächig über den gesamten Hang ab. Mächtigkeit, Geschwindigkeit und Reichweite sind bei diesen flächenhaften Abflüssen deutlich geringer als bei den oben beschriebenen, in Tälern kanalisierten Kaltluftströmen. Flächenhafte Kaltluftabflüsse bilden sich im Untersuchungsgebiet vor allem am Übergang des Odenwaldes in die Oberrheinebene aus.

Kompakte Bebauung, dichte Gehölzbestände oder Dämme führen zur Unterbrechung oder Verzögerung von Luftströmungen und zum Luftstau. Bei den Beispielen im Untersuchungsraum sei hier auf die bereits beschriebenen Kaltluftabflüsse und Luftleitbahnen verwiesen, da Barrieren immer im Zusammenhang mit diesen Strömungen auftreten.

Als **weitere klimarelevante Flächen** wurden größere Wasserflächen (geringe Rauigkeit, Ausgleich der Temperatur, Feuchte) sowie Deponien/Halden (Strömungshindernisse) ausgewiesen.

Bewertungskarte Klima/Luft

Auf der Basis der Klimafunktionskarte wurde unter Einbeziehung der vorliegenden lufthygienischen Daten die Bewertungskarte Klima/Luft für das gesamte Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Heidelberg-Mannheim erstellt. Im Gegensatz zur weitgehend wertfreien Darstellung auf der Klimafunktionskarte werden auf der Bewertungskarte die Frei- und Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion bzw. ihrer Empfindlichkeit gegenüber Eingriffen in mehrere Klassen eingeteilt. Luftleitbahnen und Kaltluftabflüsse werden differenziert in weitgehend unbelastete und schadstoffbelastete Strömungen. Dargestellt sind außerdem Vorbelastungen wie Hauptverkehrsstraßen und die flächenhafte Lang- bzw. Kurzzeitbelastung.

Entscheidend für die Einstufung der **Freiflächen** als Flächen mit geringer bis sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion ist zum einen ihre Kaltluftproduktivität und zum anderen ihr Bezug zum Siedlungsraum. Kaltluftentstehungsgebiete, Kaltluftabflüsse, Luftleitbahnen und Waldbestände mit direktem Bezug zum Siedlungsraum fallen in die Kategorie sehr hoch bis hoch, wobei die Bedeutung mit zunehmender Empfindlichkeit bzw. Belastung des Wirkungsraumes ansteigt.

Freiflächen mit sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion konzentrieren sich im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes auf die Freiflächen in und um Mannheim und Heidelberg. In Mannheim handelt es sich dabei um die fingerförmig in die Stadt hineinreichenden und meist zugleich als Luftleitbahn dienenden Freiflächen zwischen Sandhofen und Schönau, in Käfertal, in Vogelstang, Wallstadt und Feudenheim. Auch die Wald- und Grünflächen im Bereich Reißinsel/Aufeld und Flugplatz Neuostheim gehören in diese Kategorie. In Heidelberg konzentrieren sich die Flächen mit sehr hoher Ausgleichsfunktion auf die Frei- und Waldflächen südlich des Neckars, so z.B. der große Bereich zwischen Pfaffengrund und Kirchheim, die Grünzäsur zwischen Rohrbach und dem Gewerbegebiet

Rohrbach-Süd und natürlich die bewaldeten, frischluftproduzierenden, stadtnahen Hangflächen des Odenwaldes.

Bei den Flächen mit hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion handelt es sich um Freiflächen, die ebenfalls einen direkten Bezug zu Siedlungen haben und zwar entweder zu mäßig belasteten Wohngebieten oder zu hoch belasteten Gewerbe- und Industrieflächen. Freiflächen dieser Kategorie sind somit überwiegend rings um die Außenbezirke von Mannheim (z.B. Schönau, Gartenstadt, Rheinau) und Heidelberg (z.B. Neuenheim, Handschuhsheim, Eppelheim) bzw. rings um die mäßig belasteten Umlandgemeinden (z.B. Ketsch, auf Teilbereichen rings um Brühl, Sandhausen, Plankstadt, Schwetzingen und Oftersheim) zu finden oder in Wechselwirkung mit grossen Gewerbegebieten (z.B. auf der Friesenheimer Insel, bei Ladenburg oder bei Rohrbach-Süd).

