

ARBEITSGRUPPE „KLIMA - LUFT - LÄRM“

Universität Trier
FB VI: Geographie/Geowissenschaften
54286 Trier

Trier, 15.08.2000



Klimagutachten 2000
für den Flächennutzungs- /Landschaftsplan
der Stadt Ludwigshafen am Rhein

im Auftrag
der Stadtverwaltung Ludwigshafen

Bearbeitung: Prof. Dr. J. Alexander
Dipl.-Geogr. M. Speicher
Dipl.-Geogr. T. Leidinger

ARBEITSGRUPPE „KLIMA - LUFT - LÄRM“

Universität Trier
FB VI: Geographie/Geowissenschaften
54286 Trier

Trier, 15.08.2000

*Klimagutachten 2000
für den Flächennutzungs- /Landschaftsplan
der Stadt Ludwigshafen am Rhein*

im Auftrag
der Stadtverwaltung Ludwigshafen

Bearbeitung: Prof. Dr. J. Alexander
Dipl.-Geogr. M. Speicher
Dipl.-Geogr. T. Leidinger

Inhalt

Verzeichnis der Figuren im Text Verzeichnis der Figuren im Anhang

1.	Einleitung	S. 3
2.	Durchlüftung und mittlere Oberflächenrauigkeit	S. 5
2.1	Datengrundlage	S. 5
2.2	Wind- und Austauschverhältnisse in Ludwigshafen am Rhein	S. 8
2.3	Mittlere Oberflächenrauigkeit	S. 12
2.3.1	Ermittlung der mittleren Oberflächenrauigkeit	S. 12
2.3.2	Bestimmung der Rauigkeitslänge	S. 14
2.3.3	Anwendung der Rastermethode	S. 15
2.3.3.1	Ermittlung der Gebäudehöhen	S. 16
2.3.3.2	Berücksichtigung der Vegetationshöhe	S. 21
2.3.4	Mittlere Hindernishöhe auf Rasterebene	S. 21
2.4	Stadtklimarelevante Luftleitbahnen	S. 24
2.4.1	Definition Luftleitbahn	S. 24
2.4.2	Potenzielle Luftleitbahnen in Ludwigshafen am Rhein	S. 27
2.5	<i>Zusammenfassung</i>	S. 32
3.	Lufttemperatur	S. 33
3.1	Grundlagendaten	S. 33
3.2	Datenaufbereitung	S. 34
3.2.1	Anbindung an einen definierten Zeitpunkt	S. 34
3.2.2	Anbindung an eine langjährige Messstation	S. 35
3.3	Modellierung der flächendeckenden Temperaturverteilung	S. 36
3.3.1	Datengrundlage	S. 36
3.3.2	Regressionsansatz	S. 37
3.4	Klimathemenkarte Lufttemperatur	S. 39
4.	Bioklima	S. 40
4.1	Definition Klimatope	S. 40
4.2	Bioklimatische Bewertung	S. 41

5.	Lufthygienische Verhältnisse	S. 46
5.1	<i>Verkehrsbedingte Luftschadstoffimmissionen</i>	S. 46
5.2	<i>Screening-Modell Street</i>	S. 47
5.2.1	<i>Modellkonzeption</i>	S. 47
5.2.2	<i>Eingangsdaten</i>	S. 49
5.2.3	<i>Unsicherheitsbereiche</i>	S. 53
5.2.4	<i>Zusammenfassung und Ergebnisse</i>	S. 55
5.3	<i>Luftbelastungsindex</i>	S. 57
6.	Synthetische Klimafunktionskarte und klimaökologisches Gesamtkonzept	S. 60
6.1	<i>Freiflächen / Ausgleichsräume</i>	S. 60
6.2	<i>Siedlungsflächen / Wirkungsräume.....</i>	S. 63
6.3	<i>Spezifische klimaökologische Wirkungen</i>	S. 64
6.4	<i>Bewertung der Frei- und Siedlungsflächen</i>	S. 65
7.	<i>Stadtteilbezogene Darstellung der klimatischen Verhältnisse</i>	S. 81
8.	<i>Gesamtstädtische Betrachtung</i>	S. 88
	Literatur	S. 90

ANHANG

ANLAGE: Klimathemenkarten

(Maßstab 1 : 15.000):

- Grundlagen (*Fortschreibung 07/2000*)
- Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit (*Fortschreibung 07/2000*)
- Lufttemperatur (*Fortschreibung 07/2000*)
- Bioklima (*Fortschreibung 08/2000*)
- Grobscreening Kfz-bedingter Luftschadstoff-Immissionen für das Jahr 1996
- Grobscreening Kfz-bedingter Luftschadstoff-Immissionen für das Jahr 2000
- Synthetische Klimafunktionskarte (*Fortschreibung 07/2000*)

Verzeichnis der Figuren im Text

Fig. 1: Meteorologie-Messprogramm des LfUG im Rahmen der Fortschreibung des Luftreinhalteplans Ludwigshafen – Frankenthal	S. 6
Fig. 2: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung an der Station Mannheim von 1981 – 1990 in Abhängigkeit von der atmosphärischen Schichtung (jeweils 100%)	S. 9
Fig. 3: Kombinierte Verteilung der Häufigkeiten für Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen an der Station Mannheim im Zeitraum 1981 bis 1990	S. 9
Fig. 4: Mittlere Werte der Rauigkeitslänge ausgewählter Oberflächen / Flächennutzungen	S. 14
Fig. 5: Charakterisierung der Siedlungstypen in Ludwigshafen am Rhein	S. 17
Fig. 6: Mittlere Geschosshöhen nach Bauperioden	S. 18
Fig. 7: Gebäudehöhen mit Dachniveau	S. 19
Fig. 8: Nutzungsspezifische Geschosshöhen für Sonderbau/Gemeinbedarf	S. 20
Fig. 9: Biotoptypen mit potenziell durchlüftungshemmender Wirkung	S. 21
Fig. 10.1: Rechenbeispiele zur Ermittlung der mittleren Hindernishöhe für ausgewählte Siedlungstypen	S. 22
Fig. 10.2: Rechenbeispiele zur Ermittlung der mittleren Hindernishöhe für ausgewählte Biotoptypen	S. 22
Fig. 11: Rechenbeispiele zur Ermittlung der „effektiven Höhe“ ausgewählter Rasterflächen	S. 23
Fig. 12: Charakterisierung stadtklimarelevanter Luftleitbahnen	S. 25
Fig. 13: Luftleitbahnen und ihre Eignung für den Kalt- und Frischlufttransport	S. 26
Fig. 14: Temperaturmessfahrten in Ludwigshafen am Rhein von 1981 - 1991 und 1998	S. 33
Fig. 15: Deutsche Grundkarten 1 : 5.000 für das Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein	S. 36
Fig. 16: Regressionsgerade zur Klärung des Zusammenhanges zwischen Lufttemperatur und Versiegelungsgrad	S. 38
Fig. 17: Kenngrößen der Regression	S. 38

Fig. 18: Prüfkonzentrationen nach 23. BImSchV	S. 46
Fig. 19: Ermittlung der verkehrsbedingten Immissionen nach STREET 1.0.....	S. 48
Fig. 20: Fahrmodi im innerörtlichen Verkehr	S. 50
Fig. 21: Flottenzusammensetzung der Jahre 1996 und 2000 (Region West)	S. 51
Fig. 22: Abgeschätzte Vorbelastung für die betrachteten Vorbelastungstypen Angaben in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	S. 52
Fig. 23: Berechnete Konzentration in Abhängigkeit von Emission, Ausbreitung, Reaktion und Vorbelastung	S. 53
Fig. 24: Fehlerabschätzung für die berechneten Komponenten und Kenngrößen bei der Ermittlung kfz-bedingter Immissionen	S. 54
Fig. 25: Prognostizierte Überschreitungen der Prüfkonzentrationen im Jahr 2000 im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein	S. 55
Fig. 26: Lineares Regressionsmodell zur Klärung des Zusammenhanges zwischen prognostizierten (2000) und durch Querschnittszählungen (1996) ermittelten DTV-Werten	S. 56
Fig. 27: Grenzwerte IW1 (Langzeitbelastung) und IW2 (Kurzzeitbelastung) nach TA Luft Angaben in [mg/m^3]	S. 57
Fig. 28: Langzeitbelastungsindex (LBI_1)	S. 58
Fig. 29: Kurzzeitbelastungsindex (LBI_2)	S. 59
Fig. 30: Entscheidungsleiter zur Ermittlung der klimaökologischen Bedeutung von Freiflächen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein	S. 62
Fig. 31: Klimaökologische Wirkung innerstädtischer Grünflächen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein in Abhängigkeit von Lage und Flächengröße	S. 64
Fig. 32: Lage und Kennzeichnung der Freiflächen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein	S. 66
Fig. 33: Null-Steckbrief zur Kennzeichnung der Freiflächen im Stadtgebiet von Ludwigs- hafen am Rhein	S. 67
Fig. 34: Stadtteile und Stadtteilgrenzen in Ludwigshafen am Rhein	S. 81

Verzeichnis der Figuren im Anhang

Fig. 1: Grob-Screening der verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen in Ludwigshafen am Rhein 2000

Fig. 2: Grob-Screening der verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen in Ludwigshafen am Rhein 1996

Fig. 3: WINSTREET - Übersicht über die Strassenkategorien

1. Einleitung

Am 30.07.1996 wurde die Arbeitsgruppe „Klima – Luft – Lärm“ im FB VI: Geographie/Geowissenschaften der Universität Trier von der Stadtverwaltung Ludwigshafen mit der Erstellung eines Klimagutachtens zur Fortschreibung des Flächennutzungs-/Landschaftsplans beauftragt.

Im Vordergrund stand dabei einerseits die Erstellung von Klimathemenkarten (Temperatur, Durchlüftung, Bioklima, Synthetische Klimafunktionskarte), andererseits die Abschätzung der kfz-bedingten Immissionsverhältnisse nach 23. BImSchV über ein Grobscreening.

Im Gegensatz zu traditionellen Stadtklimauntersuchungen bestand die Schwierigkeit darin, dass zwar die Grundlagen über die aktuellen Realnutzungsstrukturen in hoher Auflösung digital auf der Basis der Deutschen Grundkarte (1:5.000) erarbeitet werden konnten, die auszuwertenden Klimadaten jedoch auf Datenkollektiven basierten, die zeitlich und räumlich sehr heterogen waren und *für unterschiedliche Fragestellungen* (z.B. Luftreinhalteplanung, Gutachten auf B-Plan-Ebene, Forschungsvorhaben) interpretiert wurden. Das größte Problem bestand allerdings darin, dass die Zusammenhänge zwischen Oberflächenstrukturen und klimatischem Verhalten für einzelne Stadtteile nicht bekannt waren. *Aus diesem Grunde wurden die Grundlagendaten digital aufgenommen und aufbauende GIS-gestützte Verfahren und Modelle entwickelt*, die - ausgehend von den partiell vorliegenden Messdaten - ein flächendeckendes Bild der aktuellen klimaökologischen Verhältnisse vermitteln. [...].

Aufbauend auf den Ergebnissen des Klimagutachtens wurden von Seiten der Stadtverwaltung Messungen im südlichen Stadtgebiet von Ludwigshafen beauftragt, da hier aufgrund der Datenlage und unter Berücksichtigung geplanter zukünftiger Nutzungsänderungen eine Bestandsanalyse der aktuellen lokalklimatischen Verhältnisse erforderlich war. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur „Feststellung und Bewertung der lokalklimatischen Auswirkungen von Neubauf Flächen im südlichen Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein“ (ALEXANDER 1999) liegen der Stadtverwaltung Ludwigshafen seit Februar 1999 vor und werden in den Text des Klimagutachtens integriert, um den aktuellen Kenntnisstand über das Stadtklima von Ludwigshafen am Rhein zu dokumentieren. Fortgeschrieben wurden auch die Klimathemenkarten „Grundlagen“, „Temperatur“, „Oberflächenrauigkeit und Durchlüftung“ sowie die „Synthetische Klimafunktionskarte“.

Mit der Digitalisierung

- der Deutschen Grundkarten 1 : 5.000 für das Stadtgebiet von Ludwigshafen,
- *der Biotoptypen* im Rahmen der Biotoptypenkartierung (L.A.U.B. (Hrsg.) 1992),
- der Karte der [...] Siedlungstypen 1 : 10.000 (IFP (Hrsg.) 1985),
- des Gesamtverkehrsplans/Verkehrsentwicklungsplans 2000 (SCHÄCHTERLE u. SIEBRAND 1993),
- meteorologischer und lufthygienischer Grundlagendaten

und der digitalen Vorhaltung der (fortgeschriebenen) Klimathemenkarten wurde für die Stadt Ludwigshafen die Grundlage für *die Implementierung und den Aufbau* eines digitalen Umweltinformationssystems geschaffen.

2. Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit

Gradientschwache Hochdruckwetterlagen können zu thermischen (Wärmebelastung - Hitzestress) und/oder lufthygienischen Belastungssituationen führen, die sich in den Winter- und Sommermonaten nach Andauer, Intensität und Art erheblich voneinander unterscheiden. Insbesondere während sommerlicher Hochdruckwetterlagen ist die Belastung durch die Ausbildung stadtklimatologischer Phänomene, wie die städtische Wärmeinsel, die städtische Dunst- und Smogfahne und hohe Schwüleraten im Stadtgebiet am größten und somit eine Kalt- und Frischluftzufuhr vom Umland in das bebaute Gebiet notwendig (ALEXANDER 1992). *Hierbei spielen stadtklimarelevante Luftleitbahnen, die aufgrund ihrer niedrigen aerodynamischen Oberflächenrauigkeit den Transport von Luftmassen aus dem Umland in die Stadt insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen (Schwachwindlagen) nicht beeinträchtigen, eine wichtige Rolle: Über die Advektion kühler und/oder lufthygienisch unbelasteter Luftmassen können sie zu einer Reduzierung der auf die Menschen in der Stadt wirkenden bioklimatischen Belastungen beitragen.*

Zur Charakterisierung der Windverhältnisse während sommerlicher Hochdruckwetterlagen werden die für das Stadtgebiet von Ludwigshafen vorliegenden Stationsdaten analysiert und in Form von Tag-/Nacht-Windrosen dargestellt. Als Maß für die Oberflächenrauigkeit werden flächendeckend die "effektiven Höhen" in Anlehnung an die sog. Rastermethode (MAYER u. MATZARAKIS 1992) berechnet. Auf dieser Grundlage erfolgt die Ausweisung von potenziellen Luftleitbahnen, d.h. von Flächen, die aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit, Länge und Ausrichtung geeignet erscheinen, um als Leitbahnen für lokale Ausgleichsströmungen fungieren zu können. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in der Klimathemenkarte "Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit".

2.1 Datengrundlage

Das Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht (LfUG) hat im Rahmen der Fortschreibung des Luftreinhalteplans im Untersuchungsgebiet Ludwigshafen-Frankenthal ein Meteorologie-Messprogramm für den Messzeitraum Juli 1985 bis Juli 1986 an insgesamt 11 Standorten durchgeführt, von denen folgende Stationen mit in die Auswertung einbezogen werden:

Fig. 1: Meteorologie-Messprogramm des LfUG im Rahmen der Fortschreibung des Luftreinhalteplans Ludwigshafen - Frankenthal

Nr.	Station	Rechts-/Hochwert	
1	Altrip (Blaue Adria)	3.461.600	5.476.950
2	Edigheim	3.457.020	5.489.090
3	Frankenthal	3.454.250	5.488.870
4	Friesenheim	3.456.690	5.484.980
5	Hochfeld	3.457.060	5.481.030
6	Limburgerhof (Mutterstadt)	3.453.820	5.477.130
7	Ludwigshafen-Maudach	3.453.660	5.481.030
8	Ludwigshafen-Süd	3.460.090	5.480.950
9	Studernheim	3.454.060	5.493.290

(Quelle: MfUG (Hrsg.) 1989)

Zur Charakterisierung der Durchlüftungssituation werden ergänzend Winddaten der BASF AG (Station S 800) genutzt. Diese Station wird in der Karte gesondert ausgewiesen, da ein anderer Messzeitraum (1989 - 1996) sowie eine andere Messhöhe (30 m ü. Gr.) zu Grunde liegt. [...].

Aus den vorliegenden Stationsdaten des LfUG und der BASF AG wurden Tage mit Hochdruckwetterlagen (Großwetterlagen nach Hess und Brezowski (DWD (Hrsg.) 1993) und *monatliche Witterungsberichte des DWD*) ausgewertet und die Häufigkeit der Windrichtungsverteilung in Form von Tag- /Nacht-Windrosen mit Calmenanteilen (< 0,5 m/s) [...] dargestellt. Den Windrosen liegt dabei grundsätzlich der Zeitraum der überwiegend heizfreien Periode von Mai bis einschließlich September zu Grunde.

Zur Beschreibung der Durchlüftungssituation wurden ergänzend die nächtlichen Hauptwindrichtungen aus den vorliegenden Gutachten abgeleitet und in Form von Pfeilsignaturen in die Karte der Durchlüftung integriert; sie dienen als Ergänzung zur Charakterisierung der Durchlüftungsverhältnisse über Windrosen.

Dabei fanden Berücksichtigung:

a) DWD (Hrsg.) (1982):

Messzeitraum: Juli 1981 - Juni 1982

- Freilandstation Roßlache - West (10 m)
- Freilandstation Roßlache - Ost (10 m)
- Freilandstation Ebertpark (10 m)
- Stadtstation Helen - Keller - Straße (10 m)
- Stadtstation Bgm. - Grünzweig - Straße (10 m)

b) SEITZ, R. (1985):

Messzeitraum: Sommerhalbjahr 1981

- Station Friedhof (8 m)
- Station Raiffeisenbank (13 m)
- Station Comeniuszentrum (8 m)
- Station Behindertenzentrum (7 m)
- Station Birkenhof (8 m)
- Station Wasserwerk (10 m)
- Station Hauptfriedhof (8 m)

c) DWD (1991):

Messzeitraum: Juli / August 1990

- Station Industriestraße (10 m)
- Station Kopernikusstraße (10 m)
- Freilandstation am Südrand des geplanten Gewerbegebietes (10 m)

Zur Erfassung der lokalklimatischen Verhältnisse im südlichen Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein (ALEXANDER 1999) wurden stationäre Windmessungen an sechs Stationen durchgeführt (vgl. Karte "Grundlagen"):

Messzeitraum Mai 1998 – Mai 1999

- a) Freilandstation Bayreuther Straße (10 m, 25 m)*
- b) Freilandstation Rheingönheim-West (10 m)*
- c) Freilandstation Rheingönheim-Ost (10 m)*

Messzeitraum Mai 1998 – Oktober 1998

- d) Dachstation Behindertenwohnheim in Maudach (9 m)*
- e) Dachstation D.R.K. in Mundenheim (13,9 m)*
- f) Dachstation BBZ in Ludwigshafen West (19 m)*

Darüber hinaus standen die meteorologischen Daten der ZIMEN-Station Mundenheim über den Zeitraum von Mai bis einschließlich September zur Verfügung.

In der Karte der "Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit" werden die Windverhältnisse der automatischen Stationen (a-d) und der ZIMEN-Station Mundenheim in Analogie zur zuvor beschriebenen Vorgehensweise ausgewertet und in Form von Tag-/Nacht-Windrosen dargestellt, die Windverhältnisse an den Dachstationen D.R.K. und BBZ (mechanische

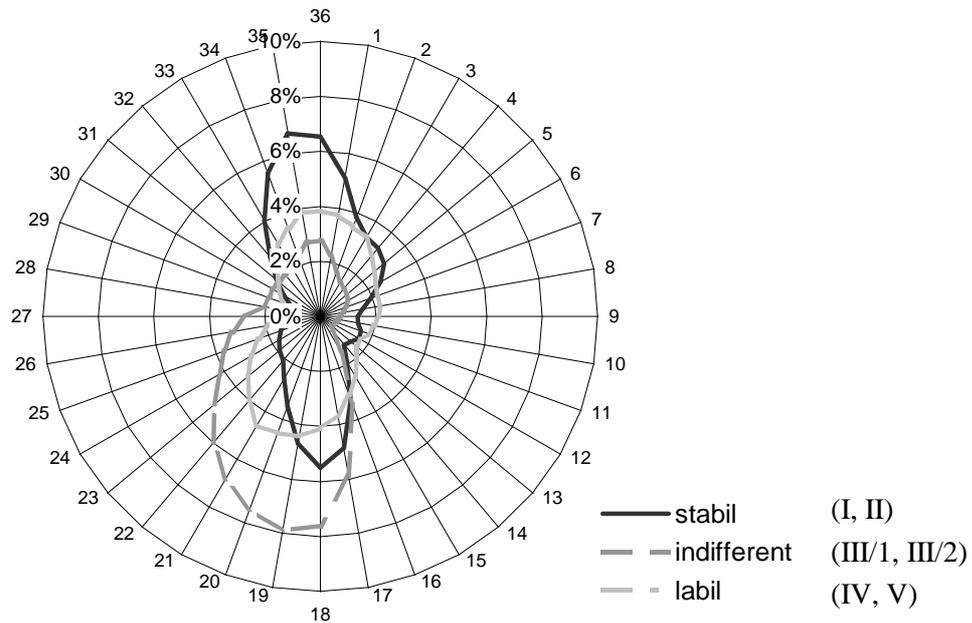
Windschreiber nach Wölfler) in Form von Pfeilsignaturen zur Charakterisierung der dominierenden nächtlichen Windrichtungen.

Ebenfalls in die Karte der "Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit" integriert wird die Tag-/Nacht-Windrose der Station "Westlich B 9", die aus Windmessungen im Zeitraum von Mai bis einschließlich September 1997 (Messhöhe 10 m) abgeleitet wurde.

2.2 Wind- und Austauschverhältnisse in Ludwigshafen am Rhein

Die Strömungsverhältnisse im Oberrheingraben werden *wesentlich* durch den Einfluss der Orographie auf das Windfeld bestimmt. Der Einfluss der Nord-Süd-Ausrichtung des Rheintales *im Bereich des Untersuchungsgebietes spiegelt sich in der Häufigkeit der zu beobachtenden talparallelen Windrichtungen wider. Der Kanalisierungseffekt zeigt dabei eine deutliche Abhängigkeit von der thermischen Schichtung: Er ist umso stärker ausgeprägt, je stabiler die Atmosphäre geschichtet ist (vgl. Fig. 2). Wenn der geostrophische, d.h. reibungsunbeeinflusste, Wind von Nord über Ost nach Süd dreht, werden am häufigsten Bodenwinde im Rheingraben aus Nord beobachtet, dreht der geostrophische Wind von Süd über West bis Nordwest, treten dagegen Bodenwinde aus Süd auf (WIPPERMANN 1987).*

Fig. 2: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung an der Station Mannheim von 1981 – 1990 in Abhängigkeit von der atmosphärischen Schichtung (jeweils 100 %)



(Quelle: nach Daten des DWD)

Die folgende Figur zeigt die kombinierte Verteilung der Häufigkeiten für Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen (nach TA Luft) der Station für den entsprechenden Zeitraum:

Fig. 3: Kombinierte Verteilung der Häufigkeiten für Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen an der Station Mannheim im Zeitraum 1981 bis 1990

V [m/s]	Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier					
	I sehr stabil	II stabil	III/1 neutral/ leicht stabil	III/2 neutral/ leicht labil	IV labil	V sehr labil
1,0	11,01	7,63	1,03	1,24	2,26	0,96
1,5	4,18	4,18	1,13	1,26	1,19	0,79
2,0	3,9	3,98	1,98	1,7	1,04	0,71
3,0		6,16	10,22	6,73	2,12	1,48
4,5			10,74	3,4	0,73	0,36
6,0			5,09	0,48	0,1	0,01
7,5			1,54	0,07	0,01	-
9,0			0,46	-	-	-
12,0			0,12	-	-	-
Summe	Σ 19,09	Σ 21,95	Σ 32,31	Σ 14,88	Σ 7,45	Σ 4,31

(Angaben in (%))

(Quelle: nach Daten des DWD)

Demnach ist in rund 41 % aller Fälle mit dem Auftreten stabiler Schichtungsverhältnisse (Klasse I + II) zu rechnen. In ca. 2/3 aller Fälle werden Windgeschwindigkeiten unter 3,8 m/s beobachtet, in der Hälfte aller Fälle überschreitet die Windgeschwindigkeit 2,3 m/s nicht. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit liegt im Stadtgebiet von Ludwigshafen bei 2,5 m/s (DWD (Hrsg.) 1991).

Stabile Wetterlagen sind nicht nur aufgrund des eingeschränkten vertikalen Luftaustauschs in Kombination mit geringen Windgeschwindigkeiten und entsprechend reduziertem Horizontalaustausch für Fragen der Luftreinhalte („Immissionsklima“), sondern auch für die Ausprägung eines eigenständigen Stadtklimas von besonderer Bedeutung. [...].

Jahreszeitliche Veränderungen in der Windrichtungsverteilung und auch lokale, durch das thermische Ungleichgewicht zwischen bebauten und unbebauten Flächen hervorgerufene Strömungsverhältnisse in ihrer räumlichen Differenzierung können auf der Basis der Ausbreitungsklassenstatistik jedoch nicht abgeleitet werden. Auf der Grundlage der bislang im Stadtgebiet von Ludwigshafen durchgeführten Untersuchungen können unter Einbeziehung der Messungen im südlichen Stadtgebiet (ALEXANDER 1999) folgende Gesetzmäßigkeiten festgestellt werden:

Während sommerlicher Hochdruckwetterlagen (Bezugszeitraum Mai – September) treten in weiten Bereichen des Stadtgebietes von Ludwigshafen in den Abend- und Nachtstunden bevorzugt nordwestliche bis nördliche und in geringerem Umfang südöstliche bis südliche Strömungsrichtungen auf. Winde aus Nordwest bis Nord sind dabei i.d.R. mit höheren, Winde aus Südost bis Süd mit geringeren Windgeschwindigkeiten verbunden. Dabei zeichnet sich die Tendenz ab, dass die Häufigkeiten und die Strömungsgeschwindigkeiten nordwestlicher Winde im Stadtgebiet von Norden nach Süden zu Gunsten südlicher Strömungsrichtungen abnehmen. Unter dem Einfluss schwach ausgeprägter südlicher Höhenströmungen stellen sich gegen Ende der ersten Nachthälfte bodennah nordwestliche Windrichtungen ein und dominieren in weiten Bereichen des Stadtgebietes während der zweiten Nachthälfte; in Höhen von durchschnittlich über 60 m werden sie von südlichen Strömungsrichtungen überlagert. Das bevorzugte Auftreten der nordwestlichen Strömungskomponente gegen Ende der ersten und während der zweiten Nachthälfte - das mit einem tagesperiodischen Windrichtungswechsel von bis zu 180° verbunden sein kann - deutet auf einen Zusammenhang mit der thermischen Schichtung (Bildung und Intensivierung einer Bodeninversion) hin. Erklärungsansätze für das Phänomen des „Counter current“ oder „Gegenstromes“, das beispielsweise in den Arbeiten von FEZER u.

SEITZ (1977), ZIMMERMANN (1984, 1982), SEITZ (1985) und SEITZ et al. (1994) als „gegenläufige Höhenströmung“ angesprochen wird, liefern FIEDLER (1983) und WIPPERMANN (1987, 1983). In früheren Klimaanalysen und -gutachten wird die klimaökologische Bedeutung nordwestlicher Windrichtungen - im Folgenden als Regionalwind bezeichnet - hervorgehoben. Beispiele für die klimaökologische Wirksamkeit des Regionalwindes finden sich u.a. in der Untersuchung von SEITZ et al. (1994) für das Altbauquartier Karolina-Burger-Straße in Mundenheim, nach welcher sich (am 02.07./03.07. 1991) erst mit dem Einsetzen regionaler Nordwest-Winde wieder ein „[...] intensiveres, bodennahes Luftaustauschgeschehen“ mit „[...] lokal verbesserte(n) Luftaustauschbedingungen [...]“ einstellt (SEITZ et al. 1994). Aus THOMMES (1986) und dem amtlichen Gutachten des DWD ((Hrsg.) 1987) geht hervor, dass der Einfluss des Regionalwindes auch in der Innenstadt (Hans-Klüber-Platz) nachweisbar ist, und sich (am 01.06./02.06.1981) in einem deutlichen Temperaturrückgang bemerkbar macht. ZIMMERMANN (1982) kommt im Rahmen seiner Untersuchungen zu ähnlichen Ergebnissen, weist jedoch darauf hin, dass die „[...] klimaökologisch positiver(e) Wirkung der west-nordwestlichen Belüftung des Stadtteils Mitte auf wenige Tage oder Stunden beschränkt bleibt“ und „die hauptsächliche Belüftungswirkung in der Stadtmitte [...] vom Rhein her statt(findet).“ Auf der Grundlage der Messungen im Sommer 1998 im südlichen Stadtgebiet konnte die klimaökologische Relevanz des regionalen Nordwestwindes für Niederfeld, Hochfeld und den Nordrand von Mundenheim nachgewiesen werden (vgl. ALEXANDER 1999).

In Modifikation der regionalen Windverhältnisse stellen sich unter dem Einfluss der städtischen Bebauung lokale Strömungsverhältnisse ein, die insbesondere an gradientschwache Strahlungswetterlagen gebunden sind: Bei großräumig geringen Windgeschwindigkeiten und autochthonen Bedingungen wird durch den Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland („Städtische Wärmeinsel“) ein meist mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten verbundenes, intermittierend auftretendes Lokalwindssystem induziert, das im Idealfall radial in die Stadt eindringt (HUPFER u. KUTTLER (Hrsg.) 1998). Das Klimagutachten von FEZER u. SEITZ (1977) legt nahe, dass sich im Raum Ludwigshafen/Mannheim während gradientschwacher Strahlungswetterlagen ein lokales Windsystem mit zentripetal zum Zentrum der Wärmeinsel (Werksgelände der BASF AG, Innenstadt) gerichteten Luftbewegungen einstellt. Das Auftreten thermisch induzierter Flurwinde in Ludwigshafen wurde vom DWD ((Hrsg.) 1987) für die Roßlache nachgewiesen; die Messungen im Sommer 1998 belegen das Auftreten von Flurwinden auf

den Freiflächen südlich der Mannheimer Straße/Frankenthaler Straße im Bereich der Entwicklungsachse West (vgl. ALEXANDER 1999).

2.3 Mittlere Oberflächenrauigkeit

Um stadtklimarelevante Luftleitbahnen ausweisen zu können, müssen Flächen kartiert werden, die aufgrund ihrer niedrigen aerodynamischen Oberflächenrauigkeit den Transport von Luftmassen aus dem Umland in das Stadtgebiet insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen (Schwachwindlagen) nicht beeinträchtigen.

Für das Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein wird *die Rastermethode in Anlehnung an MAYER u. MATZARAKIS (1992)* angewendet, die flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet eine effektive Höhe angibt.

Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass die Daten digital mit einem Geographischen Informationssystem – hier MapInfo Professional - in einer regelmäßigen räumlichen Anordnung dargestellt werden können und eine Weiterverarbeitung mit anderen vorhandenen meteorologischen und stadtklimarelevanten Daten ermöglicht wird. Nachteil dieser Methode ist ihre fehlende Flächenschärfe, d.h. es können parzellengroße Details, die ggf. für potenzielle Ausgleichsströmungen von Bedeutung sein können, nicht miteinbezogen werden. [...].

Bei der Anwendung der Rastermethode wird das Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein in Rasterflächen von 100 * 100 m unterteilt und der prozentuale Flächenanteil der Gebäude und der prozentuale Flächenanteil potenziell durchlüftungshemmender Biotope für jede Rasterfläche ermittelt. Aus den prozentualen Anteilen der Gebäudeflächen und ihren mittleren Höhen sowie aus den prozentualen Anteilen der Biotope wird die mittlere Oberflächenrauigkeit für jedes Rasterquadrat berechnet.

2.3.1 Ermittlung der mittleren Oberflächenrauigkeit

Als Kenngröße für die aerodynamische Oberflächenrauigkeit einer Fläche wird in der Meteorologie der Rauigkeitsparameter z_0 verwendet, der aus dem mittleren vertikalen Windprofil bestimmt werden kann. Das mittlere vertikale Windprofil gilt für den unteren

Bereich der atmosphärischen Grenzschicht und beschreibt eine logarithmische Windgeschwindigkeitszunahme mit der Höhe unter neutralen Schichtungsverhältnissen (nach LETTAU 1969, vgl. MAYER et al. 1994, VDI (Hrsg.) 1988, FEZER 1995):

(Gl.1)

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$u(z)$ horizontale Windgeschwindigkeit [m/s] in der Höhe z [m]

u_* Schubspannungsgeschwindigkeit [m/s]

k von Kármán-Konstante ($k=0,41$)

z_0 Rauigkeitslänge [m]

Bei höheren Vegetationsformen oder dichten Bebauungsstrukturen wird noch die Verdrängungsdicke oder auch -höhe d [m] zu berücksichtigen, die angibt, um welchen Betrag das logarithmische Windprofil von der Bodenoberfläche abgehoben wird. Anstelle von Gl.1 lautet dann der Ansatz für das logarithmische Windprofil:

(Gl.2)

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \cdot \ln\left(\frac{(z-d)}{z_0}\right)$$

Die Rauigkeitslänge z_0 ist ein Maß für den aerodynamischen Reibungswiderstand der Erdoberfläche und hängt von der Höhe der Oberflächenbedeckungstypen bzw. der Hindernisse ab. In Figur 4 sind mittlere Werte der Rauigkeitslänge z_0 für einige ausgewählte Oberflächen bzw. Flächennutzungen zusammengestellt:

Fig. 4: Mittlere Werte der Rauigkeitslänge z_0 ausgewählter Oberflächen / Flächennutzungen

Oberfläche / Flächennutzung	z_0 [m]
Schneeflächen	ca. 0,001
Sandflächen	0,001 ... 0,01
Straßen	0,01 ... 0,1
Wiese	ca. 0,1
Getreidefelder	0,05 ... 0,5
Bahnanlagen	0,1 – 0,3
Einzel- und Reihenhausbebauung	ca. 1,0
Industrie- und Gewerbegebiete	0,8
Neubauten, moderne Hochhäuser	ca. 2,5
Citybebauung, Blockbebauung	3,0 ... 4,0
Wald (je nach Alter)	0,5 ... > 3,0

(Quelle: *MAYER et al. 1994*)

Bei sehr großer Rauigkeitslänge wird die Windgeschwindigkeit stark verringert und erreicht erst in sehr viel größerer Höhe als über verhältnismäßig glatten Oberflächen den Wert des geostrophischen Windes. Nach LANDSBERG (1956) und KRATZER (1956) kann die Abnahme der Windgeschwindigkeit in der Stadt gegenüber freiem Gelände in 10 m Messhöhe zwischen 20 % und 30 % betragen. [...].

2.3.2 Bestimmung der Rauigkeitslänge

Die Rauigkeitslänge (z_0) kann über einen empirischen Ansatz ermittelt werden. Nach LETTAU (1969) wird z_0 durch die mittlere Höhe h , die mittlere Windangriffsfläche s der Hindernisse und durch die spezifische Fläche S , die das Hindernis einnimmt, berechnet. Befinden sich mehrere Hindernisse auf einem Gelände, so errechnet sich S zu:

(Gl.3)

$$S = \frac{A}{n}$$

A Gesamtfläche

n Zahl der Hindernisse

Damit errechnet sich die Rauigkeitslänge theoretisch in

(Gl.4)

$$z_0 = 0,5h \cdot \frac{s}{S}$$

- h mittlere Hindernishöhe in [m]
 s mittlere Windangriffsfläche in [m²]
 S spezifische Fläche in [m²]

Eine Verdrängungsdicke d wird bei dem Ansatz von LETTAU nicht berücksichtigt.

KONDO u. YAMAZAWA (1986) definieren die geometrische Rauigkeit h zur Berechnung von z_0 in Städten folgendermaßen:

(Gl.5)

$$h = \frac{1}{S} \sum (H_i * S_i)$$

- S Fläche in [m²]
 H_i Höhe der Rauigkeitselemente i
 S_i Grundrissfläche der Rauigkeitselemente i

Zwischen z_0 und der geometrischen Rauigkeit h besteht nach KONDO u. YAMAZAWA (1986) dann folgender Zusammenhang:

(Gl.6)

$$z_0 = 0,25 * h$$

2.3.3 Anwendung der Rastermethode

Um die mittlere Oberflächenrauigkeit anhand der Rastermethode ermitteln zu können, wurden folgende Arbeitsschritte vollzogen:

-
- 1 Digitalisierung der Gebäudegrundrisse des Stadtgebietes aus 34 Kartenblättern für das Stadtgebiet Ludwigshafen am Rhein im Maßstab 1 : 5.000 (DGK 5).
 2. Digitalisierung der Baukörperstrukturen anhand der Karte der Siedlungstypen *im Maßstab 1 : 10.000* (IFP (Hrsg.) 1985).
 3. Digitalisierung der Biotoptypen anhand der Karte der Biotoptypenkartierung Ludwigshafen am Rhein 1 : 5.000 (L.A.U.B. (Hrsg.) 1992).
 4. Überlagerung der Ebene 1 (Gebäudegrundrisse) mit der Ebene 2 (Siedlungstypen) und *Zuweisung der Gebäudehöhen für jedes digitalisierte Gebäude.*
 5. *Berücksichtigung der Höhe von Biotoptypen mit potenziell durchlüftungshemmender Wirkung durch Abfragen und Zuweisung der Biotophöhen.*
 6. Anlage eines Bewertungsrasters für das Stadtgebiet mit Rasterflächen von 100 * 100 m *und Verschneidung mit Gebäudegrundrissen und Biotopen.*
 7. *Berechnung der effektiven Höhe h_{eff} in [m] in Anlehnung an MAYER u. MATZARAKIS (1992) nach:*

(Gl.7)

$$h_{\text{eff}} = G_F / G_R * G_h + V_F / G_R * V_h$$

- G_R Rasterfläche in [m²]
 G_F Flächenausdehnung der Gebäude innerhalb der Rasterfläche [m²]
 G_h mittlere Gebäudehöhe innerhalb der Rasterfläche [m]
 V_F Flächenausdehnung der Vegetation innerhalb der Rasterfläche [m²]
 V_h mittlere Vegetationshöhe je Rasterfläche in [m]

2.3.3.1 Ermittlung der Gebäudehöhen

Mit dem Wärmeatlas der Stadt Ludwigshafen liegen differenzierte Angaben zur Art und zum Umfang der baulichen Nutzung vor. Die Angaben hierzu stammen aus einer Untersuchung vom Institut für Planungsdaten (IFP (Hrsg.) 1985), die im Rahmen der Feststellung des

Wärmebedarfs für Ludwigshafen ermittelt wurden. Hierbei kam die vom IFP entwickelte Luftbild- und EDV-gestützte Siedlungstypenmethode (LESTYP) zum Einsatz, die auf der Abhängigkeit der Wärmebedarfsdichte von der Struktur der Besiedlung, Bebauungsart und Nutzung beruht (IFP (Hrsg.) 1985, S. 8). Unter Verwendung energierelevanter Typisierungsmerkmale wurden 22 verschiedene Siedlungstypen ausgewiesen und in der Karte der Siedlungstypen im Maßstab 1 : 10.000 dargestellt. Diese Karte der Siedlungstypen wurde am Tablett digitalisiert und den Geometrien die entsprechenden Typisierungsmerkmale, die für eine spätere Berechnung der Gebäudehöhe herangezogen werden müssen, zugewiesen.

Fig. 5: Charakterisierung der Siedlungstypen in Ludwigshafen am Rhein

Code	Siedlungstyp	Art der baulichen Nutzung	Zahl der Vollgeschosse	Bauperiode
W 1	Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser niedriger Dichte	Wohngebiet	1 – 2	seit 1850
W 2	Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser mittlerer Dichte	Wohngebiet	1 – 2	seit 1850
W 3	Freistehende Zwei- und Dreifamilienhäuser bzw. Doppelhäuser hoher Dichte	Wohngebiet	1 – 3	seit 1900
W 4	Neuere Reihenhäuser und Wohnzeilenbebauung niedriger Dichte	Wohngebiet	1,5 - 3,0	seit 1960
W 5	Aneinandergebaute Einzelhäuser, ältere Doppel- und Reihenhäuser hoher Dichte	Wohngebiet	1,5 - 3,5	1915 – 1960
W 6	Wohnzeilenbebauung niedriger Dichte	Wohngebiet	3 - 5, überwiegend 4 und 5 Geschosse	nach 1949
W 7	Wohnzeilenbebauung hoher Dichte	Wohngebiet	3 - 5, überwiegend 4 und 5 Geschosse	1949 - 1960
W 8	Hochhäuser niedriger Dichte	Wohngebiet	4 - 15	nach 1965
W 9	Hochhäuser hoher Dichte	Wohngebiet	4 - 25	nach 1965
W 10	Ältere, geschlossene (Wohn-) Blockrandbebauung niedriger Dichte	Wohngebiet	2 - 8, überwiegend 4 und 5 Geschosse	1900 - 1960
W 11	Ältere, geschlossene (Wohn-) Blockrandbebauung hoher Dichte	Wohngebiet	2 - 8, überwiegend 4 und 5 Geschosse	1900 - 1960
M 1	Mischgebiet	Mischgebiet	1 - 5	nach 1850
M 2	Innenstadtrand und Ortskerne	Misch- / Kerngebiet	1 - 7	nach 1850
M 3	Innenstadt	Misch- / Kerngebiet	1 - 9 / 18 - 25	nach 1850
G 1	Gewerbe- und Industriegebiet niedriger Dichte	Gewerbe- und Industriegebiet	1 - 3	nach 1850
G 2	Gewerbe- und Industriegebiet mittlerer Dichte	Gewerbe- und Industriegebiet	1 - 3	nach 1850
G 3	Gewerbe- und Industriegebiet hoher Dichte	Gewerbe- und Industriegebiet	1 - 5	nach 1850

wird fortgesetzt ...

(Fortsetzung von Figur 5)

SO 1	Sonderbau- und Gemeinbedarfsfläche: Schulen, Kindergärten, Kirchen	Sondergebiet: Schule	1 - 5	nach 1880
SO 2	Sonderbau- und Gemeinbedarfsfläche: Öffentliche Verwaltung	Sondergebiet: Büro, Verwaltung	1 - 5	nach 1880
SO 3	Sonderbau- und Gemeinbedarfsfläche: Gemeinschaftswohngebäude	Sondergebiet: Wohnen	1 - 10	nach 1945
SO 4	Sonderbau- und Gemeinbedarfsfläche: Krankenhäuser, Hallenbäder	Sondergebiet: Krankenhaus	1 - 10	nach 1890
L 1	Landwirtschaftliche Hoffläche, Gärtnereien im Außenbereich	Wohngebiet	1 - 2	nach 1850

(Quelle: nach IFP (Hrsg.) 1985, verändert)

Die Berechnung der Gebäudehöhe erfolgt unter Berücksichtigung der Anzahl der Vollgeschosse und der bauperiodenabhängigen Geschosshöhe, die im Wärmetlas für jeden einzelnen Siedlungstyp ausgewiesen werden.