Als Freiflächen mit mittlerer klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion wurden Bereiche mit Bezug zu Wohngebieten ausgewiesen, die sich durch relativ günstige klimatisch-lufthygienische Bedingungen auszeichnen oder zu Gewerbegebieten mit mäßiger Belastung. Dementsprechend ist diese Kategorie im Einzugsbereich der kleineren Städte und Gemeinden des Nachbarschaftsverbandes zu finden (z.B. Heddesheim, Ladenburg, Edingen-Neckarhausen sowie auf Teilgebieten rings um Sandhausen, Plankstadt, Schwetzingen und Oftersheim).

Nur geringe Bedeutung für eine klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion haben Flächen, die zu weit von Siedlungsgebieten entfernt und innerhalb eines ausgedehnten Kaltluftpotentials liegen oder die kaum Kaltluft produzieren. Solche Flächen finden sich im Untersuchungsgebiet z.B. auf der Rheininsel des Otterstädter Altrheins, in den hochgelegenen, siedlungsabgewandten Teilen des Odenwaldes oder in den ausgedehnten Waldgebieten nordöstlich von Mannheim und südlich von Oftersheim.

Bei den **Luftleitbahnen** in Mannheim und Heidelberg handelt es sich aufgrund der hohen Schadstoffbelastung in diesen beiden Ballungszentren grösstenteils um belastete Luftleitbahnen. Als relativ unbelastete regionale Bahnen sind in Mannheim die Rheinabschnitte am Stadtrand und der Neckar bzw. Neckar-Kanal östlich der Friedrich-Ebert-Brücke zu nennen. An unbelasteten lokalen Luftleitbahnen finden sich die Bahn zwischen Sandhofen und Schönau, Teile der Luftleitbahnen im Bereich Käfertal, Vogelstang und Wallstadt sowie in Mannheim-Friedrichsfeld und Rheinau-Hafen. In Heidelberg ist der Neckar eine weitgehend unbelastete Luftleitbahn von regionaler Bedeutung, die Grünstreifen zwischen HD-Rohrbach und dem Gewerbegebiet Rohrbach-Süd ist die einzige unbelastete Luftleitbahn von lokaler Bedeutung. Als belastete regionale Luftleitbahnen wurden in Mannheim die innerstädtischen Abschnitte von Rhein und Neckar, der nördliche Teil des Altrheins und die Gleisanlagen vom Hauptbahnhof bis zum Rangierbahnhof ausgewiesen. In Heidelberg wurden die Freiflächen zwischen Pfaffengrund und Kirchheim aufgrund der im Luftreinhalteplan festgestellten hohen Immissionsbelastung als belastete regionale Luftleitbahn eingestuft, ebenso wie der Abschnitt des Neckars zwischen Ernst-Walz- und Theodor-Heuss-Brücke.

Sowohl bei den in Tälern kanalisierten **Kaltluftabflüssen** als auch bei den flächenhaften Kaltluftabflüssen am Hang handelt es sich im Untersuchungsgebiet durchwegs um unbelastete Luftmassen aus den grösstenteils bewaldeten, unbesiedelten Hang- und Kuppenflächen des Odenwaldes. Auch die großräumigen Berg- oder Talabwinde aus dem Odenwald führen grösstenteils unbelastete Luftmassen mit sich. Lediglich dort, wo sich am Talausgang Siedlungen oder Hauptverkehrsstrassen befinden, wurde der

Bergwind als - zumindest geringfügig - schadstoffbelastet gekennzeichnet (bei Schriesheim, Dossenheim und HD-Handschuhsheim).

Anthropogen bedingte **klimarelevante Barrieren** finden sich in Großsachsen, Schriesheim, Dossenheim, HD-Handschuhsheim, im Bereich Klingenteichstrasse und Steigerweg in Heidelberg, in Leimen, in Ochsenbach, in MA-Käfertal und MA-Feudenheim.