Fig. 6: Mittlere Geschosshöhen nach Bauperioden

Bauperiode	Geschosshöhe
vor 1860	2,50 m
1860 – 1919	3,30 m
1920 – 1948	3,00 m
1949 – 1960	2,80 m
1961 – 1977	2,70 m
1978 – 1983	2,70 m
nach 1983	2,70 m

(Quelle: nach IFP (Hrsg.) 1985)

Neben der relativen Gebäudehöhe, die sich aus dem dem Produkt der mittleren Anzahl der Vollgeschosse und der mittleren Geschosshöhe ableitet, wurden für die Siedlungstypen W 1 – W 11 (ausgenommen W 8 und 9), M 1 – M 3 und L 1 die Dachhöhe berechnet und zur relativen Gebäudehöhe addiert. Unter Annahme eines Höhen-/Breitenverhältnisses von 1 berechnet sich die Dachhöhe für ein Satteldach mit einem Neigungswinkel von 30° nach

(Gl.8)

$$h = \left(\frac{L}{2} \right) * \tan 30^\circ$$

Fig. 7: Gebäudehöhen mit Dachniveau

Siedlungstyp	Vollgeschosse	Geschosshöhe	Vollgeschosse X Geschosshöhe	Satteldach (30 °)	Mittlere Gebäudehöhe
Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser niedriger Dichte	1,5	2,82 m	4,23 m	1,22 m	5,45 m
Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser mittlerer Dichte	1,5	2,82 m	4,23 m	1,22 m	5,45 m
Freistehende Zwei- und Dreifamilienhäuser bzw. Doppelhäuser hoher Dichte	2,0	2,87 m	5,74 m	1,66 m	7,40 m
Neuere Reihenhäuser und Wohnzeilenbebauung niedriger Dichte	2,25	2,70 m	6,08 m	1,76 m	7,84 m
Aneinandergebaute Einzelhäuser, ältere Doppel- und Reihenhäuser hoher Dichte	2,5	2,90 m	7,25 m	2,10 m	9,35 m
Wohnzeilenbebauung niedriger Dichte	4,5	2,73 m	12,30 m	3,55 m	15,86 m
Wohnzeilenbebauung hoher Dichte	4,5	2,80 m	12,60 m	3,64 m	16,24 m
Hochhäuser niedriger Dichte	9,0	2,70 m	24,30 m	-	24,30 m
Hochhäuser hoher Dichte	15,0	2,70 m	40,50 m	-	40,50 m
Ältere, geschlossene (Wohn-Blockrandbebauung niedriger Dichte)	4,5	3,04 m	13,68 m	3,95 m	17,63 m
Ältere, geschlossene (Wohn-)Blockrandbebauung hoher Dichte	4,5	3,04 m	13,68 m	3,95 m	17,63 m
Mischgebiet	3,0	2,80 m	8,40 m	2,43 m	10,83 m
Innenstadtrand und Ortskerne	4,0	2,80 m	11,20 m	3,24 m	14,44 m
Innenstadt	9,0	2,80 m	25,20 m	7,27 m	32,47 m
Gewerbe- und Industriegebiet	5,0	3,00 m	15,00 m	-	15,00 m
Sonderbau- und Gemeinbedarfsfläche	4,0	2,83 m	11,32 m	-	11,32 m
Landwirtschaftliche Hofffläche, Gärtnereien im Außenbereich	1,5	2,80 m	4,20 m	1,22 m	5,44 m

(Quelle: nach IFP (Hrsg.) 1985, eigene Berechnung)

Für Objekte des Siedlungstyps „Sonderbau, Gemeinbedarf“, die anhand der DGK 5 eindeutig identifiziert werden können, werden die Geschosshöhen nach Fig. 8 herangezogen [...]:

Fig. 8: Nutzungsspezifische Geschosshöhen für Sonderbau/Gemeinbedarf

Nutzungsart	Geschosshöhe
Büro / Verwaltung	3,00 m
Kleingewerbe in Mischgebieten	3,00 m
Gewerbe incl. Gaststätten	3,00 m
Mischnutzung, Büro / Verwaltung, Kleingewerbe	3,00 m
Schule, Kindergarten	3,20 m
Pflege-, Wohnheim	3,20 m
Kirche	3,00 m
Theater, Kino, Konzertsaal	6,00 m
öffentl. Verwaltung	3,00 m
Turn-, Sporthalle	7,00 m
Museum, Clubhaus	3,00 m
Krankenhaus	3,00 m
Kaufhaus	3,00 m
Hallenbad	9,00 m

(Quelle: nach IFP (Hrsg.) 1985, verändert)

Ergänzend wurden Stichprobenmessungen im Gelände vorgenommen, um die vorgegebene Geschossanzahl für die Siedlungstypen „Hochhäuser *geringer* Dichte“ und „Hochhäuser hoher Dichte“ zu überprüfen. In Ortsbegehungen in den Stadtteilen Oggersheim, Ludwigshafen Mitte, Ludwigshafen West und Friesenheim wurde von ausgewählten Hochhäusern die Gebäudehöhe h über einen Neigungsmesser und ein Entfernungsmessgerät nach folgendem Ansatz berechnet:

(Gl.9)

$$h = b \cdot \tan \alpha + h_A$$

b horizontaler Abstand zwischen Hauswand und Beobachter in [m]

α Neigungswinkel in Grad [°]

h_A Augenhöhe des Beobachters in [m]

Desweiteren wurde durch Abzählen der Geschosse die genauere Anzahl der Vollgeschosse für die Siedlungstypen „Hochhäuser niedriger Dichte“ und „Hochhäuser hoher Dichte“ ermittelt, da die Angaben für diese Fragestellung zu ungenau waren (4 - 15 bzw. 4 - 24 Geschosse). Durch das Nachmessen der Gebäudehöhen und gleichzeitiges Abzählen der Geschossanzahl wurde ein genauerer Wert ermittelt und die errechneten Werte in der Spalte „Geschosshöhe“ um diesen Betrag korrigiert.

2.3.3.2 Berücksichtigung der Vegetationshöhe

Im Rahmen der „Biotopkartierung und Verbundplanung Stadt Ludwigshafen“ wurden von der Gesellschaft für Landschaftsanalyse und Umweltbewertung mbH, Kaiserslautern, die Biotoptypen im Stadtgebiet von Ludwigshafen aufgenommen und auf der Grundlage der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1 : 5.000 in 34 Einzelkarten abgebildet (L.A.U.B. (Hrsg.) 1992). Die analogen Vorlagen wurden digitalisiert und die aufgenommen Geometrien nach dem Biotoptypenschlüssel Stadtbiotopkartierung Ludwigshafen am Rhein attribuiert.

In Anlehnung an HUPFER (1994, S. 100) wurden bei der Berechnung der effektiven Höhe ausschließlich Biotoptypen mit einer Höhe über 5 m berücksichtigt. Die entsprechend dem Biotoptypenschlüssel Stadtbiotopkartierung Ludwigshafen am Rhein attribuierten Biotoptypen wurden dabei über ihren Biotopschlüssel abgefragt und diesen dann als Rechenwert die mittlere Höhe zugewiesen; dabei fanden folgende Biotoptypen Berücksichtigung:

Fig. 9: Biotoptypen mit potenziell durchlüftungshemmender Wirkung

Biotoptyp	Bezeichnung	Höhe [m]
W 4000	Wälder mittlerer Standorte	20 – 25
W 7110	Pappelforste	25
W 1100	Erlenbruchwälder	15 – 20
W 3300	Weichholz-Flussauenwälder	15 – 20
W 3400	Hartholz-Flussauenwälder	15 – 20
W 8100	Vorwald	20
S 5210	Kleingartenanlagen	5 – 7
S 5120	Friedhof	15 (aber lockere Struktur)
L 3100	Streuobstbestände	7 – 8
L 3200	Obstanlagen	7 – 8
L 3300	Obstgarten	7 – 8

(Quelle: nach L.A.U.B. (Hrsg.) 1992; Höhenangaben nach RITTHALER 1997)

2.3.4 Mittlere Hindernishöhe auf Rasterebene

Für das Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein wird ein Polygon-Thema mit Rasterflächen der Kantenlänge von 100 * 100 m angelegt. Für jede Rasterfläche wird der prozentuale Anteil der Gebäudegrundrisse (mit ihren Gebäudehöhen) sowie der Flächenanteil der Biotoptypen mit potenziell durchlüftungshemmender Wirkung ermittelt.

Fig. 10.1: Rechenbeispiele zur Ermittlung der mittleren Hindernishöhe für ausgewählte Siedlungstypen

Siedlungstyp	Grundriss [m ²]	Flächenanteil je Raster	Gebäudehöhe [m]	mittlere Hindernishöhe [m]
Freistehende 2- u. 3-Familienhäuser bzw. Doppelhäuser hoher Dichte	208,29	0,0208	7,40	0,1541
Wohnzeilenbebauung hoher Dichte	194,14	0,0194	16,24	0,3153
Wohnzeilenbebauung hoher Dichte	2,41	0,0002	16,24	0,0039
Sonderbau, Gemeinbedarf	1256,21	0,1256	11,32	1,4220
Freistehende 2- u. 3-Familienhäuser bzw. Doppelhäuser hoher Dichte	251,48	0,0251	7,40	0,1861
Freistehende 2- u. 3-Familienhäuser bzw. Doppelhäuser hoher Dichte	195,47	0,0195	7,40	0,1446
Sonderbau, Gemeinbedarf	299,80	0,0300	11,32	0,3394
Freistehende 2- u. 3-Familienhäuser bzw. Doppelhäuser hoher Dichte	30,67	0,0031	7,40	0,0227

Fig. 10.2: Rechenbeispiele zur Ermittlung der mittleren Hindernishöhe für ausgewählte *Biotoptypen*

Biotop- typ	Bezeichnung	Grundriss [m ²]	Flächenanteil je Raster	Vegetationshöhe [m]	mittlere Hindernishöhe [m]
L 3300	Obstgarten	2698,38	0,2698	7,5	2,0238
S 5210	Kleingartenanlagen	768,42	0,0768	6,0	0,4611
W 4000	Wälder mittlerer Standorte	32,85	0,0033	22,5	0,0739
S 5210	Kleingartenanlagen	2880,56	0,2881	6,0	1,7283
W 4000	Wälder mittlerer Standorte	370,93	0,0371	22,5	0,8346
W 4000	Wälder mittlerer Standorte	1,58	0,0002	22,5	0,0035
S 5120	Friedhof	2609,65	0,2610	15,0	3,9145
W 1100	Erlenbruchwälder	573,08	0,0573	17,5	1,0029
W 7110	Pappelforste	804,91	0,0805	25,0	2,0123
W 1100	Erlenbruchwälder	697,84	0,0698	17,5	1,2212
W 7110	Pappelforste	9324,99	0,9325	25,0	23,3125

In einem letzten Schritt werden die mittleren Hindernishöhen der Gebäude sowie der Biotoptypen innerhalb eines jeden Rasterelementes zur effektiven Höhe addiert [...].

Fig. 11: Rechenbeispiele zur Ermittlung der "effektiven Höhe" ausgewählter Rasterflächen

Kennung der Rasterfläche	Rasterfläche [m ²]	Mittlere Hindernishöhe [m] Gebäude	mittlere Hindernishöhe [m] Biotoptyp	Effektive Höhe [m]
R101	10000	0,00	7,81	7,81
S86	10000	0,31	0,00	0,31
S87	10000	0,09	0,00	0,09
S88	10000	0,61	0,00	0,61
X85	10000	1,29	1,01	2,30
X86	10000	2,32	0,00	2,32
BL97	10000	0,23	4,42	4,65
BL98	10000	0,33	5,63	5,97
BL99	10000	0,31	5,66	5,97
BL100	10000	0,09	9,56	9,65
BL101	10000	0,00	19,96	19,96
BL102	10000	0,12	7,65	7,77
BL103	10000	1,12	0,00	1,12
BL104	10000	3,57	0,00	3,57
BL105	10000	2,28	0,00	2,28
BL106	10000	1,97	0,00	1,97

Rasterflächen, die weder Siedlungstypen nach Fig. 5 (vgl. S. 17) noch Biotoptypen mit potenziell durchlüftungshemmender Wirkung nach Fig. 9 (vgl. S. 21) beinhalten, wurde der Wert 0 zugeordnet.

Anhand der 8049 Rasterelemente wird eine thematische Karte erstellt, die die mittlere Oberflächenrauigkeit in fünf Klassen zusammenfasst und über eine logische Farbskala darstellt. Da für eine spätere Ausweisung von potenziellen Luftleitbahnen die Rauigkeitslänge bis 2,0 m besonders beachtet werden muss, werden die Klassen bis 2,0 m in hellen Farbtönen dargestellt. Die nachfolgenden Klassen, welche eine Zunahme der mittleren Oberflächenrauigkeit bedeuten, werden in dunkleren Farbtönen ausgewiesen.

Die Klassengrenzen orientieren sich dabei an der übergeordneten Fragestellung nach der Kartierung stadtklimarelevanter Luftleitbahnen, weshalb die Klassenbreiten mit zunehmenden Werten der effektiven Höhe weiter gefasst werden. Aus Gründen der Lesbarkeit ist die Anzahl der Klassen in der Karte der "Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit" auf fünf begrenzt. Um die Transparenz des angewendeten Verfahrens zu erhöhen, werden als Zusatzinformationen die Biotoptypen mit durchschnittlichen Höhen über 5 m (vgl. Fig. 9, S. 21) dargestellt.

Bei der Betrachtung der Karte der "Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit", die die effektiven Höhen eingeteilt in fünf Klassen darstellt, lässt sich generell feststellen:

-
- a) Hohe Werte der effektiven Höhe und damit der Oberflächenrauigkeit treten v.a. im dicht bebauten Stadtzentrum sowie in Gewerbe- und Industriebereichen mit hohen Gebäuden auf. Verhältnismäßig hohe Werte weisen auch Waldstandorte mit ihrer dichten und flächenhaften Bepflanzung auf; in diesem Zusammenhang ist die ambivalente Wirkung der Waldstandorte zu sehen, die einerseits aufgrund der erhöhten Rauigkeit als Barrieren für bodennahe Luftströmungen wirken können, andererseits eine spezifische klimaökologische Wirkung durch ihre Filterfunktion insbesondere für Stäube besitzen können (z.B. Waldbestände am Südrand des Maudacher Bruch).
 - b) Mittlere effektive Höhen weisen Kleingartenanlagen auf und können somit ebenfalls eine hemmende Wirkung auf potenzielle Ausgleichsströmungen ausüben (z.B. Kleingartenanlagen bei Friesenheim).
 - c) Die geringsten Werte der effektiven Höhe weisen landwirtschaftlich genutzte Flächen (z.B. Roßlache, Maudacher Bruch) sowie sonstige Freiflächen auf.

2.4 Stadtklimarelevante Luftleitbahnen

2.4.1 Definition Luftleitbahn

Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (KRdL (Hrsg.) 1997, S. 54), definiert eine Luftleitbahn als eine "Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite bevorzugte Fläche für den bodennahen Luftmassentransport. Luftleitbahnen [...] sollten durch geringe Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzelstehende Bäume), möglichst geradlinige oder nur leicht gekrümmte Ausrichtung und größere Breite (möglichst mehr als 50 m) horizontale Luftaustauschvorgänge erleichtern". Stadtklimarelevante Luftleitbahnen können aufgrund ihres unterschiedlichen thermischen und lufthygienischen Niveaus sowie nach dem Ursprung der herantransportierten Luftmassen charakterisiert werden (vgl. BECKRÖGE 1999, MAYER et al. 1994, VDI (Hrsg.) 1988):

Fig. 12: Charakterisierung stadtklimarelevanter Luftleitbahnen

Luftleitbahnen		
Ventilationsbahn	Frischluftbahn	Kaltluftbahn
Luftleitbahn mit unterschiedlichem thermischen und lufthygienischen Niveau, auf der bei Schwachwindlagen lufthygienisch belastete oder unbelastete Luftmassen mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften transportiert werden. Die Belastung der Luft durch erhöhte Temperatur oder durch Schadstoffe spielt hier keine Rolle. Die Funktion wird ausschließlich durch den geringen Strömungswiderstand erfüllt.	Luftleitbahn mit unterschiedlichem thermischen Niveau, aber ohne Schadstoffemissionen, auf der bei Schwachwindlagen lufthygienisch unbelastete Luft mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften in die Stadt transportiert wird.	Luftleitbahn mit unterschiedlichem lufthygienischen Niveau, aber in Bezug auf den thermischen Zustand der versiegelten Stadtgebiete mit geringerer oder ohne Wärmebelastung, auf der bei Schwachwindlagen Luftmassen, die kühler als die Stadtatmosphäre in der Stadthindernisschicht sind, in die Stadt transportiert.

(Quelle: nach BECKRÖGE 1999; MAYER et al. 1994)

In Bezug auf Vorgaben zur Erfassung und Bewertung von Luftleitbahnen verweist die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1, auf MAYER et al. (1994); demnach sollten Luftleitbahnen folgende Eigenschaften aufweisen:

- niedrige Rauigkeitslängen ($z_0 \leq 0,5 \text{ m}$)
- hinsichtlich des vertikalen Windprofils über der zu untersuchenden Fläche sollte die Nullpunktverschiebung vernachlässigbar sein
- die Ausrichtung der Bahn muss der Hauptwindrichtung während austauscharmer Wetterlagen (Schwachwindlagen) entsprechen
- sie sollte geradlinig und ausreichend lang in einer Richtung ($> 1000 \text{ m}$, mindestens aber 500 m) sein
- eine Mindestbreite von zwei- bis vierfacher Höhe der seitlichen Randbegrenzung (Gebäude, Wald), mindestens aber immer 30 m , sollte vorhanden sein, wobei jedoch mindestens 50 m anzustreben sind,
- die Berandung sollte möglichst glatt sein, es dürfen keine größeren Versprünge von der Fluchtlinie vorhanden sein und zur Vermeidung von stärkeren Ablöseerscheinungen auch keine schärferen Kanten oder Ecken hervortreten

- auftretende Hindernisse (Gebäude, Bäume u.a.m.) innerhalb der Ventilationsbahn sollten in der Breite nicht größer als 10 % dieser Luftleitbahn sein
- die Höhe von auftretenden Hindernissen innerhalb der Ventilationsbahn sollte nicht größer als 10 m sein, damit im Lee der Hindernisse ein rasches Abklingen des Störungseinflusses stattfinden kann
- die Ausrichtung etwaiger Hindernisse innerhalb der Ventilationsbahn sollte derart sein, dass die effektive Hindernisbreite, d.h. die quer zur Ventilationsbahn verlaufende Achse des Hindernisses, minimal ausfällt
- treten mehrere einzelne Hindernisse innerhalb einer Ventilationsbahn auf, sollte das Verhältnis von Hindernishöhe zu horizontalem Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Hindernissen für Gebäude 0,1 und für Bäume 0,2 betragen.

Grundsätzlich kommen damit folgende urbane Flächen als Luftleitbahnen in Betracht:

Fig. 13: Luftleitbahnen und ihre Eignung für den Kalt- und Frischlufttransport

Luftleitbahn	Eigenschaften	Bewertung
Grünflächen	<ul style="list-style-type: none"> • überwiegend geringe, jedoch vegetationsabhängige Rauigkeitswerte • nächtliche Stabilisierung der bodennahen Luftschicht → Senkung des Reibungswiderstandes • keine Freisetzung von Emissionen • Aerosol- und Schadstofffilterung 	<ul style="list-style-type: none"> • sowohl als Frischluft- als auch Kaltluftbahn geeignet <p><i>Anmerkung: Verbesserung der Luftqualität zu erwarten</i></p>
Wasserflächen	<ul style="list-style-type: none"> • sehr geringe Rauigkeitswerte • Möglichkeit der Entwicklung von Eigenzirkulationen (See-/Stadtwindssystem bzw. Fluss-/Stadtwindssystem) • Freisetzung von Emissionen möglich (z.B. Schifffahrtsstrassen) • Senke für Gase und Aerosole 	<ul style="list-style-type: none"> • in erster Linie als Frischluftbahn geeignet <p><i>Anmerkung: Minderung des thermischen Effekts durch warmen nächtlichen Wasserkörper</i></p>

wird fortgesetzt ...

(Fortsetzung von Figur 13)

Bahntrassen	<ul style="list-style-type: none"> • tagsüber starke Labilisierung der bodennahen Luftschicht → Erhöhung der Reibungswiderstände • deutliche nächtliche Abkühlung der Schotterflächen mit stabilen Schichtungs-verhältnissen in Bodennähe → geringe Reibungswiderstände • Freisetzung von Emissionen möglich (Diesellokbetrieb) 	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. als Kaltluftbahn geeignet <p><i>Anmerkung: Verbesserung der Luftqualität kaum zu erwarten</i></p>
Ausfallstraßen	<ul style="list-style-type: none"> • tagsüber starke Labilisierung der bodennahen Luftschicht → Erhöhung der Reibungswiderstände • nächtliche Abkühlung mit neutralen bis stabilen Schichtungsverhältnissen in Bodennähe → niedrigere Reibungswiderstände als tagsüber • Freisetzung von Kfz-Emissionen • Vorbelastung durch Hausbrandemissionen straßenbegleitender Bebauung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. als Kaltluftbahn geeignet <p><i>Anmerkung: Verbesserung der Luftqualität nicht zu erwarten.</i></p>

(Quelle: nach BECKRÖGE 1999, S. 87 und nach KUTTLER 1993, S. 100, verändert)

2.4.2 Potenzielle Luftleitbahnen in Ludwigshafen am Rhein

Grundlage für die Ausweisung von "potenziellen Luftleitbahnen" sind die flächendeckend für das Stadtgebiet berechneten effektiven Höhen unter Einbeziehung der Windverhältnisse, die in Form von Tag-/Nacht-Windrosen für sommerliche Hochdruckwetterlagen dargestellt werden. Als "potenzielle Luftleitbahnen" werden in der Karte der "Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit" dementsprechend solche Bereiche ausgewiesen, die aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit, Länge und Ausrichtung geeignet erscheinen, um als Leitbahnen für lokale Ausgleichsströmungen fungieren zu können. Das Kriterium der "geringen Rauigkeit" wird dabei erfüllt, wenn die effektive Höhe h_{eff} den Schwellenwert $\leq 2,0$ m nicht überschreitet. Dabei müssen aufgrund der gewählten Rasterweite wenigstens fünf nebeneinander liegende Rasterflächen das Rauigkeitskriterium erfüllen, damit die Bahn eine Mindestlänge von 500 m aufweist. Mit den Untersuchungen zur "Feststellung und Bewertung

der Lokalklimatischen Auswirkungen von Neubauf lächen im südlichen Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein" (ALEXANDER 1999) liegen aktuelle Messdaten vor, die für einige der ausgewiesenen potenziellen Luftleitbahnen eine Bewertung hinsichtlich ihrer Eignung für den Kalt- und/oder Frischlufttransport erlauben.

1) Potenzielle Luftleitbahn im Norden des Stadtgebietes zwischen Edigheim/Oppau und dem Werksgelände der BASF AG

Dieser Bereich wurde aufgrund folgender Kriterien als "potenzielle Luftleitbahn" ausgewiesen:

- Die effektiven Höhen sind mit Werten $\leq 0,5$ m insgesamt äußerst gering.
- Die Bahn weist eine Länge von ca. 2000 m und eine Breite von > 200 m auf.
- Strömungshindernisse (Gebäude und Bäume) sind nur am Rand der Bahn vorhanden.
- Es sind ausreichend große Gewässerflächen (Sticklerweiher mit ca. 5,5 ha und Gehlenweiher mit ca. 2,4 ha) mit sehr niedrigen Rauigkeitswerten vorhanden.
- Die Windrose der LfUG-Station Edigheim zeigt, dass während sommerlicher Hochdruckwetterlagen nördliche Windrichtungen dominieren; insbesondere nächtliche Strömungen folgen der Längsachsenausrichtung der Bahn (Relevanz für Kaltlufttransport).

Hinweis: Für die L 523 wird für das Jahr 2000 ein durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen (DTV) von 30.000 - 50.000 Kfz (SCHÄCHTERLE u. SIEBRAND 1993) prognostiziert. Eine Beeinträchtigung durch verkehrsbedingte Luftschadstoffemissionen kann demnach nicht ausgeschlossen werden. Belastete Luftleitbahnen sollten durch Emissionsminderung, Randbegrünung und offene Randbebauung entlastet werden (KRdL (Hrsg.) 1997).

2) Potenzielle Luftleitbahn Bahntrasse von Mundenheim nach Nord/Hemshof / Ludwigshafen-Mitte

Ausweisungskriterien der Bahntrasse als "potenzielle Luftleitbahn":

- Es treten überwiegend Werte der effektiven Höhe $\leq 0,5$ m auf, wobei die Luftleitbahn durch einige Rasterelemente der Klassen $> 0,5 - 2$ m durchsetzt wird. Das Kriterium der geringen Rauigkeit wird demnach erfüllt.
- Die Bahn weist eine Länge von ca. 2000 m und eine Breite von ca. 100 - 300 m auf und erfüllt damit deutlich das Kriterium einer Mindestlänge von 500 m.
- Bahntrassen zeichnen sich durch eine starke Aufheizung der Gleise und Schotterflächen während des Tages und eine rasche und intensive nächtliche Abkühlung aus (vgl. Kapitel 4.2, S. 45). Mit der nächtlichen Stabilisierung der bodennahen Luftschicht erfolgt die Bildung von Kaltluft, die ggf. als Ausgleichsströmung wirksam werden kann.
- *Nach dem Klimagutachten von FEZER u. SEITZ (1977, S. 38) wurden in der Strahlungsnacht vom 15.08.1974 (23-24 Uhr) auf dem Bahngelände bodennahe Luftströmungen aus südsüdwestlichen Richtungen registriert, die in Höhen > 60 m von südöstlichen Strömungen überlagert wurden.*

Hinweis: Inwieweit bodennahe südsüdwestliche Strömungen als klima- und/oder lufthygienische Ausgleichsströmungen für die Stadtteile Nord/Hemshof bzw. Mitte wirksam werden können, kann auf der vorliegenden Datengrundlage nicht erschlossen werden. Als Luftleitbahnen wirkende Bahnanlagen sollten erhalten und an den Rändern begrünt werden (KRdL (Hrsg.) 1997). Eine Verbesserung der Luftqualität für das Stadtgebiet ist jedoch nur dann zu erwarten, wenn kein Diesellokbetrieb als Schadstoffemittent die Bahn lufthygienisch belastet.

3) **Potenzielle Luftleitbahn über die Große Blies bis nach Mundenheim**

Die Ausweisung als "potenzielle Luftleitbahn" erfolgte aufgrund folgender Kriterien:

- Die Oberflächenrauigkeit ist aufgrund des Wasserkörpers der "Großen Blies" sehr gering.
- Die Bahn hat eine ausreichende Länge (ca. 900 m) und Breite (150 - 200 m).
- Die Wasserfläche dient als Senke für Gase und Aerosole und setzt keine Emissionen frei, so dass über die Große Blies aufgrund ihrer großen Fläche frische, unbelastete Luft in südöstliche Richtungen strömen kann.

Bewertung: Die Temperaturmessfahrten, die im Sommer 1999 während windschwacher Strahlungswetterlagen durchgeführt wurden, belegen die klimahygienische Wirksamkeit nordwestlicher Strömungsrichtungen für Gartenstadt und den Nordrand von Mundenheim ("Kaltluftbahn") (vgl. ALEXANDER 1999).

4) **Potenzielle Luftleitbahn nordwestlich von Maudach (Freifläche „Über der Brücke am Ruchheimer Weg“)**

Für dieses Gebiet sprechen folgende Kriterien:

- Die Oberflächenrauigkeit ist insgesamt sehr gering (Effektive Höhen $\leq 0,25$ m) und wirkt sich entsprechend durchlüftungsfördernd aus.
- Die Bahn hat eine ausreichende Länge (ca. 800 m) und Breite (300 - 500 m).
- Die Tag-/Nacht-Windrose der LfUG-Station Maudach weist als dominierende nächtliche Windrichtungen Nordwest bis Nordnordwest aus; diese Richtungen entsprechen der Längsausrichtung der potenziellen Luftleitbahn.

5) **Potenzielle Luftleitbahn von Rheingönheim-West - Ernst-Reuter-Siedlung - Hochfeld nach Mundenheim**

Die Ausweisung als "potenzielle Luftleitbahn" erfolgt aufgrund folgender Kriterien:

- Die Fläche weist äußerst geringe Werte der effektiven Höhe in der Klasse $\leq 0,5$ m auf.
- Die Bahn hat eine ausreichende Länge (ca. 1500 m) und Breite (100 - 300 m).

[...]

Bewertung: Im Zeitraum von Mai bis einschließlich September 1999 wurden an der Station Rheingönheim-West in 27,3 % aller Fälle Windrichtungen aus den Sektoren SSW und WSW registriert (diese Richtung entspricht der Ausrichtung der Bahn). Bevorzugt traten dabei Windgeschwindigkeiten $> 1,5$ m/s (22,8 % aller Fälle) auf, davon insgesamt 14,9 % aller Fälle mit Windgeschwindigkeiten $> 3,3$ m/s. Die dominierende Funktion der Freifläche zwischen Gartenstadt und Rheingönheim beruht auf ihrer Eigenschaft, bei mittleren und höheren Windgeschwindigkeiten ein Eindringen von Luftmassen aus dem Umland in das Stadtgebiet zu begünstigen und zu einer verbesserten Durchlüftung beizutragen ("Durchlüftungsbahn").

6) **Potenzielle Luftleitbahn von Rheingönheim-Ost „Im Neubruch“ Richtung - Giulini-Werke nach Mundenheim**

Die Ausweisung als "potenzielle Luftleitbahn" beruht auf folgenden Kriterien:

- Die Werte der effektiven Höhe liegen überwiegend in der Klasse $\leq 0,5$ m, einige Rasterelemente in der Klasse $> 0,5 - 2,0$ m (bei den Giulini-Werken).
- Die Bahn hat eine ausreichende Länge (ca. 1300 m) und Mindestbreite (100 - 250 m).
- Die Tag-/Nacht-Windrose der ZIMEN-Station Mundenheim und die LfUG-Station Altrip weisen als nächtliche Hauptwindrichtungen während sommerlicher Hochdruckwetterlagen (Sommer 1985) die Sektoren Südsüdost und Nordnordwest aus [...].

*Bewertung: Im Sommer 1999 wurden in Rheingönheim-Ost – wenngleich auch nur in geringem Umfang – häufiger nächtliche Windrichtungen aus SSE und S registriert als an der Station Rheingönheim-West. In Strahlungs Nächten traten an der Station Rheingönheim-Ost südsüdöstliche Windrichtungen am häufigsten auf. Die Temperaturmessfahrten, die im Sommer 1999 während windschwacher Strahlungswetterlagen in Rheingönheim-Ost durchgeführt wurden, belegen, dass das Eindringvermögen der Kaltluft in die Bebauung begrenzt und am Südrand von Mundenheim nicht mehr nachzuweisen ist. Eine Eignung für den Kaltlufttransport ist demnach nicht gegeben. Da unter südsüdöstlichen Windrichtungen unbelastete Frischluft bis nach Mundenheim transportiert wird, liegt die Bedeutung der Luftleitbahn in ihrer Funktion als **“Frischluftbahn”**. (vgl. ALEXANDER 1999)*

2.5 Zusammenfassung

In der Klimathemenkarte “Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit” werden die Durchlüftungsverhältnisse während sommerlicher Hochdruckwetterlagen in Form von Tag- / Nacht-Windrosen dargestellt. Auf Grundlage der berechneten effektiven Höhen werden insgesamt sechs potenzielle Luftleitbahnen ausgewiesen, die aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit, Länge und Ausrichtung geeignet erscheinen, um als Leitbahnen für lokale Ausgleichsströmungen fungieren zu können. Die bewertende Darstellung (Charakterisierung der Luftleitbahnen) erfolgt in der “Synthetischen Klimafunktionskarte”.

3. Lufttemperatur

3.1 Grundlegendaten

Die Klimathemenkarte "Lufttemperatur" basiert auf Temperaturmessfahrten, die im Zeitraum von 1981 bis 1991 in Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein während sommerlicher Hochdruckwetterlagen durchgeführt wurden. *Zur Fortschreibung der Klimathemenkarte werden zusätzlich 15 Temperaturmessfahrten aus dem Sommer 1998 herangezogen, die unter vergleichbaren meteorologischen Bedingungen im südlichen Stadtgebiet von Ludwigshafen durchgeführt wurden (vgl. ALEXANDER 1999).*

Fig. 14: Temperaturmessfahrten in Ludwigshafen am Rhein von 1981 - 1991 und 1998

Quelle	Termin	Uhrzeit (MEZ)	GWL
ZIMMERMANN, R. 1982	14.08.1981	13:10; 17:30; 22:30	Wa
	15.08.1981	05:30	Wa
SEITZ, R. 1985	23.06.1981	01:00, 23:30,	Nea
	13.08.1981	22:30	Wa
	14.08.1981	01:00	Wa
DWD (Hrsg.) 1982	01.06.1981	22:00, 23:30	Sa
DWD (Hrsg.) 1983	09.07.1982	02:45	HM
	30.07.1982	22:50	HB
	31.07.1982	00:15	HB
	03.09.1982	21:00	Wa
	06.09.1982	02:30	Wz
	28.11.1982	04:55	BM
DWD (Hrsg.) 1989, DWD (Hrsg.) 1990	18.08.1988	17:20, 20:52	Wa
	19.08.1988	04:31	Wa
	08.09.1988	19:37	HM
	09.09.1988	04:59	HM
	18.05.1989	04:43, 13:02, 21:42	BM
	19.05.1989	01:41	BM
	20.05.1989	07:39	BM
DWD (Hrsg.) 1991	01.08.1990	03:42, 14:52, 19:31, 20:42	HB
	02.08.1990	14:55, 19:33, 20:54	HB
	03.08.1990	03:42	HB
SEITZ, R. et al. 1994	02.07.1991	22:00	Hfa
	03.07.1991	02:00	Hfa
ALEXANDER, J. 1999	11.08.1998	21:00, 22:20, 23:40	Wa
	17.08.1998	23:28	Wa
	18.08.1998	00:42	Wa
	20.06.1998	21:16	HM
	10.08.1998	21:00, 22:31	Wa
	14.08.1998	21:01	Wa
	17.08.1998	21:12	Wa
	14.05.1998	20:50, 22:40	Hfa
	20.06.1998	22:50	HM
	11.08.1998	00:10	Wa
	14.08.1998	22:57	Wa

Mit Ausnahme der Messfahrten, die im Rahmen der Gutachten des DWD von 1989 "... über die klimatischen Auswirkungen des Bebauungsplanes Nr. 475a, Roßlache Sportanlagen auf den Stadtteil Oppau" und 1991 "... zu den lokalklimatischen Auswirkungen des Bereiches Entwicklungsachse West in Ludwigshafen" lagen die Daten der Messfahrten *für den Zeitraum von 1981 bis 1991* ausschließlich in analoger, grafischer Form vor. Ableseungenauigkeiten sind in diesen Fällen nicht auszuschließen. *Eine eindeutige Verortung der Messwerte konnte nur für die als "markante Punkte" ausgewiesenen Messstandorte vorgenommen werden (vgl. Grundlagenkarte). Durch den Einsatz eines differenziellen GPS (=ground positioning system) während der Messfahrten aus dem Sommer 1998 ist eine anschließende Reduktion der Messdaten auf wenige markante Punkte nicht erforderlich.*

3.2 Datenaufbereitung

Da sich die Temperaturdaten, die für die Stadt Ludwigshafen vorlagen, auf unterschiedliche Messzeitpunkte und -zeiträume beziehen, ist es erforderlich, die Messfahrten aneinander anzupassen. Die Anpassung erfolgt in zwei Schritten:

1. Anpassung an einen definierten Zeitpunkt
2. Anbindung an eine langjährige Messstation

Die beiden Verfahren werden im Folgenden beschrieben.

3.2.1 Anpassung an einen definierten Zeitpunkt

Messwerte, die aus einer mobilen, quasi-flächenhaften Aufnahme mit einem Messfahrzeug gewonnen werden, bestehen aus einer Folge von Werten aufeinander folgender Orte und Zeiten und stellen folglich keine Momentaufnahme dar. Während bei Messfahrten, die die zeitliche Dauer von einer halben Stunde nicht überschreiten, Temperaturänderungen im Tagesgang vernachlässigt werden können, ist dies bei länger andauernden Messfahrten nicht der Fall (DANZEISEN 1983). Zur Eliminierung dieses Trends werden in der Literatur verschiedene Verfahren beschrieben und diskutiert, u.a. bei DANZEISEN (1983), PARLOW (1983), KUTTLER (1993) und HELBIG et al. (1999). So setzt die Koinzidenz-Methode voraus, dass zumindest einzelne Messpunkte im Verlauf der Messfahrt doppelt angefahren

werden. Dem gegenüber steht die Trend-Methode, die in Abhängigkeit von der Anzahl der Basismessstation weiter in eine areale und globale Trend-Methode differenziert wird; die Angleichung an nur eine Basismessstation wird dabei als globale Trend-Methode bezeichnet. Während die Datenlage grundsätzlich die Anwendung des Koinzidenz-Verfahrens ausschließt, wurde der globalen Trend-Methode der Vorzug gegeben. Bei dieser Methode ist zwar nicht auszuschließen, dass nicht-repräsentative, mikroklimatische Einflüsse an der Basismessstation zum Tragen kommen können; die globale Trend-Methode bietet jedoch den Vorteil, dass störende Temperatursprünge ausgeschlossen werden können. Die Anwendung der globalen Trend-Methode erfolgt in Anlehnung an KUTTLER (1993), wobei die Temperaturdaten der einzelnen Messfahrten über eine Polynomfunktion 3. Grades an den Temperaturverlauf der Basismessstation angepasst werden. Diese Vorgehensweise beruht auf der Annahme, dass jeder einzelne Messpunkt, der im Verlauf der Messfahrt angefahren wird, ein vergleichbares Abkühlungsverhalten wie die Basismessstation aufweist. Diese Vorgehensweise bietet darüber hinaus den entscheidenden Vorteil, dass als Bezugszeit auch ein Zeitpunkt gewählt werden kann, der nicht in dem Zeitraum der Messfahrt liegt.

3.2.2 Anbindung an eine langjährige Messstation

Die Anbindung an eine langjährige Messstation ist erforderlich, um die Temperaturwerte aus Temperaturmessfahrten, die an unterschiedlichen Tagen durchgeführt wurden, miteinander in Relation setzen und vergleichen zu können. Als langjährige Messstation wurde die Station Mannheim ausgewählt. Für diese Station berechnet sich über alle Tage, an denen Messfahrten durchgeführt wurden und unter Einbeziehung der Messfahrten aus 1998 eine durchschnittliche Tagesmitteltemperatur von $20,6^{\circ}\text{C}$. Ist der Tagesmittelwert für den Messtag im Vergleich zum Mittelwert über alle Messfahrten zu warm, so wird die Differenz zwischen beiden von den Messpunkten der Temperaturmessfahrt subtrahiert; ist der Tagesmittelwert hingegen zu kalt, so wird die Differenz zu den Messpunkten addiert. Lineare Regresionen, die aus den Datenkollektiven für die Stationen Roßlache West und Ost sowie für die Stationen Rheingönheim West und Ost berechnet wurden, zeigen hochsignifikante positive Zusammenhänge zwischen der berechneten Tagesmitteltemperatur und der Lufttemperatur für 22 Uhr (MEZ) und bestätigen die gewählte Vorgehensweise.

3.3 Modellierung der flächendeckenden Temperaturverteilung

Da durch die Messdaten nur ein Ausschnitt des Stadtgebietes abgedeckt wird, für Planungsvorhaben jedoch eine flächendeckende Darstellung notwendig ist, müssen die vorhandenen Daten extrapoliert werden. Zur Ableitung des für die Extrapolation verwendeten Verfahrens werden im Folgenden die Auswertung der erforderlichen Grundlagendaten und der verwendete Regressionsansatz beschrieben; dieser basiert auf dem in der Literatur festgestellten positiven Zusammenhang zwischen Temperatur und Versiegelungsgrad (z.B. FEZER 1995, BRÜNDL et al. 1986 und ZIMMERMANN 1982).

3.3.1 Datengrundlage

Das Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein wird durch insgesamt 34 Deutsche Grundkarten abgedeckt:

Fig. 15: Deutsche Grundkarten 1 : 5.000 für das Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein

Blattname	Blatt-Nr.	Berichtigungsstand	Blattname	Blatt-Nr.	Berichtigungsstand
Altrip-Altrhein	6076	01/1995	Mörsch-Ost	5690	07/1994
Edigheim	5688	06/1994	Mühlauhafen	5884	11/1992
Edigheim-West	5488	05/1994	Mundenheim	5880	11/1995
Friesenheim	5684	12/1993	Mutterstadt-Nord	5280	01/1994
Friesenheimer Insel	5886	04/1994	Neuhofen-Nord	5876	01/1995
Fußgönheim	4880	1985	Oggersheim-Nord	5484	12/1995
Gartenstadt	5680	12/1994	Oggersheim-Süd	5482	07/1996
Limburgerhof-Nordost	5676	01/1995	Oggersheim-Südwest	5282	11/1995
Limburgerhof-Nordwest	5476	05/1991	Oppau	5686	1994
Lindenhof	6080	09/1991	Oppau-West	5486	11/1995
Ludwigshafen-Rhein	5882	07/1994	Rheingönheim-Ost	5878	01/1995
Ludwigshafen-West	5682	07/1994	Rheingönheim-West	5678	12/1996
Mannheim	6082	07/1995	Ruchheim	5082	02/1993
Maudach	5480	01/1994	Ruchheim-Süd	5080	01/1996
Maudach-Süd	5478	07/1996	Sandhofen-West	5888	14/1996
Maxdorf	4882	1984	Studernheim	5284	11/1993
Mörsch	5490	1961	Waldpark	6078	06/1991

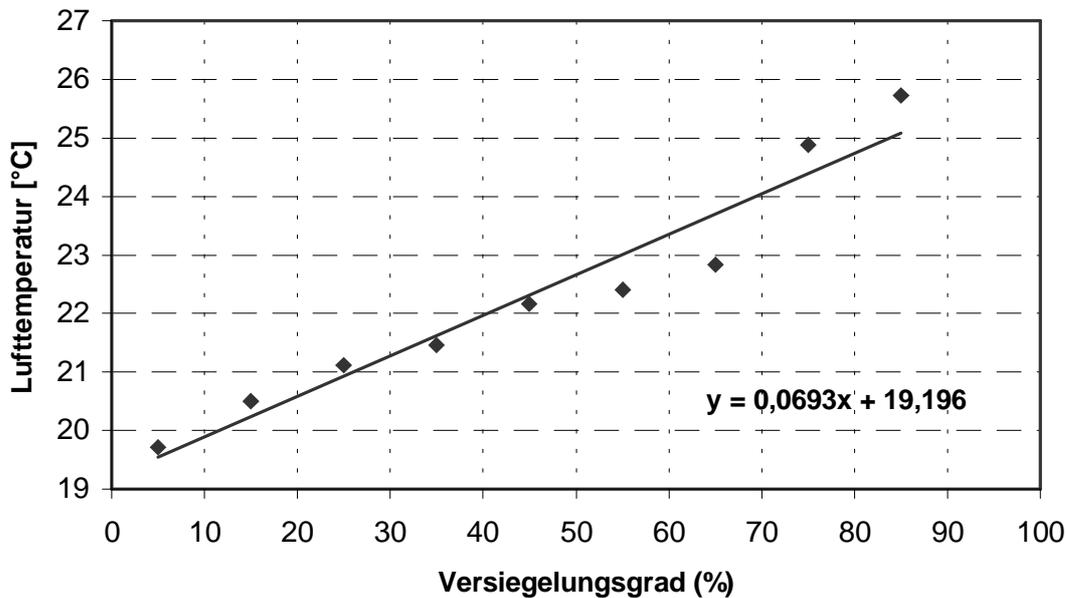
Von diesen Karten wurden Filme angefertigt, gescannt und im TIFF-Format gespeichert und anschließend in MapInfo eingelesen und georeferenziert. Die Gebäudegrundrisse und die Straßenflächen wurden "on-screen", d.h. am Bildschirm, digitalisiert.