Bei den **Kaltluftammelgebieten** mit entsprechend ungünstigen klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen (erhöhte Dunst-, Nebel- und Frostneigung; bodennahe Schadstoffanreicherung) handelt sich um die tiefgelegenen Landwirtschafts-, Wiesen- und Waldflächen entlang des Rheins, die Ackerflächen zwischen Unterem Dossenwald und der Bahnlinie bei Alteichwald (südlich MA-Friedrichsfeld), die Talaue in der Neckarschleife bei Ilvesheim / Seckenheim, die Niederung entlang des Neckars zwischen Edingen und HD-Wieblingen, landwirtschaftlich genutzte Flächen nördlich von Heddesheim sowie im Bereich des Leimbachtales südöstlich von Oftersheim.

Die **Siedlungsflächen** werden hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung (Bebauungsverdichtung, Flächenversiegelung) bzw. Siedlungserweiterung in drei Bewertungsklassen eingeteilt. Bewertungskriterium ist zum einen die bereits bestehende klimatisch-lufthygienische Belastung des betrachteten Gebietes und zum anderen die Bedeutung des Gebietes für benachbarte Siedlungsbereiche.

Bei den Siedlungsgebieten mit hoher Empfindlichkeit handelt es sich im Untersuchungsraum in erster Linie um die dicht bebauten, überwärmten und vor allem lufthygienisch belasteten Kernstadtbereiche von Mannheim und Heidelberg. In Mannheim beispielweise erstreckt sich dieser Bereich von der Friesenheimer Insel über das Stadtzentrum und Teile von MA-Neckarau bis zum Rheinau-Hafen. Auch die Gewerbe- und Industriegebiete in MA-Waldhof, MA-Käfertal und MA-Vogelstang fallen überwiegend in die Klasse mit hoher Empfindlichkeit. In Heidelberg sind es zum Einen die verdichteten Gebiete vom Stadtzentrum nach Süden bis zum Gewerbegebiet Rohrbach-Süd und nach Westen bis zum Gewerbegebiet in Pfaffengrund und zum Anderen die locker bebauten Wohngebiete im Neckartal und an den Oberhängen am Übergang zum Odenwald (HD-Emmertsgrund, HD-Neuenheim, HD-Handschuhsheim), die als Gebiete mit hoher Empfindlichkeit eingestuft wurden.

In die Kategorie mit mittlerer Empfindlichkeit fallen die restlichen Stadtgebiete von Mannheim und Heidelberg mit Ausnahme einiger randlicher Stadtteile, die nur geringe Empfindlichkeit aufweisen. Mittlere Empfindlichkeit besitzen ebenso die etwas dichter bebauten Teile der Umlandgemeinden Brühl, Ketsch, Plankstadt, Schwetzingen, Oftersheim, Sandhausen, St. Ilgen, Ladenburg und Heddesheim sowie ganz Eppelheim.

Die restlichen Stadtteile (Teile von MA-Schönau, MA-Gartenstadt, MA-Wallstadt, MA-Seckenheim, MA-Friedrichsfeld, HD-Wieblingen und HD-Neuenheim), Teile der Umlandgemeinden (Brühl, Ketsch, Plankstadt, Schwetzingen, Oftersheim, Sandhausen, St. Ilgen, Ladenburg und Heddesheim) sowie ganz Ilvesheim und Edingen fallen aufgrund ihrer günstigen klimatisch-lufthygienischen Strukturen in die Kategorie mit geringer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung.

Bei den **Vorbelastungen und Konflikten** wurden die durch die verschiedenen Quellgruppen (Verkehr,

Hausbrand, Gewerbe und Industrie) hervorgerufenen lufthygienischen Belastungen untersucht. Durch die Überlagerung dieser Informationen mit den klimatischen Gegebenheiten werden Konflikte aufgezeigt, z.B. in Form belasteter Luftleitbahnen und Kaltluftabflüsse, wie oben bereits beschrieben. Zu den Vorbelastungen trägt im Nachbarschaftsverbandsgebiet in erster Linie das dichte Strassennetz bei, wobei die am stärksten befahrenen Strassen in drei Kategorien mit hohem, sehr hohem bzw. extrem hohem Verkehrsaufkommen eingeteilt wurden.