Die Gebäudegrundrisse und Straßenflächen werden in MapInfo mit einem 100 * 100 m - Raster verschnitten. Dies erlaubt die Berechnung der versiegelten Fläche pro Rasterelement. Im nächsten Schritt wird für jedes Raster die überbaute Grundfläche und die durch Straßen versiegelte Fläche in Prozent der Rasterfläche umgerechnet und zum prozentualen Versiegelungsgrad aufsummiert. Anschließend werden die Rasterflächen entsprechend ihrem Versiegelungsgrad klassifiziert. Es wird die Klassifizierung von BERLEKAMP u. PRANZAS (1986) übernommen, die zur Erfassung der Bodenversiegelung in städtischen Wohngebieten eine Klasseneinteilung in 10% - Schritten (10 Klassen) zu Grunde legen. Diese Klassifizierung hat den Vorteil, dass geringe Abweichungen vom mittleren Versiegelungsgrad ($\pm 5\%$) innerhalb der versiegelungstreuen Bebauungstypen aufgefangen werden können. Ebenso können zufällige Extremsituationen aufgrund der Lage der Raster umgangen werden. So entstand ein Raster des Versiegelungsgrades für das gesamte Stadtgebiet.

3.3.2 Regressionsanalyse

Durch die Verschneidung des Bewertungsrasters mit den Temperaturwerten werden von den insgesamt 8049 Rasterelementen 814 *Rasterelemente* selektiert, die durch Temperaturwerte repräsentiert werden. [...]. Die mittleren Temperaturwerte der Versiegelungsklassen werden den Versiegelungsgraden der Rasterflächen gegenübergestellt.

Fig. 16: Regressionsgerade zur Klärung des Zusammenhanges zwischen Lufttemperatur und Versiegelungsgrad



Mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,9364$ und einem Korrelationskoeffizienten von $r=0,9677$ kann ein starker positiver Zusammenhang festgestellt werden. *Im Anschluss an die Regressionsanalyse wird jedem Rasterelement, für das kein realer Messwert zur Verfügung steht, derjenige Temperaturwert zugeordnet, der sich entsprechend der Regressionsgleichung über die Versiegelungsklasse des entsprechenden Rasterelementes berechnet.*

Fig. 17: Kenngrößen der Regression

Klasse	Versiegelungsgrad (%)	Mittelwert (%)	Temperatur [° C]	Anzahl Raster	Standardabweichung
1	0 - 10	5	19,54	150	1,2516
2	10 - 20	15	20,24	95	1,2901
3	20 - 30	25	20,93	111	1,5302
4	30 - 40	35	21,62	150	1,4789
5	40 - 50	45	22,31	157	1,2754
6	50 - 60	55	23,01	93	1,5600
7	60 - 70	65	23,7	47	1,9458
8	70 - 80	75	24,39	9	1,7229
9	80 - 90	85	25,09	2	
10	90 - 100	95	25,77	-	-
				Σ 814	

Da für die höchste Versiegelungsklasse keine Messwerte vorliegen, erhalten Rasterelemente mit Versiegelungsgraden zwischen 90 und 100% den entsprechend der Regressionsgleichung berechneten Wert von $25,77^{\circ}\text{C}$. [...].

3.4 Klimathemenkarte "Lufttemperatur"

Zur Ableitung einer Isothermendarstellung ist es notwendig, die „Raster“-Temperaturen zu interpolieren. Dazu müssen die Rasterflächen in Punkte umgewandelt werden; jedes Rasterelement wird mit dem zugeordneten Temperaturwert über seinen Zentroiden (Mittelpunkt bzw. Schwerpunkt) dargestellt. Anschließend werden die Daten mit dem Verfahren des sog. Inverse Distance Weighting Interpolation auf die Fläche gebracht. Bei diesem Verfahren wird als Suchstrategie für die Messpunkte, die in die Schätzung einbezogen werden sollen, ein orthogonales Punktraster mit frei wählbarer Auflösung zugrunde gelegt. Es wird im Fall von Ludwigshafen am Rhein eine Auflösung von 10 m gewählt. Über das Raster wird ein orthogonales Achsenkreuz so gelegt, dass sich Schnittpunkte mit Interpolationspunkten ergeben. Es wird ein Suchraum mit einem Radius von 1250 m angenommen, in welchem die jeweils fünf nächstgelegenen Messpunkte X_i zum Interpolationspunkt X_0 in die Schätzung mit einfließen. Die ausgewählten Messpunkte werden in Abhängigkeit von ihrer inversen Distanz mit einem Exponenten von drei berechnet. Dadurch entsteht eine Gewichtung der Messwerte in Abhängigkeit von ihrer Entfernung zum Interpolationspunkt. Das Inverse Distance-Verfahren ist ein glättendes Verfahren, d.h. die Minima und Maxima, die in der Datenstruktur der Messpunkte vorhanden sind, werden nach der Interpolation nicht mehr so stark hervorgehoben. Nach der Interpolation der Messwerte beträgt die Temperaturdifferenz $7,7\text{ K}$ mit einem Maximum von $26,0^{\circ}\text{C}$ und einem Minimum von $18,3^{\circ}\text{C}$.

4. Bioklima

Zur Darstellung der klimatischen Verhältnisse eines Raumes sind neben der Analyse einzelner meteorologischer Parameter, wie Temperatur oder Wind, integrierende Darstellungen der möglichen Funktionen verschiedener Klimaparameter notwendig. Als Methodik für diese Übertragung bietet sich die Zuordnung charakteristischer Klimaeigenschaften zu typischen Flächennutzungen bzw. Oberflächenbedeckungsarten, sog. Klimatopen, an.

4.1 Definition Klimatope

Unter dem Begriff "Klimatop" versteht man die Darstellung von Flächen gleicher Klimafunktion sowie die Analyse der möglichen Wirkungen dieser Flächen auf die Gesamtfläche. Es wird dabei vorausgesetzt, dass jeder Fläche mit homogenen Strukturen eine ganz spezielle Klimafunktion zugeordnet werden kann. Nach LESER wird ein Klimatop wie folgt charakterisiert: "Klimatop: Die kleinste klimaräumliche Einheit, die von einheitlich verlaufenden Prozessen bestimmt wird, die im Klimasystem wirksam sind, und die eine einheitliche Ausprägung besitzen." Das Klimasystem ist die Funktionseinheit der im Klimatop zusammenwirkenden klimatischen Prozesse, die vom klimatischen In- und Output, vom Georelief, von den physikalischen Merkmalen des obersten Teils des oberflächennahen Untergrundes und der Bodenbedeckung bestimmt oder geregelt werden, und die zur Herausbildung eines räumlich begrenzten Klimahaushaltes führen. (LESER 1984). Die Umsetzung dieser Definition in die Praxis wirft jedoch oft Probleme auf. Die Abgrenzung von Klimatopen kann in der Stadt Probleme bereiten. Gegenseitige Beeinflussungen, Übergänge und Variationen innerhalb der Klimatope erschweren die Grenzziehung, so dass es sich bei den Grenzen eher um fließende Übergänge handelt. Jedoch kann man davon ausgehen, dass einheitliche Klimafaktoren auch definierbare klimatische Auswirkungen haben werden. (STOCK 1992, STOCK u. BECKRÖGE 1983)

Die flächenhafte Untergliederung eines Stadtgebietes in typische Strukturen kann über die Darstellung von Flächen gleicher Nutzung, über Baukörperstrukturen (WEISCHET 1979) oder über Rasterkarten der vorherrschenden Oberflächenbedeckung bzw. Realnutzung, in Städten vor allem die Bebauung und die Versiegelung, erfolgen (BRÜNDL et al. 1986).

4.2 Bioklimatische Bewertung

Die Charaktisierung der bioklimatischen Verhältnisse im Untersuchungsraum erfolgt auf der Basis von sog. "Klimatopen"; diese kennzeichnen räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen und die Auswirkungen wenig unterschiedlich sind. Die Ausweisung der Klimatope erfolgt durch Verschneidung der Temperaturkarte mit den Karten der Versiegelung, der Realnutzung, der Siedlungstypen und der Stadtbiooptypenkartierung.

In Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (KRdL (Hrsg.) 1997) werden - in Abhängigkeit der Faktoren Flächennutzung und Oberflächenstruktur - folgende Klimatope ausgewiesen:

Cityklima

Das Cityklima stellt die stärkste Ausbildung des Stadtklimas infolge hochverdichteter Bebauung (Versiegelungsgrad > 70%) und nur geringen Grünflächenanteils dar. Die Flächennutzung besteht aus Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohnbebauung mit Vegetation als Straßenbäume und Straßenbegleitgrün. Die Oberflächenstruktur ist durch höhergeschossige Bebauung und Hochhäuser mit z.T. extremen Bauhöhendifferenzen und Straßenschluchten geprägt. In den Straßenschluchten kommt es zu Mehrfachreflexionen („Strahlenfalle“), die eine nachhaltige Erwärmung der Straßen und Hausflächen sowie eine verringerte Ausstrahlung im Straßenniveau zur Folge hat, so dass die Wärme in den Strukturen erhalten bleibt. Das Cityklima weist einen intensiven Wärmeinseleffekt, starke Windfeldstörungen und z.T. eingeschränkte Austauschbedingungen auf. Bei austauscharmen Wetterlagen kommt es zu hohen Luftschadstoffkonzentrationen, im Sommer zu Hitzestress und Schwülebelastung. Aufgrund dieser Bedingungen ist das Cityklima als **bioklimatisch hoch belastend** zu bewerten.

Als Beispiel für Cityklima in Ludwigshafen kann der Innenstadtbereich südlich der B 44 bis nördlich der B 37 zwischen Heinigstraße und Ludwigstraße genannt werden, *sowie Bereiche der Stadtteile Süd und Nord/Hemshof.*

Stadtklima

Das Stadtklima weist aufgrund der Wechselwirkungen mit der höher verdichteten Bebauung (Versiegelung 50 - 70%) starke Veränderungen aller Klimatelemente gegenüber dem Freiland auf. Die Flächennutzung ist Wohnbebauung mit Wohnblöcken und Blockbebauung

bei geringer Freilandnutzung. Höhergeschossige Gebäude, z.T. stärkere Bauhöhendifferenzen und Straßenschluchten, bilden die Oberflächenstruktur. Bereiche, die als Stadtklima ausgewiesen werden, zählen zur Zone insgesamt hoher Luftbelastung. Bezüglich der thermischen Verhältnisse bewirken die Faktoren, die auch das Cityklima steuern, eine abgeschwächte Überwärmung. Mit zunehmender Bebauungsdichte lassen sich die stadtklimatischen Phänomene deutlich beobachten. Zum Teil können aber sehr heterogene Mikroklimata vorkommen. Insgesamt ist das Stadtklima als **erheblich belastend** zu bewerten.

Auf der Klimathemenkarte "Bioklima" ist zu erkennen, dass sich an das Cityklima der Innenstadt nach außen hin der größte Bereich mit einem Stadtklima anschließt. Ausgedehnte Bereiche mit einem Stadtklima finden sich zudem in den Stadtteilen Oggersheim, Friesenheim und Oppau.

Stadtrandklima

Im Übergang vom locker bebauten Umland erfolgt am Stadtrand eine stärkere Verdichtung der Bebauung (Versiegelungsgrad 30 - 50%). Die Flächennutzung (Einzelhäuser, Wohnblöcke bis Blockbebauung; z.T. noch Garten- und Freilandnutzung) und die Oberflächenstruktur (durch Bebauung geprägt; relativ geringe Bauhöhen, erste Bildung von Straßenschluchten, Einzelbäume und Baumgruppen vorhanden) führen noch zu einer wesentlichen Beeinflussung von Temperatur- und Windverhältnissen. Ein vielfältiger Wechsel von Besonnungs- und Beschattungszone ist möglich, wobei die allgemeine Aufheizung relativ gering bleibt. Die Belastung durch Luftschadstoffe ist reduziert, woran die Filterfunktion der Bäume bereits einen Anteil hat. Stadtrandklimata weisen meist ein **positives Bioklima** auf.

Größere Bereiche mit Stadtrandklima finden sich in Gartenstadt-Hochfeld, sowie in Maudach, Ruchheim, Rheingönheim und Edigheim.

Gartenstadtklima

Das Gartenstadtklima liegt im Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen und wird durch Flächennutzung (Einzelhäuser, Garten- und Freilandnutzung) und Oberflächenstruktur (niedrige Einzelhäuser, Einzelbäume und Baumgruppen) geprägt. Es überwiegt der Einfluss des unbebauten Geländes (Versiegelungsgrad <30 %), so dass die Bebauung nur einen geringen Einfluss auf

Temperatur- und Windverhältnisse ausübt. Der starke Grad der Durchgrünung und der hohe Anteil an Bäumen wirkt sich positiv auf die thermischen und lufthygienischen Verhältnisse aus. Die geringen Gebäudehöhen ermöglichen eine gute Durchlüftung. Es herrschen meist **gute Bioklimate ohne Austauschprobleme.**

Zwischen bebauten Flächen mit Stadtrandklima und dem Freiland liegen als Übergangsflächen Zonen mit Gartenstadtklima, so z.B. die Randbereiche von *Gartenstadt-Niederfeld, Maudach, Ruchheim und Rheingönheim.*

Grünanlagen - Klima (innerstädtisch)

Innerstädtische Grünanlagen sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Temperatur und Feuchte charakterisiert. In Abhängigkeit von Bewuchs und Größe werden die Klimatelemente mehr oder weniger stark gedämpft. Je nach Ausstattung der Grünfläche mit Baumbestand nähert sich ihr Mikroklima mehr dem einer Waldfläche oder dem des Freilandes. Dadurch haben innerstädtische Grünanlagen den Vorteil, dass sie bei einer vielfältigen Ausstattung auf kleinem Raum unterschiedliche Klimate umfassen und zu einer Klimavielfalt führen. Damit können innerstädtische Grünanlagen u.U. sehr wirksam zum Abbau von bioklimatischen Belastungen führen; sie werden entsprechend auch als "Klimaoasen" bezeichnet. Ihre Fernwirkung sollte nicht überschätzt werden, denn sie überschreitet in den seltensten Fällen 200 m.

Als Beispiele für innerstädtische Grünanlagen sind im Stadtgebiet von Ludwigshafen die Flächen von Ebertpark, Friesenpark, Alwin-Mittasch-Platz, Hauptfriedhof und der Bereich östlich der Großen Blies zu nennen.

Gewerbeklima / Industrieklima

Die Flächennutzung von Gewerbe- und Industriegebieten setzt sich aus vielen verschiedenen Strukturen zusammen; dazu gehören dichte Bebauung mit großen Industrieanlagen, große Freiflächen, Halden, Lagerflächen, Öllager, Klärteiche, freigehaltene Flächen für Industrieerweiterungen, breite Verkehrswege und ausgedehnte Gleisanlagen. Die inhomogene Bebauung stellt eine raue Oberfläche dar und beeinflusst das Windfeld stark. Es finden sich Wärmeinseln, die durch Abwärme noch intensiviert werden. Es entstehen erhebliche Emissionen von Abgasen, Schwermetallen und Staub, wodurch die Luft in Gewerbe- und Industriegebieten mit festen und gasförmigen Bestandteilen angereichert ist. Gewerbe- und Industriegebiete stellen meist

Belastungsgebiete mit z.T. extremen Schadstoffemissionen dar, die auch noch im Nahbereich der Anlagen **stark negative Wirkungen** verursachen.

Als Beispiel für Gewerbeklima / Industrieklima ist das BASF-Gelände, die Gewerbeflächen südlich der Industriestraße und das Industriegebiet östlich von Rheingönheim (Giuliniwerke) zu nennen.

Freilandklima

Freilandbereiche (Versiegelungsgrad <10%) sind durch einen extremen Jahres- und Tagesgang der Temperatur geprägt; sie sind windoffen und weisen einen unbeeinflussten Strahlungsumsatz auf. Damit ist eine intensive nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verbunden. Die Flächennutzung besteht aus landwirtschaftlicher Nutzfläche, Wiesen, Weiden und Brachen. Die Oberflächenstruktur besteht überwiegend aus niedrigen Strukturen ohne starke Höhendifferenzen und scharfkantige Strukturen. Freilandbereiche stellen aufgrund ihrer Erholungsfunktion **bioklimatisch wertvolle Flächen** dar.

Typische Bereiche mit Freilandklima stellen die Roßlache, der Maudacher Bruch und die Freiflächen südöstlich von Maudach dar.

Gewässerklima

Wasserflächen bilden kleinräumig z.T. stark von der Umgebung abweichende Klimate. Sie wirken thermisch ausgleichend, wobei der Einfluss meist auf das Gewässer und die unmittelbaren Randbereiche beschränkt ist. Der gedämpfte Tagesgang der Temperatur über dem Wasser ist umso deutlicher, je größer die Wasserfläche und je größer das Wasservolumen ist. Gewässer sind windoffen und wirken sich aufgrund der extrem geringen Oberflächenrauigkeit günstig aus; sie stellen i.A. **bioklimatisch wertvolle Erholungsgebiete** dar.

Als Beispiele hierfür ist die Fläche mit Gewässerklima im südlichen Bereich der Roßlache zu nennen, die durch Willersinnweiher, Begüntenweiher, Großparthweiher und Kratzscher Weiher abgedeckt ist.

Waldklima

Das Klima im Stammraum wird durch den Energieumsatz (verminderte Ein- und Ausstrahlung) bestimmt. Dichte und höherwachsende Baumvegetation führt zu gedämpften Tagesgängen von Temperatur und Feuchte sowie zu geringeren Windgeschwindigkeiten.

Das Kaltluftentstehungsgebiet befindet sich oberhalb des Kronenraumes. Der Wald übernimmt zusätzlich Filterfunktionen für trockene und nasse Deposition von Luftinhaltsstoffen, vor allem Stäube. Wälder sind **lufthygienisch bedeutsame Ausgleichsräume** und stellen **bioklimatisch wertvolle Erholungsräume** dar.

Größere Flächen mit Waldklima befinden sich vor allem im Maudacher Bruch, westlich des Kief'schen Weihers und *südlich des Rehbaches*.

Bahnanlagen

Bahnanlagen, wie beispielsweise das Gebiet um Haupt- und Güterbahnhof, stellen thermische Extremstandorte dar; sie sind durch eine intensive Erwärmung am Tag und eine rasche, nächtliche Abkühlung gekennzeichnet. So weit Bahnanlagen in den Städten lange und breite Schneisen bilden, können sie wegen ihrer geringen Rauigkeit bei entsprechenden Wetterlagen Kalt- und ggf. Frischluft in die Stadt transportieren.

Hauptverkehrsstraßen (außerörtlich)

Hauptverkehrsstraßen (z.B. A 61, A 65, A 650, B 9, B 44, L 523) zeichnen sich durch hohe Luftschadstoff- und Lärmemissionen aus. Hierbei ist zu beachten, dass die Schadstoffbelastung bis mehrere hundert Meter vom Fahrbahnrand entfernt hohe Konzentrationen annehmen kann. Die typischen, durch Kfz emittierten Schadgase sind CO, NOx und Kohlenwasserstoffe.

5. Lufthygienische Verhältnisse

5.1 Verkehrsbedingte Luftschadstoffimmissionen

Durch die Einführung des § 40 Absatz 2 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (§ 40 (2) BImSchG) und die 23. Bundes-Immissionsschutzverordnung (23. BImSchV) werden die Straßenverkehrsbehörden ermächtigt, den Kraftfahrzeugverkehr auf bestimmten Straßen oder in bestimmten Gebieten zu beschränken, sofern die für den Immissionsschutz zuständige Behörde dies für geboten hält. Damit sollen schädliche Umwelteinwirkungen durch kfz-bedingte Luftverunreinigungen vermindert bzw. vermieden werden. Nach 23. BImSchV sind diejenigen Straßen bzw. Gebiete zu untersuchen, in denen besonders hohe, vom Verkehr verursachte Immissionen zu erwarten sind (FRANK et al.1995).

Zur Beurteilung sind Konzentrationswerte (Prüfwerte) festgelegt, bei deren Überschreiten Maßnahmen zu prüfen sind.

Fig. 18: Prüfkonzentrationen nach 23. BImSchV

Komponente	Zeitbezug	Konzentrationswert
Stickstoffdioxid (NO ₂)	98-Perzentilwert aus Halbstunden- mittelwerten	160 µg/m ³
Ruß	Jahresmittelwert	14 µg/m ³ ab 01.07.1995
		8 µg/m ³ ab 01.07.1998
Benzol	Jahresmittelwert	15 µg/m ³ ab 01.07.1995
		10 µg/m ³ ab 01.07.1998

Zur flächendeckenden Prüfung des Straßennetzes der Stadt Ludwigshafen am Rhein nach 23. BImSchV wird das Screening-Modell STREET (PC-Version 1.0) verwendet, das speziell für diese Fragestellung von der TÜV Energie und Umwelt GmbH in Filderstadt im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg entwickelt wurde. Mit dem Modell kann abgeschätzt werden, ob an einer Straße oder Kreuzung die Prüfwerte der 23. BImSchV sicher eingehalten oder überschritten werden, bzw. ob Prüfwertüberschreitungen möglich sind. Auf der Basis des Grobscreenings, das eine erste „Risikoabschätzung“ erlaubt, können konkrete Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise ausgesprochen werden.

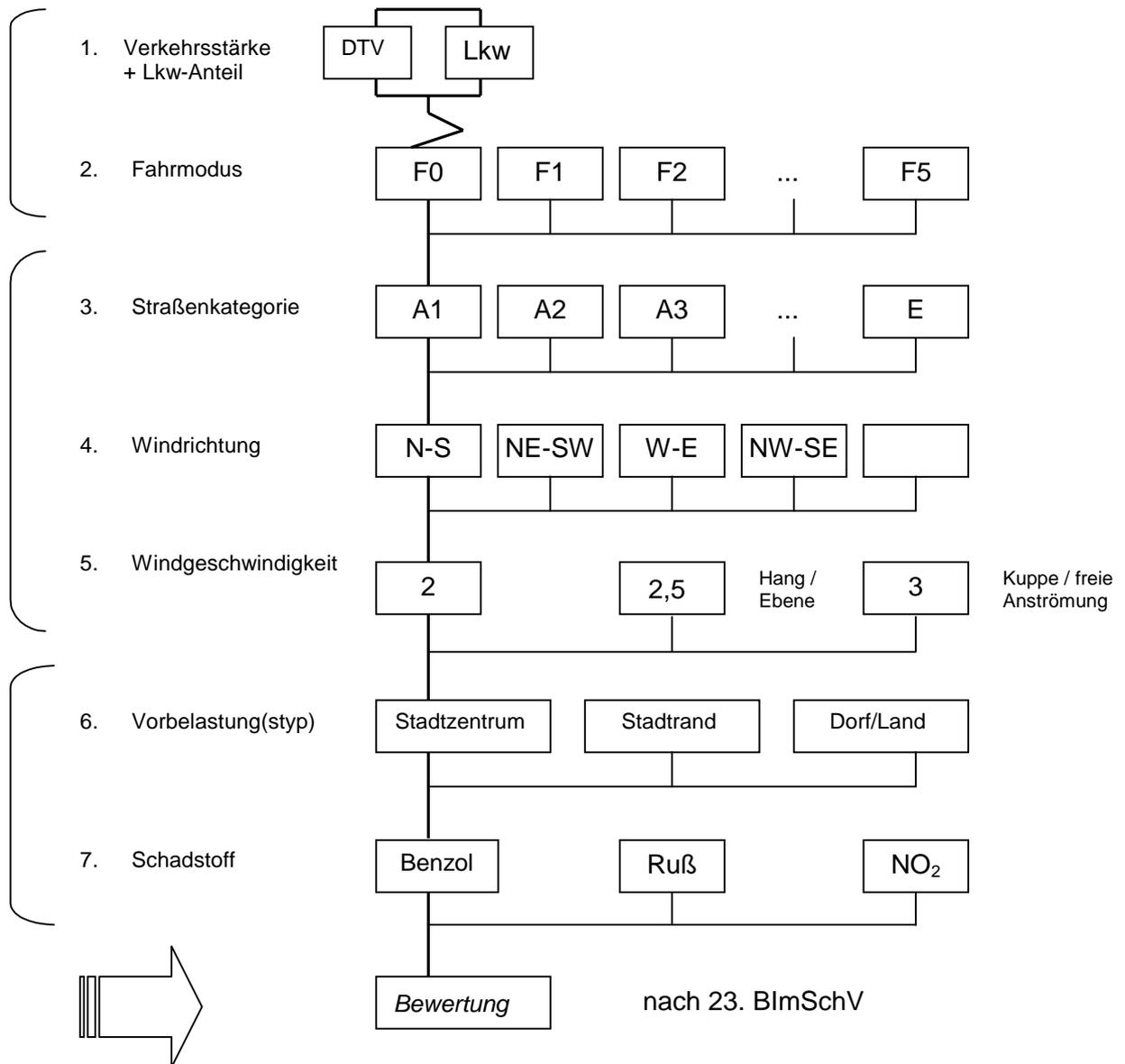
5.2 Screening Modell STREET

5.2.1 Modellkonzeption

Das Screeningverfahren STREET basiert auf Angaben und Messdaten von 135 straßenverkehrsbezogenen Immissionsmessstellen aus dem gesamten Bundesgebiet; hierbei wurden schematische Straßentypen definiert und nach typischen Bebauungsstrukturen differenziert. Mit dem mikroskaligen Strömungsmodell MISKAM wurden für die abgeleiteten Straßen-, Kreuzungs- und Einmündungskategorien 3-dimensionale Strömungs- und Ausbreitungsfelder berechnet. Über die Gewichtung entsprechend der jährlichen Häufigkeit des Auftretens der jeweiligen Anströmsituation mit einer Ausbreitungsklassenstatistik, Einbeziehung von Emissionsdaten und Angaben zur Vorbelastung wurden jahresbezogene Kenngrößen der verkehrsbedingten Immissionen flächenhaft abgeleitet. Das Verfahren wurde durch Vergleich mit Immissionsmessungen an innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen verifiziert (FRANK et al. 1995).

Die Ermittlung der verkehrsbedingten Immissionen erfolgt nach dem in Figur 19 dargestellten Ablaufschema; es bezieht sich speziell auf die Eingangsparameter, die vom Anwender vorzugeben sind.

Fig. 19: Ermittlung der verkehrsbedingten Immissionen nach STREET 1.0



(Quelle: nach TÜV ENERGIE UND UMWELT (Hrsg.) o.J.)

5.2.2 Eingangsdaten

Gemäß Figur 19 sind zur Ermittlung und Bewertung der verkehrsbedingten Luftschadstoffe Benzol, Ruß und NO₂ folgende Eingangsdaten für das Modell STREET zu ermitteln:

- Verkehrsspezifische Daten: Fahrzeugmenge (DTV), Lkw-Anteil und Fahrmodus
- Zuordnung der Straßenstruktur zu den vorgegebenen Kategorien
- Meteorologische Verhältnisse (Wind) am Ort
- Einordnung der Umgebung in einen Vorbelastungstyp

- *Verkehrsaufkommen und Lkw-Anteil*

Das Verkehrsaufkommen und der Lkw-Anteil stellen die wichtigsten Einflussgrößen für die Immissionsbelastung an Straßen und Kreuzungen dar. Charakterisiert wird das Verkehrsaufkommen durch den sog. DTV, das durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen; der DTV wird angegeben als die Anzahl der Fahrzeuge je 24 h [Kfz/24h]. Der Lkw-Anteil bezieht sich auf Nutzfahrzeuge $\geq 3,5$ t und wird als prozentualer Anteil dieser Fahrzeuge am gesamten Verkehrsaufkommen (DTV) angegeben. Leichte Nutzfahrzeuge werden der Klasse der Pkw zugeordnet (FRANK et al.1995).

Als Datengrundlage für das Grob screening dient der Gesamtverkehrsplan /Verkehrsentwicklungsplan von SCHAECHTERLE u. SIEBRAND (1993) für das Jahr 2000 (Prognose-Nullfall). Für das Jahr 1996 liegen darüber hinaus 20 Querschnittszählungen vor. Das Straßenverkehrsnetz der Stadt Ludwigshafen wurde digitalisiert und an die Amtliche Stadtkarte (Maßstab 1 : 15.000) angepasst, den entsprechenden Straßenabschnitten (Segmenten) der Straßenname, eine Segmentnummer und die korrespondierenden DTV-Werte und prozentualen Lkw-Anteile zugeordnet. Für Straßensegmente, für die keine Angaben über den Lkw-Anteil zur Verfügung standen, wurde - in Anlehnung an DRÖSCHER et al. (1996, S. 9) - als Schätzwert ein Lkw-Anteil von 5% angenommen. Für Kreuzungs- und Einmündungsbereiche wird der sog. Knoten-DTV berechnet ($= 0,5 \times$ (Summe der Einzel-DTV)), der sich auf alle die Kreuzung passierenden Fahrzeuge bezieht (FRANK et al. 1995).

Da bei Straßen mit einem Verkehrsaufkommen unter 10.000 Fahrzeugen pro Tag davon auszugehen ist, dass die Konzentrationswerte, unabhängig von den Randbedingungen, unterschritten werden (vgl. SEIDLER u. WICHMANN-FIEBIG 1995) wurden nur innerörtliche Straßen mit entsprechend höheren DTV-Werten in die Modellrechnung miteinbezogen (vgl.

Fig. 1 u. 2, Anhang). Ebenfalls von einer weiteren Bewertung wurden - trotz prognostizierter Verkehrsaufkommen von über 69.700 Kfz/24h für das Jahr 2000 - Segmente der innerstädtischen Autobahn A 650 ausgeklammert, da Bundesautobahnen ausdrücklich von Maßnahmen nach § 40 Absatz 2 BImSchG ausgenommen sind.

- *Fahrmodus und Emissionsfaktoren*

Die von der Gesamtheit aller Fahrzeuge in einer Straße emittierte Menge von Luftschadstoffen wird über den Verkehrsfluss (Fahrmodus) und die für das Einzelfahrzeug typischen spezifischen Emissionen (Emissionsfaktoren) berechnet. Der Fahrmodus beschreibt dabei die zeitliche Folge unterschiedlicher Geschwindigkeiten (Geschwindigkeitsganglinien) und Betriebszustände von Kfz (z.B. Leerlauf im Stand, Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit und Bremsverzögerung) (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (Hrsg.) 1992, S. 6). In Figur 20 sind die für den innerörtlichen Verkehr typischen Fahrmodi aufgeführt, nach denen die Straßensegmente, Kreuzungs- und Einmündungsbereiche klassifiziert und zur Datenkontrolle der Sparte Stadtplanung übergeben wurden.

Fig. 20: Fahrmodi im innerörtlichen Verkehr

Fahrmodus	UBA-Kennung	Mittlere Fahr-Geschwindigkeit [km/h]	Beschreibung nach UBA Handbuch Emissionsfaktoren
F0	IO_Stop+Go	5 km/h	Innerortsstraßen, Stop & go-Verkehr
F1	IO_Nebenstr'dicht'	19 km/h	Nebenstraßen, geschlossene Bebauung, starke Störungen
F2	IO_LSA2	28 km/h	Hauptverkehrsstraßen mit Lichtsignalanlagen, mittlere Störungen
F3	IO_Nebenstr'locker'	32 km/h	Nebenstraßen locker bebaut, mittlere Störungen
F4	IO_HVS2	46 km/h	Hauptverkehrsstraßen, vorfahrtsberechtigt, geringe Störungen
F5	IO_HVS1	58 km/h	Ortsdurchfahrt, vorfahrtsberechtigt, ohne Störungen

(Quelle: nach DRÖSCHER et al. 1996)

Die Berücksichtigung der Emissionsfaktoren erfolgt über die Auswahl des Bezugsjahres, für welches im Fall der Nullfall-Prognose das Jahr 2000 gewählt wurde. Figur 21 zeigt beispielhaft die Flottenzusammensetzung der Jahre 1996 und 2000, die in STREET zu Grunde gelegt werden.

Fig. 21: Flottenzusammensetzung der Jahre 1996 und 2000 (Region West)

	Pkw-Anteile (%)		SNF-Anteil (%)			LNF-Anteil (%)	
	1996	2000	1996	2000		1996	2000
Bezugsjahr:	1996	2000	1996	2000		1996	2000
Konventionell:	18,6	7,4	18,6	7,3	80er Jahre:	62,4	28,2
G-Kat < 91:	14,5	9,3	18,7	13,2	EURO1:	25,9	18,6
< Euro 2:	35,3	5,6	0,0	0,0	EURO2:	11,7	53,1
EURO2:	7,8	36,4	1,8	13,3			
Diesel konventionell	4,6	2,1	33,6	16,3			
Diesel XXII FAV:	14,1	8,7	0,0	0,0			
Diesel EURO2:	1,5	10,6	27,3	49,9			

- *Straßenkategorie*

Zur Ableitung des Screeningverfahrens STREET wurden typische Gebäudestrukturen und Straßengeometrien an innerstädtischen Straßen und Kreuzungen zu Straßenkategorien zusammengefasst. Dabei werden Straßen, Einmündungen und Kreuzungen differenziert und nach der Art der Randbebauung und dem Höhen-/Breitenverhältnis unterschieden. Insgesamt werden im Modell 22 Straßenkategorien (vgl. Fig. 3, Anhang) ausgewiesen, wobei die Straßenstruktur einer dieser Kategorien zugeordnet werden muss. „Bei stark abweichenden Einzelsituationen gegenüber den vorliegenden Kategorien bzw. Berechnungsfällen (z.B. Tunnelportale, Brücken, komplexe Kreuzungen, [...], einseitige Bebauung) muss die Anwendungsfähigkeit [des Modells] detailliert geprüft werden“ (DRÖSCHER et al. 1996). Unter diesem Aspekt sind die Hochstraßen in Ludwigshafen nicht zu modellieren und müssen entsprechend ausgeklammert werden.

- *Meteorologische Parameter*

Zur Beurteilung jahresbezogener Immissionskonzentrationen ist sowohl die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit als auch die mittlere jährliche Verteilung der Windrichtung ausschlaggebend. Dabei wirkt sich die Windgeschwindigkeit annähernd umgekehrt proportional zur Höhe der Immissionen aus: Je höher die Windgeschwindigkeit, desto niedriger wird die Immissionskonzentration bei gleich bleibender Emission. Eine

Verdopplung der Windgeschwindigkeit bewirkt somit ungefähr eine Halbierung der Immissionen. Für Ludwigshafen wird eine mittlere Windgeschwindigkeit von 2,5 m/s angenommen (DWD (Hrsg.) 1991).

Die Windrichtung bestimmt die Richtung, in welche die emittierten Luftschadstoffe transportiert werden. Je nach relativer Ausrichtung der Straße zur Hauptwindrichtung variiert das Ausbreitungsverhalten um die angrenzenden Gebäude mit der Folge unterschiedlich hoher Immissionen (DRÖSCHER et al. 1996). Als Windrichtungsverteilung wurde generell eine Nord-Süd-Verteilung angenommen; die Angabe der Straßenrichtung wurde für jedes Straßensegment bzw. Kreuzung in einer Auflösung von 10° ermittelt.

- *Vorbelastung*

Die Vorbelastung an einem bestimmten Ort wird durch Luftverunreinigungen verursacht, die von Emittenten außerhalb des direkten Straßenraumes freigesetzt werden (DRÖSCHER et al. 1996). Die Abschätzung der Vorbelastung einer Straßen- oder Kreuzungskategorie erfolgte nach Figur 22.

Fig. 22: Abgeschätzte Vorbelastung für die betrachteten Vorbelastungstypen
Angaben in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Vorbelastungstyp	Dorf/Land *	Stadttrand **	Stadtzentrum ***
Schadstoff: Stickstoffdioxid (98-Perzentil)	65	80	90
Benzol (Jahresmittelwert)	1,5	2,5	4
Ruß (Jahresmittelwert)	1,5	3	6

* Gemeinden mit bis zu ca. 10 000 Einwohnern; z.B. Dörfer, Kleinstädte

** Gemeinden mit ca. 20 000 bis 40 000 Einwohnern; z.B. Kleinstädte oder Wohnbezirke in Großstädten

*** Zentrum größerer Städte mit ca. 50 000 bis mehrere 100 000 Einwohner

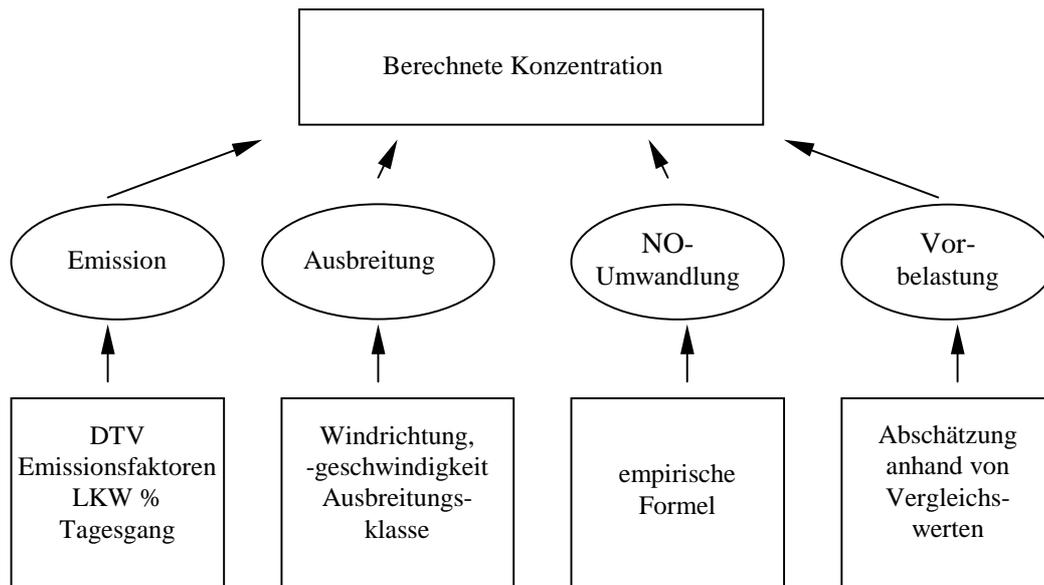
(Quelle: DRÖSCHER et al. 1996)

Als Kriterium für die Zuordnung zu einem Vorbelastungstyp wurden die Einwohnerzahlen nach Stadtteilen herangezogen, die im Luftreinhalteplan Ludwigshafen-Frankenthal (MfUG (Hrsg.) 1989) nach Daten aus dem Statistischen Jahresbericht der Stadt Ludwigshafen (Stand 31.12.1985) veröffentlicht sind.

5.2.3 Unsicherheitsbereiche

Die Vorhersage von Immissionskenngrößen mit STREET gemäß 23. BImSchV ist mit Unsicherheiten verbunden; die entsprechenden Einflussgrößen sind in Figur 23 dargestellt.

Fig. 23: Berechnete Konzentration in Abhängigkeit von Emission, Ausbreitung, Reaktion und Vorbelastung



(Quelle: FRANK et al. 1995)

Die berechnete Konzentration eines Schadstoffes wird durch die pro Zeiteinheit emittierte Schadstoffmenge (Emissionsrate), physikalische und chemische Umwandlungen während der Ausbreitung, sowie durch die Vorbelastung bestimmt (DRÖSCHER et al. 1996). Diese Einflussfaktoren - auch solche, die nicht vom Anwender ermittelt werden, wie z.B. der Tagesgang des Verkehrsaufkommens und die NO-NO₂-Konversion, sondern modellintern zur Berechnung der Gesamtkonzentration einbezogen werden - sind mit Mess- bzw. Schätzfehlern behaftet. Die Fehlerabschätzung für die berechneten Komponenten und Kenngrößen ist in Fig. 24 dargestellt.

Fig. 24: Fehlerabschätzung für die berechneten Komponenten und Kenngrößen bei der Ermittlung kfz-bedingter Immissionen

Fehler- abschätzung	NO₂-98-Perzentil Unsicherheitsbereich	Benzol-Mittelwert Unsicherheitsbereich	Ruß-Mittelwert Unsicherheitsbereich
Eingangsparameter: Emissionsfaktoren	10,0%	10,0%	20,0%
Windrichtungs- verteilung	10,0%	10,0%	10,0%
Windgeschwindig- keitsverteilung	10,0%	10,0%	10,0%
NO-Umwandlung	15,0%	-	-
Spitzen-/mittlerer Verkehrsfluss	10,0%	-	-
Vorbelastung	20,0%	20,0%	20,0%
Strömungs- und Ausbreitungsmodell	5,0%	5,0%	5,0%
Berechneter Gesamtfehler	27,4%	22,0%	28,0%

Gesamtfehler = $(\text{Summe}(\text{Fehler}^2))^{0,5}$

Gewichtung 0.25 bei 98-Perzentil (TA Luft Nomogramm) bzw. 0.4 bei Jahresmittelwerten

(Quelle: PFEIFER et al. 1996)

Der in STREET berechnete Gesamtfehler wird bei der Bewertung dadurch berücksichtigt, dass explizit ein Unsicherheitsbereich ausgewiesen wird, für den keine eindeutige Aussage darüber getroffen werden kann, ob die Prüfkonzentration sicher überschritten oder sicher unterschritten wird.

5.2.4 Zusammenfassung und Ergebnisse

Zur flächendeckenden Prüfung der Kfz-Immissionsbelastung in Ludwigshafen am Rhein gemäß 23. BImSchV wurde das Screeningverfahren STREET eingesetzt und die Ergebnisse kartographisch dargestellt. Als Eingangsdaten standen Verkehrsaufkommen und Güterschwerverkehr für den Prognose-Nullfall 2000 aus dem Gutachten von SCHÄCHTERLE u. SIEBRAND (1993) zur Verfügung. Gemäß der Vorgabe der 23. BImSchV wurden diejenigen Straßen bzw. Gebiete untersucht, in denen besonders hohe vom Verkehr verursachte Immissionen zu erwarten sind (FRANK et al. 1995). Dazu wurde das Straßennetz mit den Klassen „Wohnen“, „Mischgebiete“ und „Gemeinbedarf, Sonderbau“ der Karte der Siedlungstypen (IFP (Hrsg.) 1985) verschnitten; das Screening-Verfahren wurde ausschließlich auf Straßensegmente und Kreuzungen mit einem DTV > 10.000 angewendet, da bei geringeren DTV-Werten davon auszugehen ist, dass die Prüfkonzentrationen, unabhängig von den Randbedingungen, unterschritten werden (z.B. KRÜCKEMEIER u. ARENTZ 1996; SEIDLER u. WICHMANN-FIEBIG 1995). Durch diese Vorgehensweise konnten die Anforderungen der 23. BImSchV an die Bewertung hoch verkehrsbelasteter Innerortsstraßen auf die kritischen Bereiche eingengt werden.