Flächenhafte Aussagen zur lufthygienischen Langzeit-/Kurzzeitbelastung stützen sich auf die Ergebnisse der Rastermessungen nach TA Luft von Januar 1992 bis Januar 1993. Um speziell die räumlichen Unterschiede in der lufthygienischen Belastung erfassen zu können, wurde ein sogenannter "Luftbelastungsindex" erstellt, bei dem mehrere Schadstoffkomponenten gemeinsam betrachtet werden. Insgesamt schwankten die Werte im Untersuchungsraum beim LBI1 (Mass für die Langzeitbelastung) zwischen 0,49 und 1,23 und beim LBI2 (Mass für die Kurzzeitbelastung) zwischen 0,39 und 1,50. Gebiete mit hoher bis sehr hoher Lang- und Kurzzeitbelastung sind in Mannheim die Friesenheimer Insel, das Stadtzentrum, Teile von Käfertal und Rheinau sowie in Heidelberg der Bereich zwischen Pfaffengrund und Kirchheim.

Allgemeine Planungsempfehlungen und Entwicklungsziele

Auf der Basis der Bewertungskarte Klima/Luft wurden für die verschiedenen Kategorien von Frei- und Siedlungsflächen, von Luftleitbahnen und Kaltluftabflüssen sowie für die dargestellten Vorbelastungen und Konfliktbereiche Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele erarbeitet. Es handelt sich dabei um relativ allgemein gehaltene Empfehlungen, die im Einzelfall (z.B. bei Erstellung eines Bebauungsplanes) unter Berücksichtigung der jeweils individuellen Bedingungen konkretisiert werden sollten.

9 Glossar

Albedo - bezeichnet das Verhältnis zwischen reflektierter und einfallender Sonnenstrahlung. Je dunkler eine bestrahlte Oberfläche ist, desto kleiner ist ihre Albedo.

Allochthone Wetterlagen - meist mit Tiefdruckgebieten und kräftigem Wind verbundene Wetterlagen, in denen die Fremdeinflüsse überwiegen.

Advektion - bezeichnet die horizontale Zufuhr von Luftmassen.

antizyklonal, Antizyklone - wanderndes Hochdruckgebiet; Hochdruckeinfluß.

Ausstrahlung - bezeichnet die Wärmeabgabe der Erdoberfläche und der Atmosphäre an den Weltraum in Form von langwelliger Strahlung.

Autochthone Wetterlagen - windschwache Hochdruckwetterlagen mit Dominanz der lokalen Einflüsse, also quasi "hausgemachte" Wetterlagen.

Bioklimatische Bewertung - beschreibt den Einfluß von Wetter, Witterung und Klima auf den Menschen.

Biometeorologie - Wissenschaft von den direkten und indirekten Einflüssen der Atmosphäre auf den Menschen und andere Lebewesen.

Bodeninversion - bezeichnet eine am Boden aufliegende (->) Inversion und entsteht durch die starke Abkühlung bodennaher Luftschichten in klaren, windstillen Nächten. Im Winter kann eine Bodeninversion tagelang anhalten und den Austausch mit höher liegenden Luftschichten verhindern, so daß es zu Stauungen und Schadstoffanreicherungen unterhalb der Warmluft kommen kann.

Eistage - Tage mit Dauerfrost, das heißt die Temperatur bleibt 24 Stunden unter 0°C.

Emission - bezeichnet die von einer (festen oder beweglichen) Anlage oder Produkten an die Umwelt abgegebenen Luftverunreinigungen, Geräusche, Strahlen, Wärme (z. B. Abwärme von Kühltürmen), Erschütterungen und ähnliche Erscheinungen.

Flurwind - bodennahe auf das Wärmezentrum ausgerichtete Kalt- und/oder Frischluftströmung, die aufgrund von Lufttemperatur- und somit Druckunterschieden zwischen Stadt und Umland hervorgerufen wird; tritt vornehmlich bei (->) autochthoner Witterung auf.

Frosttage - Tage, an denen das Thermometer zeitweise unter 0°C sinkt.

Globalstrahlung - setzt sich zusammen aus der unbeeinflusst bis zur Erdoberfläche gelangenden Sonnenstrahlung (direkte Sonnenstrahlung) und der in der Atmosphäre gestreuten und an Wolken reflektierten Strahlung (diffuse Himmelsstrahlung). Die Globalstrahlung gibt an wieviel kurzwellige Strahlung einer Fläche insgesamt zur Verfügung steht.

Grillpartytage - Tage, an denen die Lufttemperatur um 20:30 Uhr noch über 20 °C liegt.