Insgesamt wurden 173 Modellrechnungen mit STREET durchgeführt; dabei wurden 93 Straßensegmente und 80 Kreuzungsbereiche betrachtet. Für das Jahr 2000 werden nach STREET für folgenden Straßensegmente und Kreuzungen sichere Prüfwertüberschreitungen prognostiziert:

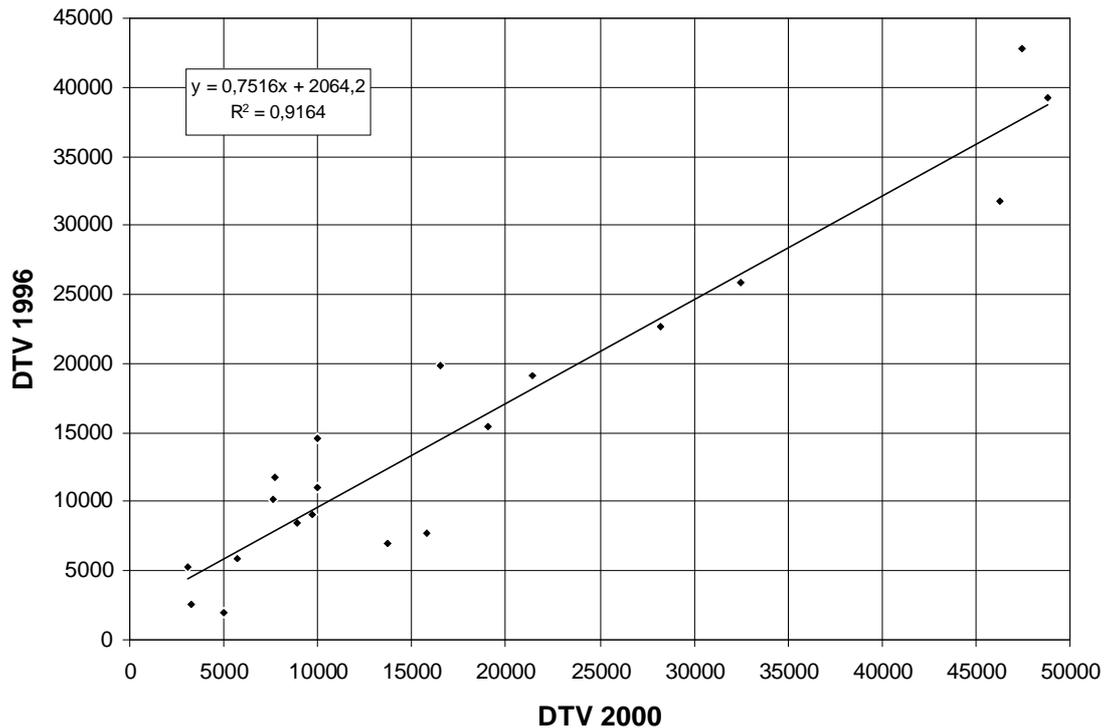
Fig. 25: Prognostizierte Überschreitungen der Prüfkonzentrationen im Jahr 2000 im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein

Straßenname	Segment	Benzol [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ruß [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
B 44 Kaiserwörth-Damm (Kreuzung)	1	13	12	(132)
Bruchwiesenstraße (Kreuzung)	1	12	11	(128)
Bruchwiesenstraße (Kreuzung)	2	(11)	11	(127)
Carl-Bosch-Straße (Kreuzung)	1	(11)	11	-
Carl-Bosch-Straße (Kreuzung)	2	(11)	11	-
Carl-Bosch-Straße (Kreuzung)	3	(11)	11	-
Frankenthaler Straße (Kreuzung)	1	12	10	-
Valentin-Bauer-Straße	1	(10)	11	-

() = Prüfwertüberschreitung möglich

Eine Gegenüberstellung der für den Prognose-Nullfall angegebenen DTV-Werte und der Verkehrszählungen aus 1996 über einen Regressionsansatz zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen den 1996 erhobenen und für das Jahr 2000 prognostizierten Werten; das Bestimmtheitsmaß liegt bei 0,91.

Fig. 26: Lineares Regressionsmodell zur Klärung des Zusammenhanges zwischen prognostizierten (2000) und durch Querschnittszählungen (1996) ermittelten DTV-Werten



Anhand der Geradengleichung wurden für die relevanten Straßensegmente, Kreuzungen und Einmündungen DTV-Werte berechnet, die die Situation 1996 charakterisieren sollen (vgl. Fig. 2, Anhang). Auf der Basis der berechneten DTV-Werte und unter Zugrundelegung des Bezugsjahres 1996 und der Prüfkonzentrationen für 1995 wurden Modellrechnungen mit STREET durchgeführt. Für das Jahr 1996 wurden keine sicheren Prüfwertüberschreitungen festgestellt.

Die Ergebnisse des Grobscreenings für die Jahre 1996 und 2000 sind mit den entsprechenden Eingangsdaten in Fig. 1 und 2 (Anhang) aufgeführt und auf zwei beiliegenden Karten im Maßstab 1 : 15.000 dargestellt. Es wird empfohlen, für die Bereiche, für die im Jahr 2000 eine Prüfwertüberschreitung möglich ist, ein Feinscreening mittels eines numerischen Strömungs- und Ausbreitungsmodelles durchzuführen.

5.3 Luftbelastungsindex

Zur Beurteilung der (Gesamt-)Luftschadstoffbelastung wird im Folgenden der so genannte Luftbelastungsindex (nach BAUMÜLLER et al. 1984) berechnet. Dieser erlaubt eine Bewertung der Summenwirkung der Leitkomponenten SO₂, CO, NO₂ und Schwebstaub. Die Berechnung erfolgt, differenziert nach dem Langzeit- und Kurzzeitbelastungsindex, gemäß den nachfolgenden Formeln:

$$(6) \text{ Langzeitbelastungsindex } LBI_1 \quad \sum_{i=1}^4 \left[\frac{\text{Jahresmittelwert}}{\text{Immissionswert IW1}} \right] S_i$$

$$(7) \text{ Kurzzeitbelastungsindex } LBI_2 \quad \sum_{i=1}^4 \left[\frac{98\% - \text{Wert}}{\text{Immissionswert IW2}} \right] S_i$$

Die gemessenen Konzentrationen für die o.g. Leitkomponenten werden dabei in Relation zu den verbindlichen Grenzwerten IW1 und IW2 der TA Luft (1986) gesetzt:

Fig. 27: Grenzwerte IW1 (Langzeitbelastung) und IW2 (Kurzzeitbelastung) nach TA Luft
Angaben in [mg/m³]

	IW1	IW2
CO	10	30
NO ₂	0,08	0,20
SO ₂	0,140	0,40
Schwebstaub	0,15	0,30

Als Bewertungsmaßstab wird folgende Abstufung zu Grunde gelegt:

0.0 - 0.49	gering belastet
0.1 - 0.99	schwach belastet
1.0 - 1.49	mäßig belastet
1.1 - 1.99	deutlich belastet
> 2.0	erheblich belastet

Für die Berechnung werden die Immissionserhebungen aus dem Luftreinhalteplan Ludwigshafen-Frankenthal (MfUG (Hrsg.) 1989) herangezogen und graphisch dargestellt. Diese Ergebnisse dienen der großräumigen Charakterisierung der Immissionsverhältnisse im Untersuchungsgebiet.

Fig. 28: Langzeitbelastungsindex (LBI₁)

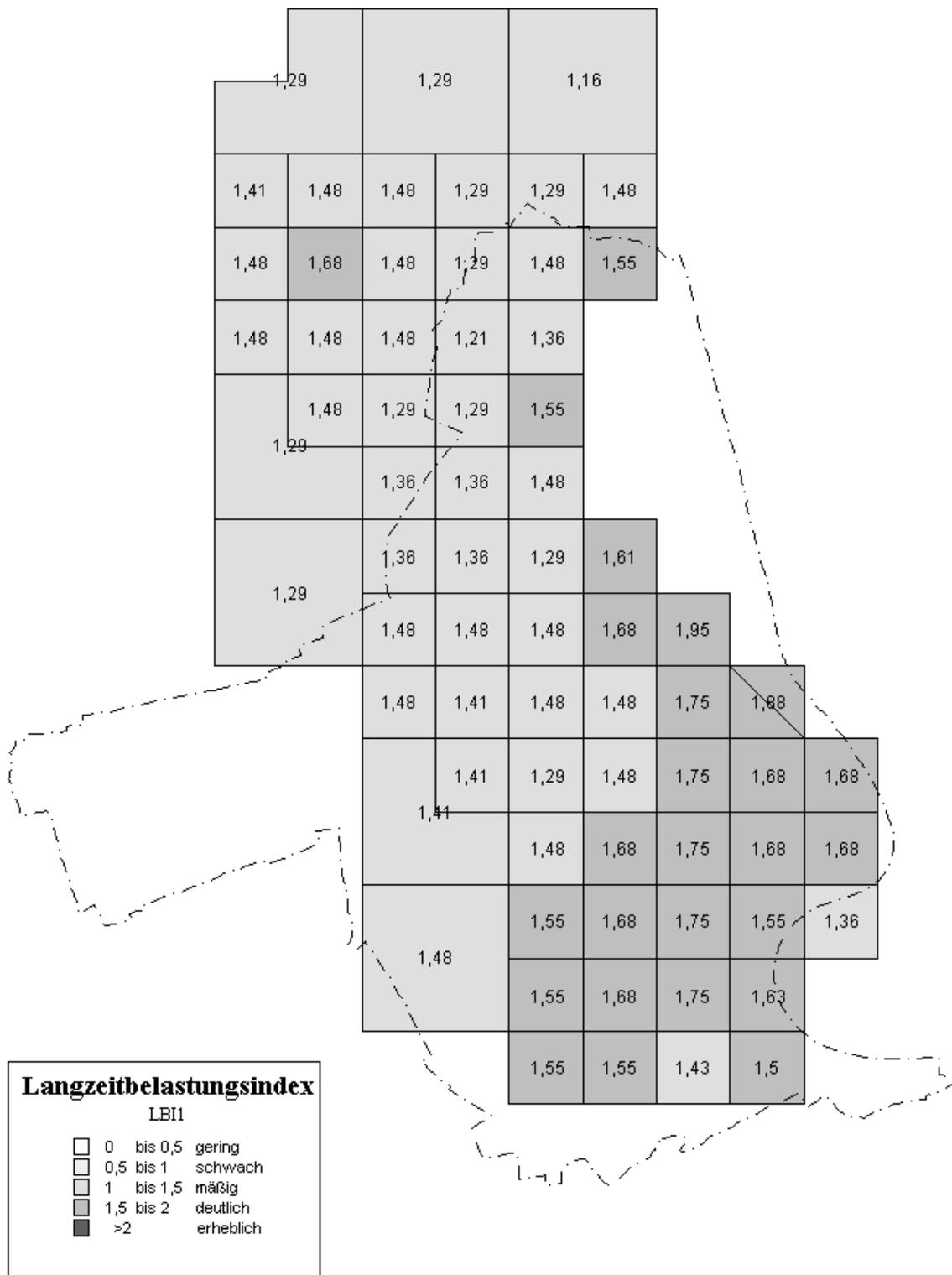
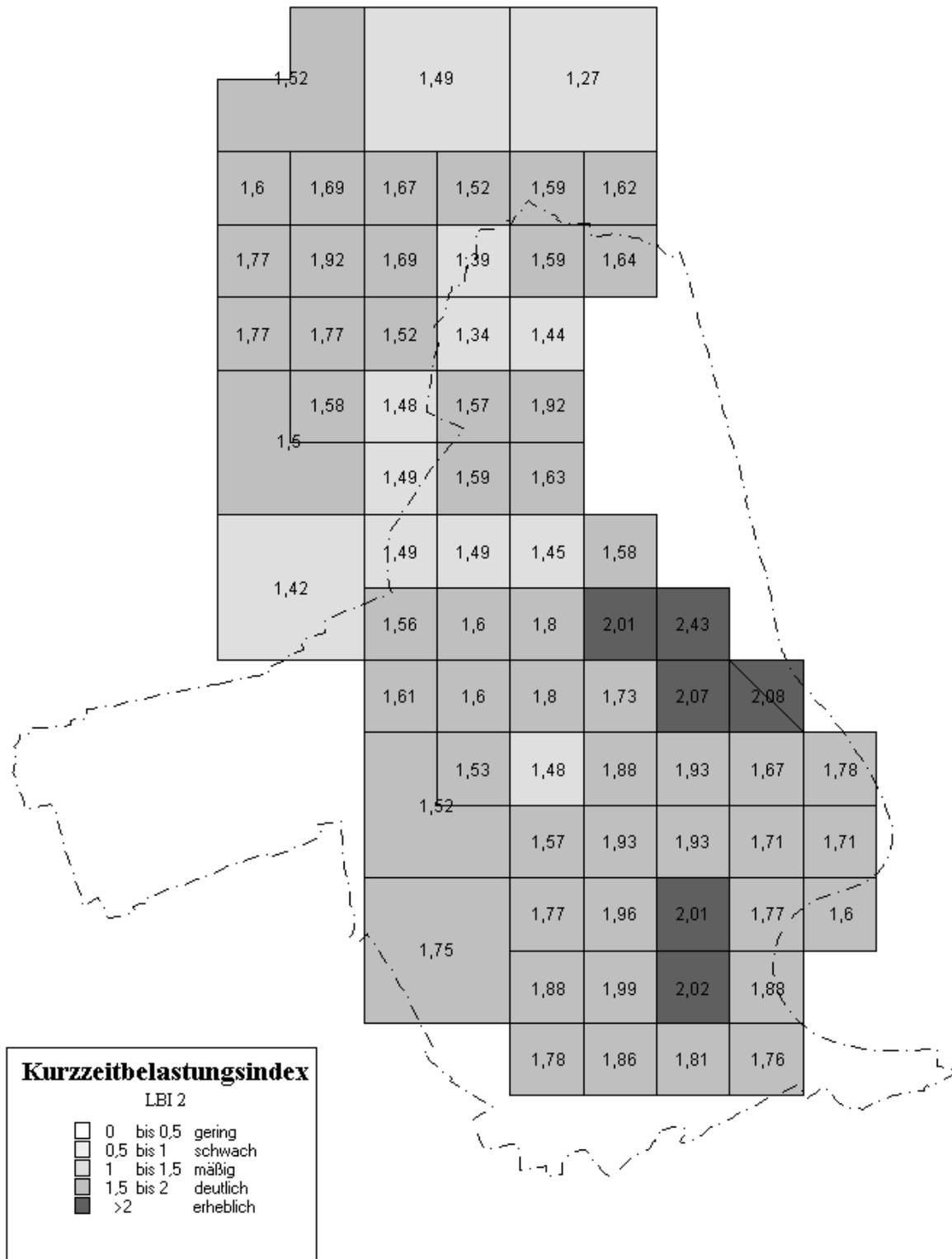


Fig. 29: Kurzzeitbelastungsindex (LBI₂)



6. Synthetische Klimafunktionskarte und klimaökologisches Gesamtkonzept

Die Charakterisierung der klimahygienischen Verhältnisse erfolgt auf Basis der in den Themenkarten dargestellten einzelnen Parameter (Temperatur, Wind) und Komplexgrößen (Durchlüftung, Bioklima). Die lufthygienischen Verhältnisse lassen sich anhand des Luftreinhalteplans sowie der Informationen über die Immissionsverhältnisse und auf der Basis des Grobscreenings für die kfz-bedingten Immissionen ableiten. Die klima- und lufthygienischen Verhältnisse lassen sich zu Aussagen über die klimaökologischen Bedingungen in einer Synthetischen Klimafunktionskarte aggregieren.

Im Hinblick auf eine klimaökologische Bewertung werden die Flächen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein in Freiflächen und Siedlungsflächen differenziert; die Differenzierung erfolgt nach dem Grad der Versiegelung (<10%=Freifläche).

Die Freiflächen lassen sich hinsichtlich ihrer klimaökologischen Bedeutung in drei unterschiedliche Kategorien (vgl. Kap. 6.1) differenzieren:

- ▲ Flächen mit hoher klimaökologischer Bedeutung
- ▲ Flächen mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung
- ▲ Flächen mit geringer klimaökologischer Bedeutung

Die Siedlungsflächen werden entsprechend unterschieden in:

- ▼ Gebiete mit sehr hoher klimaökologischer Belastung
- ▼ Gebiete mit hoher klimaökologischer Belastung
- ▼ Gebiete mit geringer bis mittlerer klimaökologischer Belastung

6.1 Freiflächen / Ausgleichsflächen

Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass sich im Bereich der un bebauten Freiflächen Kalt- und/oder Frischluft bildet und/oder Kaltluft über diese geleitet wird. Die Flächen erfüllen die Funktion von Ausgleichsflächen, da sie zur Verminderung der mehr oder weniger hohen klimaökologischen Belastung im Bereich der Siedlungsflächen / Wirkungsräume beitragen.

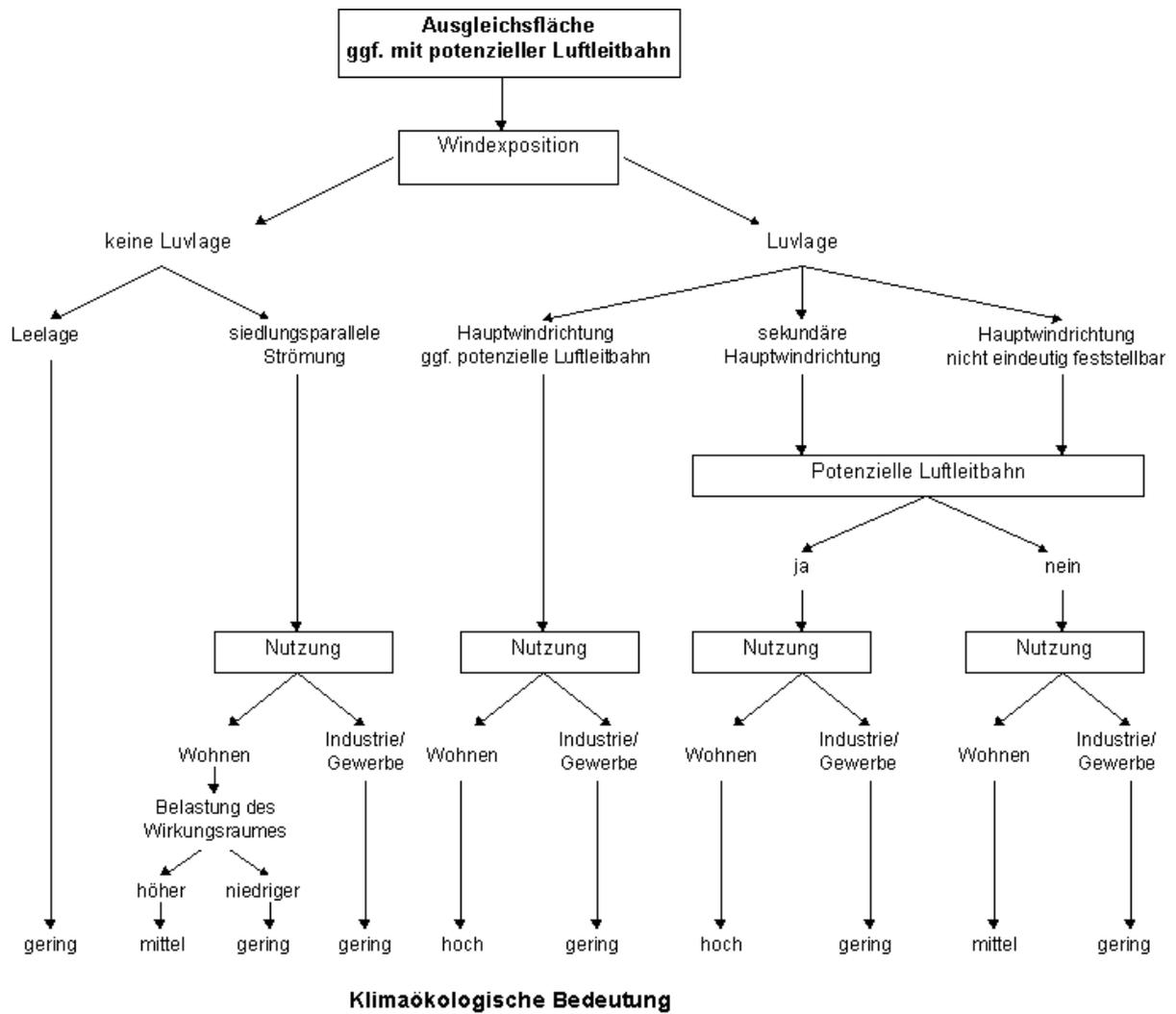
Die Kaltluftproduktivität der zu beurteilenden Freiflächen ist aufgrund der äußerst geringen Reliefenergie unabhängig von den Geländebeziehungen zu bewerten. In erster Linie sind die flächenhafte Ausdehnung der jeweiligen Fläche und die Art der Landnutzung heranzuziehen; theoretisch ließe sich somit die flächennutzungsspezifische Kaltluftproduktivität (z.B. HERGERT et al. 1993, KING 1973) jeder einzelnen Fläche aufgrund der Flächengröße ermitteln. Eine Berechnung der Kaltluftproduktionsrate und ihrer Ausgleichsleistung ist jedoch nicht zweckmäßig, da die Beurteilung der Freiflächen aus der ganzheitlichen Betrachtung resultiert und somit nicht sinnvoll in ein klimaökologisches Gesamtkonzept eingepasst werden kann. Wald-, Acker- und Wiesenflächen werden im Folgenden zumindest für die Durchlüftung aus heuristischen Gründen als klimaökologisch gleichwertig angesehen.

Flächen mit Ausgleichsfunktionen werden in ihrer Größe so bestimmt, dass sie alleine oder mit angrenzenden Flächen des Ausgleichsraumes eine klimaökologische Ausgleichsleistung hervorrufen und ggf. auch als Luftleitbahnen zu fungieren in der Lage sind.

Für eine klimaökologische Bewertung der Freiflächen mit dominierender Ausgleichsleistung werden folgende – primär klimahygienische – Kriterien herangezogen (vgl. Fig. 30, S. 62):

Als klimaökologisch relevant erweisen sich im Raum Ludwigshafen am Rhein die bei autochthonen Wetterlagen entstehenden nächtlichen Windsysteme. Vor allem die **Windexposition** ist von großer Bedeutung, da die nächtlichen Strömungen den belasteten Siedlungsraum mit Kalt- und/oder Frischluft versorgen und so zu einem Abbau der bioklimatischen Belastung beitragen können. Die dominierende nächtliche Windrichtung (*Hauptwindrichtung*) während sommerlicher Strahlungswetterlagen im Stadtgebiet ist Nordwest bis Nord, in den südlich gelegenen Stadtteilen können auch südliche bis südöstliche Winde auftreten. Flächen, die sich gegenüber diesen Windrichtungen im Luv von Ortsteilen befinden, werden weiter nach der Hauptwindrichtung, dem Vorhandensein **potenzieller Luftleitbahnen** und der Art der **Nutzung** (Wohnen ↔ Industrie/Gewerbe) differenziert und hinsichtlich ihrer klimaökologischen Bedeutung eingestuft. Ausgleichsflächen, die keine Luvlage aufweisen, können dagegen nur eine geringe bis mittlere klimaökologische Bedeutung erlangen. Bei siedlungsparalleler Strömung und bei Nutzung Wohnen wird der Grad der **Belastung des Wirkungsraumes** miteinbezogen.