Großwetterlage - großräumiges Wettergeschehen mit der Tendenz, sich jahreszeitlich oder jährlich zu wiederholen.

Heiße Tage - Tage mit einem Höchstwert der Temperatur von mindestens 30 °C.

Heizgradtage - Tage mit einer Tagesmitteltemperatur ≤ 15 °C.

Immission - bezeichnet die Einwirkung von Luftverunreinigungen, Geräuschen, Erschütterungen, Strahlen, Wärme u.a. auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Sachgüter.

Inversion - eine Schicht der Atmosphäre, in der die Temperatur im Gegensatz zum Normalverlauf mit zunehmender Höhe zunimmt. Das Auftreten von Inversionen ist abhängig von meteorologischen, teilweise auch von geographischen Faktoren und der Zeit (Jahres- und Tageszeit).

Kaltluft - Luft, die aufgrund ihres Energieumsatzes an der Erdoberfläche kälter ist als ihre Umgebungsluft.

Kaltluftbildung - infolge der Ausstrahlung kühlt sich nachts der Erdboden und damit auch die darüberliegende Luftschicht lokal ab, so daß es zur Bildung einer bodennahen Kaltluftschicht kommt. Neben den Strahlungsbedingungen ist die Bildung lokaler Kaltluft abhängig von Bewuchs, Form, Exposition und Albedo der Erdoberfläche.

Kelvin - Temperaturdifferenzen werden in der Wissenschaft übereinstimmend in Grad Kelvin angegeben. Die Kelvinskala ist die auf den absoluten Nullpunkt bezogene Temperaturskala mit gleichen Gradabständen wie die Celsiusskala, d.h. 0 Kelvin = -273,15 °C, eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin entspricht einer Differenz von 1 °C.

Klima - beschreibt den langfristigen Aspekt des Wetters an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche.

Kontinentalklima - Bezeichnung für die klimatischen Verhältnisse der inneren, meerfernen Festlandsgebiete. Kennzeichnend sind große Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresgang, niedrige Luftfeuchte und im allgemeinen geringe Bewölkung, geringe Jahresniederschlagshöhen mit Maximum der mittleren Niederschlagshöhen in den Sommermonaten, tagesperiodischen Winde und geringe mittlere Windgeschwindigkeiten.

Konvektion - bezeichnet das Aufsteigen erwärmter Luft bei gleichzeitigem Absinken kälterer Luft in der Umgebung.

Landregen - mehrere Tage anhaltende, mäßig starke Regenfälle, die durch das Aufgleiten warmer Luft auf kühlere Luft ausgelöst werden.

Lee - die vom Wind abgewandte Seite.

Lokale Windsysteme - thermisch bedingte lokale Windsysteme entstehen durch die unterschiedliche Erwärmung der Erdoberfläche und die dadurch erzeugten horizontalen Temperatur- und Luftdruckunterschiede in einem begrenzten Raum. Zu den lokalen Windsystemen zählen Land- und Seewinde, Berg- und Tal- bzw. Talab- und Talaufwinde, Hangauf- und Hangabwinde sowie (->) Flurwinde.

Luftdruck - Druck der Atmosphäre auf jeden Ort der Erdoberfläche. Der Luftdruck nimmt mit der Höhe ab. Die Luftdruckverteilung ist ein wesentlicher Anhaltspunkt für die Beurteilung der Wetterentwicklung.

Luftfeuchtigkeit - ist eine Bezeichnung für den Wasserdampfgehalt der Luft. Luft kann bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen, je höher die Temperatur ist, desto mehr Wasserdampf kann sie enthalten. Enthält Luft einer bestimmten Temperatur den maximal möglichen Wasserdampf spricht man von Sättigung.

Luftreinhaltung - umfaßt alle Maßnahmen, um die durch die Emission von Luftverunreinigungen zu erwartenden Beeinträchtigungen der Umwelt zu verhindern oder in vorgegebenen Grenzen zu halten.

Luv - die dem Wind zugewandte Seite.

Maritimes Klima - das vom Meer beeinflusste Klima mit gemäßigten Temperaturen, geringen Tages- und Jahresschwankungen der Temperatur, relativ hohen Windgeschwindigkeiten und hohen Bewölkungsgraden.

Schwachwind - bezeichnet im allgemeinen mittlere Windgeschwindigkeiten unter einem festgesetzten Grenzwert von 1,5 m/s gemessen in 10 m über Grund.

Smog - kann entstehen, wenn die in der Luft enthaltenen Schadstoffe aufgrund austauscharmer Wetterlagen nicht mehr in die höheren Luftschichten entweichen können und es dadurch zur starken Anreicherung von Luftverunreinigungen kommt.

Smogverordnung - von den Landesregierungen für smoggefährdete Gebiete der Bundesrepublik Deutschland zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen bei austauscharmen Wetterlagen erlassene Verordnungen, die entsprechend der Höhe der auftretenden Schadstoffkonzentrationen verschiedene Alarmstufen vorsehen, die bestimmte Maßnahmen zur Absenkung der Luftschadstoffemissionen erlauben.

Sommertag - Tag mit einer Mindesttemperatur von 25 °C.

Strahlungsnacht - Nacht, in der aufgrund der meteorologischen Bedingungen einer Strahlungswetterlage oder durch Wolkenauflösung hinter einer Kaltfront die Wärmeausstrahlung erhöht ist, so daß die Lufttemperatur in den bodennahen Schichten stark absinkt und die Luftbewegung schwächer wird.

Strahlungswetterlage - Wetterlage, die im wesentlichen durch Strahlungsvorgänge geprägt ist. Charakteristisch für solche Wetterlagen sind ausgeprägte Tagesgänge der meteorologischen Elemente, große horizontale Unterschiede der Temperatur sowie die Ausbildung thermisch angeregter lokaler Windsysteme.

thermisch - die Wärme betreffend, durch Wärme verursacht.

Treibhauseffekt - verschiedene in der Atmosphäre vorhandene Spuren lassen die einfallende Sonnenstrahlung passieren, behindern aber deren Rückstrahlung von der Erdoberfläche in den Weltraum im infraroten Bereich. Dies führt zu einer Erwärmung der Erdoberfläche, die mit steigender Konzentration solcher Spuren (z.B. Kohlendioxid, Fluorkohlenwasserstoffe, Methan, Distickstoffoxid) zunimmt.

Wärmeinsel - derjenige städtische Lebensraum, der gegenüber der Umgebung eine höhere Temperatur aufweist.

Wetter - der augenblickliche Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort, gekennzeichnet durch die meteorologischen Elemente Luftdruck, Lufttemperatur, Wind, Bewölkung, Niederschlag und Strahlung.

Witterung - der Ablauf des Wetters während eines mehrtägigen Zeitraumes.

zonal - parallel zu den Breitenkreisen verlaufend.

zyklonal, Zyklone - wanderndes Tiefdruckgebiet; Tiefdruckeinfluß.

10 Literaturverzeichnis

- ADAM, K. (1988): Stadtökologie in Stichworten, Hirts Stichwortbücher.- CH-Unterägeri
- ALEXANDER, J. (1995): Bewertung von Klima und Luft bei Umweltverträglichkeitsprüfungen.- Meteorologische Zeitschrift, 4, S. 111-115
- BARLAG, A.-B. (1993): Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage, dargestellt am Beispiel von Stolberg (Rheinland). Essener Ökologische Schriften, Band 1.- Essen
- BKR - BÜRO FÜR KOMMUNAL- UND REGIONALPLANUNG (1995): Planungshandbuch Stadtklima zur Klimaanalyse der Landeshauptstadt Düsseldorf. Im Auftrag des Kommunalverband Ruhrgebiet.- Essen
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.) (1993a): Das Klima im Osterzgebirge. Amtliches Gutachten zum Klima im Osterzgebirge als eine Planungsgrundlage für den Bau der Autobahn Dresden-Prag.- Radebeul (unveröff.)
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.) (1993b): Das Bioklima in der Bundesrepublik Deutschland.- Bioklimakarte mit Informationsbroschüre.- Offenbach
- DR. SEITZ - ÖKOPLANA (1998): Analyse klimaökologischer Funktionsabläufe im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens „Waldhofbecken (Nr. 57/8)“ in Mannheim-Luzenberg.- Mannheim
- DR. SEITZ - ÖKOPLANA (1994): Klimaökologische Studie im Bereich des Rangierbahnhofs Mannheim zur Beurteilung möglicher klimatischer Folgeerscheinungen eines geplanten DB-Frachtzentrums.- Mannheim
- FRANKE, E. (Hrsg.) (1977): Stadtklima - Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung. Eine Sammlung von Vorträgen eines Seminars der Württ. Verwaltungs- und Wirtschaftsakademie.- Stuttgart
- GERTH, W.-P. (1986): Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 171, Offenbach am Main
- GESAMTHOCHSCHULE KASSEL (AG Luft) (1991): Klimagutachten für das Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel, Teil 2 (Ergebnisbericht). Analyse, Bewertung und Planungshinweise.- Kassel (unveröff.)
- HÄCKEL, H. (1993): Meteorologie, 3. Aufl.- Stuttgart
- HAUF, T. und WITTE, N. (1985): Fallstudie eines nächtlichen Windsystems. - Meteorolog. Rundschau 38.
- KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT (KRdL) IM VDI UND DIN (Hrsg.; 1993): Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung.- Düsseldorf
- KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT (KRdL) IM VDI UND DIN (Hrsg.; 1988): Stadtklima und Luftreinhaltung. Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung.- Berlin u. a.
- KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT (KRdL) IM VDI UND DIN (Hrsg.; 1995): Ausbreitung von Kfz-

- Emissionen. Emissionsbestimmung. Schriftenreihe, Band 22.- Düsseldorf
- KUTTLER, W. (1991): Zum klimatischen Potential urbaner Gewässer.- In: SCHUHMACHER, H. und THIESMEIER, B. (Hrsg.): Urbane Gewässer.- Essen
- KUTTLER, W. (1993): Klimatische Bedeutung innerstädtischer Grün- und Wasserflächen.- In: SUKOPP, H. und WITTIG, R. (Hrsg.): Stadtökologie.- S. 144 - 148, Stuttgart u.a.
- KUTTLER, W. u. LÖBEL, J. (1993): Die klimatologischen Auswirkungen von Halden. In: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (Hrsg.; 1993): Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt und Regionalplanung.- Düsseldorf
- LFUG - SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.; 2000): Jahresbericht zur Immissionssituation 1999.- Dresden (zitiert als „LfUG“)
- LOHMEYER A., PLATE E. (1986): Windfeld und Abgasausbreitung an Bergehalden. Arbeitshefte Ruhrgebiet A 026, hrsgg. vom Kommunalverband Ruhrgebiet.- Essen
- MAYER H., BACKTRÖGE W. u. MATZARAKIS A. (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen.- In: UVP-report 5/94, S. 265-268
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1990): Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland 1951-1980.- Offenbach am Main
- NOACK, E.-M. u.a. (1986): Quantifizierung der Einflüsse von Bebauung und Bewuchs auf das Klima in der urbanen Biosphäre. Forschungsberichte des BMFT.- München
- PARLOW, E. (1983): Geländeklimatologische Untersuchungen im Bereich der Staufener Bucht unter besonderer Berücksichtigung lokaler Ausgleichsströmungen.- Freiburger Geographische Hefte 20, Freiburg
- SPACETEC DATENGEWINNUNG GMBH (1995a): Stadtklimauntersuchung Dessau. Abschlußbericht.- Freiburg (unveröff.)
- SPACETEC DATENGEWINNUNG GMBH und TÜV SÜDWEST E.V. (1993): Klimauntersuchung Raffinerie Spergau.- Freiburg (unveröff.)
- SPACETEC DATENGEWINNUNG GMBH und TÜV ENERGIE UND UMWELT GMBH (1994): Klimauntersuchung Alte Messe Leipzig.- Freiburg (unveröff.)
- STÄDTEBAULICHE KLIMAFIBEL (1998): Städtebauliche Klimafibel - Hinweise für die Bauleitplanung. Völlig überarbeitete Neuauflage und Zusammenführung der Städtebaulichen Klimafibeln Folge 1 und 2, hrsgg. vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg.- Stuttgart
- STEINICKE & STREIFENEDER (1995): Klimagutachten für die Umweltverträglichkeitsstudie der Reststoff- / Abfall-Ablagerung Leuna (RAAL). Abschlußbericht.- Freiburg (unveröff.)
- STEINICKE & STREIFENEDER (1996): Klima- und Lufthygienische Untersuchung der Stadt Kaiserslautern unter besonderer Berücksichtigung aktueller Planungen. Abschlußbericht.- Freiburg (unveröff.)

- STOCK, P. u. a. (1986): Klimaanalyse Stadt Dortmund. Planungshefte Ruhrgebiet PO18. KV Ruhrgebiet.- Essen
- TÜV ENERGIE UND UMWELT GMBH (1995): Lufthygienische Beurteilung der verkehrsbedingten Immissionen von Straßen und Kreuzungen im Hinblick auf § 40 (2) Bundes-Immissionsschutzgesetz, Wissenschaftliche Dokumentation (STREET).- Filderstadt
- TÜV ENERGIE UND UMWELT GMBH, NIEDERLASSUNG NORDBADEN (1995): Klimagutachten 2. Hafenzufahrt Rheinauhafen Mannheim. - Mannheim
- UMEG (1997): Immissionsuntersuchungen im UG 6 Sachsen-Anhalt 1996/97, Abschlußbericht. Band 1.- Karlsruhe
- UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg; 1995): Luftreinhalteplan Großraum Mannheim/ Heidelberg 1995.- Stuttgart
- VDI-RICHTLINIE 2310 (September 1974): Maximale Immissionswerte. - Düsseldorf
- VDI-RICHTLINIE 3783, Blatt 6 (Oktober 1992): Modellierung des Windfeldes. - Düsseldorf
- VDI-RICHTLINIE 3787, Blatt 1 (Entwurf, Oktober 1994): Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienkarten für Städte und Regionen. - Düsseldorf

11 Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

Tabellen im Text

- Tab. 1 Untersuchungsschritte, Datengrundlagen und Ergebnisse
- Tab. 2 Angaben zu den Thermalscanneraufnahmen für den Nachbarschaftsverband Mannheim-Heidelberg
- Tab. 3 Zusammenhang Nutzung - Oberflächentemperaturverhalten
- Tab. 4 Vergleich langjähriger Temperaturmittelwerte und der Anzahl von Frost- und Sommertagen
- Tab. 5 Die sechs Ausbreitungsklassen nach der TA Luft
- Tab. 6 Ausbreitungsklassen nach TA Luft an den Stationen Karlsruhe und Potsdam
- Tab. 7 Grenz (G)-, Prüf (P)- und Leitwerte (L) für Luftschadstoffimmissionen
- Tab. 8 MIK-Werte nach VDI 2310
- Tab. 9 Bezugswerte zur Berechnung des LBI1 und LBI2
- Tab. 10 Auswirkungen von Grün- und Kleingartenanlagen
- Tab. 11 Konzentrationswerte nach 23. BImSchV
- Tab. 12 Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele
- Tab. 13 Maßnahmen und Umsetzungsinstrumente für die Handlungsfelder Emission/Immission und Vegetation

Abbildungen im Text

- Abb. 5 Standardisierte Klassifikation des Oberflächentemperaturverhaltens
- Abb. 6 Windrichtungsverteilung an den Standorten Mannheim-Nord, Mannheim-Mitte, Heidelberg und Wiesloch
- Abb. 7 Klimatische Voraussetzungen der Smogbildung
- Abb. 8 Städte und Gemeinden des im Luftreinhalteplan Großraum Mannheim/Heidelberg untersuchten Gebietes
- Abb. 12 Längsprofil der Bodenkonzentrationen für verschiedene Haldentypen
- Abb. 13 Gebiete ungünstiger Quellpositionen für verschiedene Haldentypen
- Abb. 15 Bewertungsmatrix „Freiflächen“
- Abb. 16 Bewertungsmatrix „Siedlungsflächen“

Abbildungen im Anhang

Abb. 1 Gebiet der Thermalscannerbefliegung für den Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim

Abb. 2 Thermalkarte Abendsituation

Abb. 3 Thermalkarte Morgensituation

Abb. 4 Klassifizierte Thermalkarte

Abb. 9 Luftbelastungsindex Langzeitbelastung (Jahresmittelwerte)

Abb. 10 Luftbelastungsindex Kurzzeitbelastung (98-Perzentilwerte)

Abb. 11 Legende zur Klimafunktionskarte

Abb. 14 Legende zur Bewertungskarte Klima-Luft