Fig. 30: Entscheidungsleiter zur Ermittlung der klimaökologischen Bedeutung von Freiflächen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein



Freiflächen werden unabhängig von ihrer Ausgleichsleistung als "Fläche mit hoher klima-ökologischer Bedeutung" ausgewiesen, wenn sie alleine durch ihr Vorhandensein die Entstehung von Siedlungsbändern vermeiden und somit zur klima- und lufthygienischen Entlastung beitragen können; in der Synthetischen Klimafunktionskarte werden diese Flächen daher als "Flächen mit dominierender Funktion als Abstandsfläche" ausgewiesen.

Wirksamkeit der Ausgleichsleistung

Die Wirksamkeit der Ausgleichsleistung wird – unter Vernachlässigung der Kaltluftproduktivität – neben der Windexposition durch die Oberflächenrauigkeit modifiziert. Die klimaökologische Bedeutung einer Freifläche steigt in dem Maße, wie die Oberflächenrauigkeit abnimmt. Da die relevanten Kalt- und Frischluftströmungen in der Regel nur geringe Mächtigkeiten aufweisen, muss eine möglichst hohe Strömungsgeschwindigkeit erreicht werden, um eine ausreichende Eindringtiefe in bebauten Gelände zu gewährleisten. In dieser Beziehung sind Waldflächen gegenüber Acker- und Wiesenflächen ungünstiger, Wasserflächen aufgrund ihrer extrem niedrigen Oberflächenrauigkeit vergleichsweise günstiger.

So wird z.B. die Austauschleistung zwischen dem Maudacher Bruch und den angrenzenden Wirkungsräumen (Stadtteile Maudach und Gartenfeld-Hochfeld) durch die hohe Oberflächenrauigkeit des Waldes herabgesetzt und anstelle der aufgrund der Windexposition (Luvlage (Hauptwindrichtung)) ursprünglich hohen Ausgleichsleistung als mittlere Ausgleichsleistung bewertet. Einen ähnlichen Einfluss üben die nordwestlich von Friesenheim gelegenen Kleingartenanlagen auf die Ausgleichsleistung der Roßlache (Freifläche 5) aus.

6.2 Siedlungsflächen / Wirkungsräume

Der Grad der klimaökologischen Belastung erfolgt im Wesentlichen in Anlehnung an die Klimathemenkarte Bioklima. Der Raum der City ist als klimaökologisch sehr hoch belastet, der der Bereiche der Stadt als hoch belastet und der Bereich des Stadtrandes und der Gartenstadt als mittel bis gering belastet ausgewiesen. Industrie- und Gewerbegebiete werden aufgrund der differenzierten klimaökologischen Belastungen in der Synthetischen Klimafunktionskarte als separate Bereiche ausgewiesen.

Ziel der Planung muss sein, eine weitere Belastung des Wirkungsraumes zu vermeiden und durch Maßnahmen der Entsiegelung im weitesten Sinne (z.B. Ausdehnung bestehender Grünflächen, Dach- und Fassadenbegrünung) zu verbessern; vor allem Gebiete mit sehr hoher klimaökologischer Belastung sind als Klimasanierungsgebiete zu verstehen.

Als wichtig werden die Räume erachtet, die bereits in der Klimathemenkarte Durchlüftung und Oberflächenrauigkeit als "potenzielle Luftleitbahnen" ausgewiesen wurden. Es sind jene Bereiche, die eine geringe Oberflächenrauigkeit aufweisen und damit in der Lage sind, klimaökologisch relevante Strömungen aus dem Freiland in bebautes Gebiet zu leiten bzw. diese sogar in bebautem Gebiet als thermische Ausgleichsströmungen entstehen zu lassen. Potenzielle Luftleitbahnen sind im Hinblick auf ihre aktuelle Funktion zu überprüfen und ggf. freizuhalten.

6.3 Spezifische klimaökologische Wirkungen

Neben der allgemeinen Bewertung der Frei- und Siedlungsflächen werden in der Synthetischen Klimafunktionskarte "spezifische klimaökologische Wirkungen" ausgewiesen.

- *Grünanlagen in Siedlungsflächen:*

Die innerhalb des Siedlungsgebietes liegenden Grünflächen weisen eine "mikroklimatisch positive Wirkung" auf, die in Abhängigkeit von der Flächengröße und der Lage im Wirkungsraum bestimmt wird.

Fig. 31: Klimaökologische Wirkung innerstädtischer Grünflächen in Ludwigshafen am Rhein in Abhängigkeit von Lage und Flächengröße

Wirkungsraum	Flächengröße		
	> 1 - 3 ha	> 3 - 5 ha	> 5 ha
City	hoch	hoch	hoch
Stadt	mittel	hoch	hoch
Stadtrand / Gartenstadt	gering	mittel	hoch

Insbesondere die in ihrer Wirkung als hoch bewerteten Flächen sind in ihrer Funktion und Größe zu erhalten und ggf. zu erweitern.

- *Filterfunktion des Waldes:*

Größere, zusammenhängende Waldflächen, wie z.B. am Südrand des Maudacher Bruchs, werden in der Synthetischen Klimafunktionskarte aufgrund der aufgrund ihrer Filterfunktion für Stäube als Räume mit „spezifischer klimaökologischer Wirkung“ ausgewiesen.

- *Verkehrsbelastung:*

Den Frei- und Siedlungsflächen lässt sich gleichermaßen die Beurteilung der kfz-bedingten lufthygienischen Verhältnisse zuordnen:

- *immissionsseitig:*

Verkehrsbedingte Belastungsschwerpunkte („hot spots“) nach 23. BImSchV für das Jahr 2000 werden in der „Synthetischen Klimafunktionskarte“ durch Piktogramme gekennzeichnet.

- *emissionsseitig:*

In Abhängigkeit vom durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommen (DTV) werden Straßen mit hoher (> 10.000 - 30.000 Kfz / 24h), sehr hoher (>30.000 - 50.000 Kfz / 24h) und extrem hoher (> 50.000 Kfz / 24h) Verkehrs- und damit potenzieller Schadstoffbelastung ausgewiesen (vgl. NVS (Hrsg.) 1992). Hierdurch werden auch solche Bereiche erfasst, die durch die 23. BImSchV nicht bewertet werden dürfen (z.B. Bundesautobahnen) bzw. mit dem Screening-Modell STREET (in der verwendeten Version 1.0) nicht bewertet werden können (z.B. außerörtliche Hauptverkehrsstraßen, Hochstraßen).

6.4 Bewertung der Frei- und Siedlungsflächen

Im Folgenden werden die Frei- und Siedlungsflächen (vgl. Fig. 32, S. 66) tabellarisch aufgeführt und anhand der o.g. Kriterien bewertet.

Es ist hervorzuheben, dass die Daten- und Beurteilungsgrundlagen nicht für alle Flächen gleich sind. Deshalb ist über die allgemeine Bewertung eine Angabe bezüglich der "Sicherheit der Bewertung" beigefügt. [...].

Fig. 32: Lage und Kennzeichnung der Freiflächen *im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein*

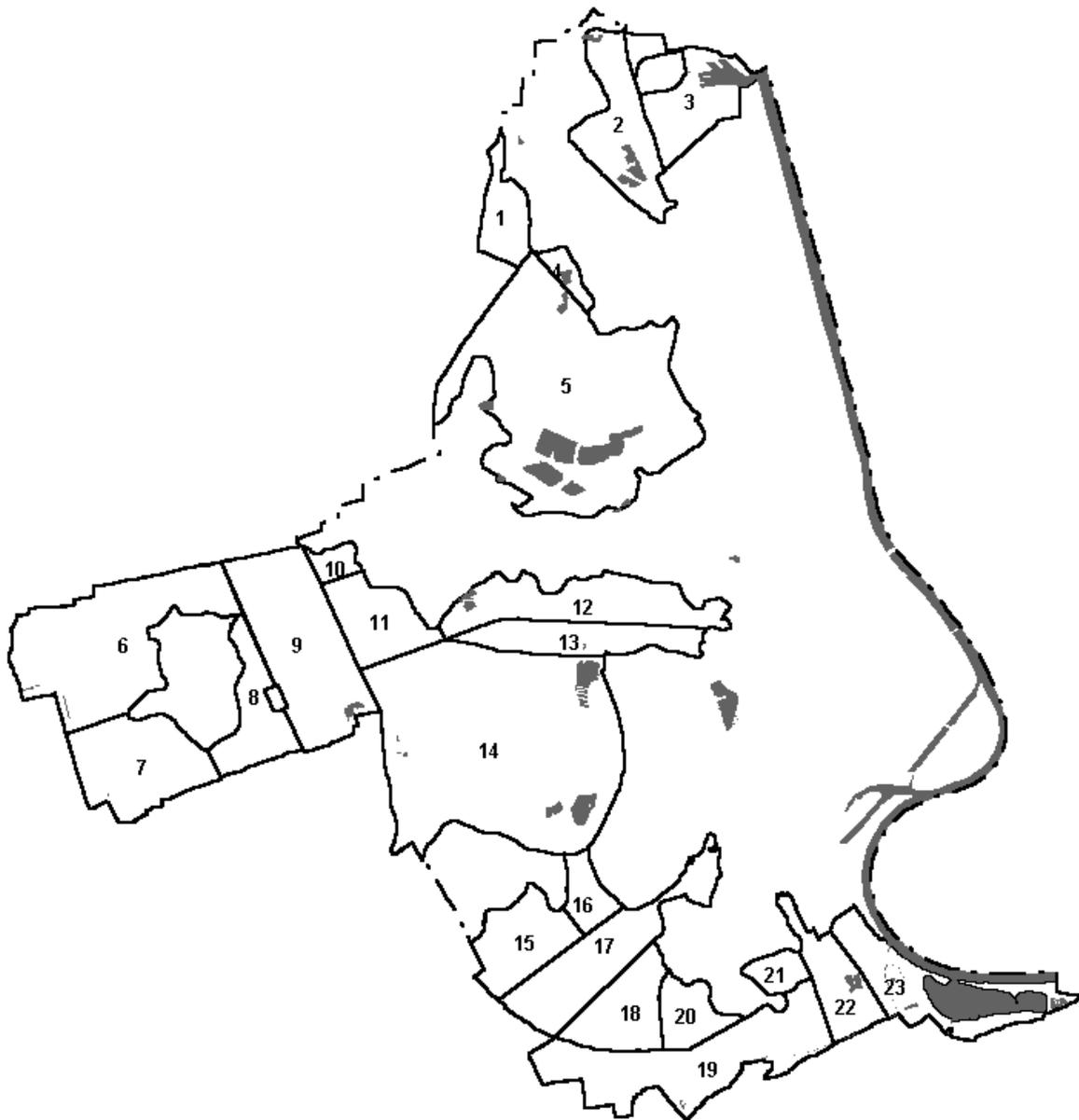


Fig. 33: Null-Steckbrief zur Kennzeichnung der Freiflächen im Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein

Nummer und Name der Fläche (Größe)	
Gutachten/Untersuchungen	
Funktion	
Windexposition	
Nutzung des Wirkungsraumes	
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung: Kurzzeitbelastung Langzeitbelastung Verkehrsbelastung	
Klimaökologische Bewertung	
Sicherheit der Bewertung	
Planungsstand	
Nutzungsempfehlungen	

Erläuterungen:

- **Gutachten/Untersuchungen:** Auflistung berücksichtigter klimatologisch relevanter Grundlagen in chronologischer Reihenfolge.
- **Funktion:** Angabe der dominierenden Funktion der Fläche als Ausgleichsfläche oder als Abstandsfläche.
- **Windexposition:** Lagebeziehung der Freifläche zum Siedlungsraum in Abhängigkeit der lokalen Windverhältnisse während sommerlicher Hochdruckwetterlagen (Luvlage (Hauptwindrichtung), Luvlage (sekundäre Hauptwindrichtung)), siedlungsparallele Strömung) (vgl. Figur 30, S. 62). Wird eine Freifläche als Abstandsfläche ausgewiesen, entfallen die Angaben zur "Windexposition".
- **Nutzung des Wirkungsraumes:** Angaben bzgl. der Nutzung des Wirkungsraumes erfolgen nur für Ausgleichsflächen. Wird eine Fläche als Abstandsfläche ausgewiesen, sind Angaben über die "Nutzung des Wirkungsraumes" nicht erforderlich.

-
- **Belastung des Wirkungsraumes:** Angaben bzgl der Belastung des Wirkungsraumes erfolgen nur bei "siedlungsparalleler Strömung" (vgl. Windexposition).
 - **Lufthygienische Bewertung:** Die lufthygienische Bewertung erfolgt getrennt für die Langzeit- und die Kurzzeitbelastung auf der Grundlage des Luftreinhalteplans Ludwigshafen - Frankenthal (MfUG (Hrsg.) 1989); die Verkehrsbelastung wird auf der Grundlage des Gesamtverkehrsplans/Verkehrsentwicklungsplans Ludwigshafen (SCHAECHTERLE u. SIEBRAND 1993) in Anlehnung an den NVS (Hrsg.) (1992) bewertet. (vgl. Abb. Fig. 28 und Fig. 29 S. 58f)
 - **Klimaökologische Bewertung:** Die klimaökologische Bewertung erfolgt für Ausgleichsflächen mit entsprechenden Lagebeziehungen zu Siedlungsräumen in Anlehnung an die Entscheidungsleiter auf Seite 60; ergänzend wird für Ausgleichsflächen eine "Ausgleichsleistung" angegeben. Abstandsflächen werden grundsätzlich als "Flächen mit hoher klimaökologischer Bedeutung" bewertet.
 - **Sicherheit der Bewertung:** Die Daten- und Beurteilungsgrundlagen sind nicht für alle Flächen gleich. Deshalb ist zusätzlich zur allgemeinen Bewertung eine Angabe bezüglich der "Sicherheit der Bewertung" beigefügt.
 - **Planungsstand:** Die Aussagen zu den geplanten Bauflächen beziehen sich auf Angaben der Stadtverwaltung Ludwigshafen aus den Jahren 1997 und 1998.
 - **Nutzungsempfehlungen:** Nutzungsempfehlungen werden nur für die genannten Planungsabsichten ausgesprochen; sie beziehen sich dementsprechend nicht auf die gesamte Ausgleichsfläche. Für Abstandsflächen wird empfohlen – sofern durch vorliegende Gutachten/Untersuchungen keine Bewertungsgrundlagen existieren – diese von jeglicher Bebauung freizuhalten. Insgesamt kann eine Veränderung der Planflächen in Größe und Eigenschaften auch eine Änderung der Nutzungsempfehlungen zur Folge haben.

Freifläche 1: Südwestlich von Edigheim (ca. 60 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	
Funktion	Abstandsfläche (zwischen Edigheim und Frankenthal)
Windexposition	
Nutzung des Wirkungsraumes	
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	mäßig
Langzeitbelastung	<i>mäßig</i>
Verkehrsbelastung	unerheblich
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	
Nutzungsempfehlungen	von jeglicher Bebauung freizuhalten

Freifläche 2: Nordöstlich von Edigheim und Oppau (ca. 135 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	keine
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	siedlungsparelle Strömung
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	höher
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich bis <i>mäßig</i>
Langzeitbelastung	<i>mäßig</i>
Verkehrsbelastung	sehr hoch
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	mittel
Planungsstand	<i>Gewerbliche Baufläche Edigheimer Wiese (ca. 6,5 ha)</i>
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche unter Auflagen möglich, Vermeidung von Emissionen, Abstandsflächen zu stark befahrener L 523

Freifläche 3: Nördlich des BASF-Geländes (ca. 120 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	keine
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Industrie
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	deutlich
Verkehrsbelastung	unerheblich
Klimaökologische Bewertung	geringe klimaökologische Bedeutung (hohe Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	mittel
Planungsstand	
Nutzungsempfehlungen	

Freifläche 4: Westlich von Oppau (ca. 22 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	keine
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	siedlungsparallele Strömung
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	höher
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	unerheblich
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	mittel
Planungsstand	<i>Wohnbaufläche Oppau West (ca. 2,0 ha)</i> <i>Gemischte Baufläche Oppau West, (ca. 3,1 ha)</i>
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Flächen unter Auflagen möglich

Freifläche 5: Roßlache (ca. 571 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	DWD 1990, DWD 1989, DWD 1987, DWD 1983, DWD 1982
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen, z. T. Gewerbe/Industrie
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	mäßig bis deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	im Randbereich zur BASF hin sehr hoch
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung (überwiegend hohe bis mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Wohnbaufläche Im Zinkig (ca. 3,2 ha) [...]
Nutzungsempfehlungen	von jeglicher Bebauung über den derzeitigen Planungsstand hinaus freizuhalten

Freifläche 6: Nordwestlich von Ruchheim (ca. 293 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	keine Angabe
Langzeitbelastung	keine Angabe
Verkehrsbelastung	sehr hoch belastet (BAB 61); hoch belastet (BAB 650)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung (hohe Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	mittel
Planungsstand	Gewerbliche Baufläche Ruchheim nördlich A 650 (ca. 31 ha) [...]
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche unter Auflagen möglich (vgl. ALEXANDER 1999)

Freifläche 7: Südwestlich von Ruchheim (ca. 157 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	keine
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	siedlungsparelle Strömung
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	niedriger
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	keine Angabe
Langzeitbelastung	keine Angabe
Verkehrsbelastung	sehr hoch (BAB 61)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit <i>geringer</i> klimaökologischer Bedeutung (<i>geringe</i> Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	mittel
Planungsstand	Wohnbaufläche Ruchheim-Südwest (ca. 11 ha)
Nutzungsempfehlungen	<i>Bebauung der o.g. Fläche möglich, Vermeidung von Emissionen</i>

Freifläche 8: Südöstlich von Ruchheim (ca. 90 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	keine
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	<i>Luvlage (sekundäre Hauptwindrichtung)</i>
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen, Gehöfte, Industrie/Gewerbe
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	keine Angabe
Langzeitbelastung	keine Angabe
Verkehrsbelastung	gering; sehr hoch im Bereich der BAB 650
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	mittel
Planungsstand	Wohnbauflächen Ruchheim-Süd und -Ost (ca. 22,3 ha) [...]
Nutzungsempfehlungen	<i>Bebauung der o.g. Flächen möglich, keine abriegelnde Wirkung der Bebauung, Vermeidung von Emissionen</i>

Freifläche 9: Fläche zwischen Ruchheim und Oggersheim (ca. 240 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	
Funktion	Abstandsfläche
Windexposition	
Nutzung des Wirkungsraumes	
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	keine Angaben
Langzeitbelastung	keine Angaben
Verkehrsbelastung	sehr hoch (BAB 650)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	
Nutzungsempfehlungen	von jeglicher Bebauung freizuhalten

Freifläche 10: Westlich von Oggersheim (ca. 20 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1997 _a , 1997 _b ; SEITZ 1985
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	keine Angaben
Langzeitbelastung	keine Angaben
Verkehrsbelastung	sehr hoch (B 9)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung (überwiegend hohe Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	<i>hoch</i>
Planungsstand	Westlich der B 9 (35,5 ha)
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche unter Auflagen möglich (vgl. ALEXANDER 1997 _a , 1997 _b)

Freifläche 11: Südwestlich von Oggersheim (ca. 95 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1997 _a , 1997 _b , SEITZ 1985
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	siedlungsparallele Strömung
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen, Sonderbau/Gemeinbedarf
Belastung des Wirkungsraumes	höher
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	sehr hoch (B 9); extrem hoch (BAB 650)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Westlich der B 9 (35,5 ha) [...]
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche unter Auflagen möglich (vgl. ALEXANDER 1997 _a , 1997 _b)

Freifläche 12: Südlich der Mannheimer Straße (ca. 161 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999, DWD 1991, ZIMMERMANN 1982, FEZER u. SEITZ 1977
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (sekundäre Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Gewerbe/Industrie, Wohnen, Sonderbau/Gemeinbedarf
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	hoch; extrem hoch (BAB 650)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Gewerbliche Baufläche Entwicklungsachse West Südlich Stadtbahn (ca. 19 ha); Gewerbliche Baufläche Engelsmann, Erweiterung (ca. 1,8 ha); Wohnbaufläche Bayreuther Straße (ca. 21,8 ha); Gemischte Baufläche Entwicklungsachse West nördlich Stadtbahn (ca. 1,5 ha)
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Flächen unter Auflagen möglich, Minimierung der Emissionen, Energiekonzept (vgl. ALEXANDER 1999)

Freifläche 13: Nördlich der BAB 650 (ca. 102 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999, DWD 1991, ZIMMERMANN 1982, FEZER u. SEITZ 1977
Funktion	Abstandsfläche
Windexposition	
Nutzung des Wirkungsraumes	
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	mäßig bis deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	extrem hoch (BAB 650)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung
Sicherheit der Bewertung	<i>hoch</i>
Planungsstand	[...] Wohnbaufläche Bayreuther Straße (ca. 21,8 ha) Gewerbliche Baufläche Entwicklungsachse West Südlich Stadtbahn (ca. 19 ha)
Nutzungsempfehlungen	von jeglicher Bebauung freizuhalten

Freifläche 14: Maudacher Bruch (ca. 639 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	mäßig bis deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	gering (sehr hoch (B 9); extrem hoch (BAB 650))
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung (mittlere bis hohe Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	<i>hoch</i>
Planungsstand	Wohnbaufläche Maudach Nordwest (ca. 8,5 ha) Wohnbaufläche Speyerer Straße (ca. 8,7 ha)
Nutzungsempfehlungen	Bebauung Maudach Nordwest unter Auflagen möglich (vgl. ALEXANDER 1999), darüber hinaus von jeglicher Bebauung freizuhalten

Freifläche 15: Südlich von Maudach (ca. 100 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (sekundäre Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen, Gewerbe/Industrie
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	hoch
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Gewerbliche Baufläche Maudach-Süd (ca. 13 ha) [...]
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche unter Auflagen möglich (vgl. ALEXANDER 1999), Gebäudehöhe max. 10 m, keine ostwärtige Erweiterung, Abstandsfläche zur K 13

Freifläche 16: Zwischen Maudach und Hochfeld (ca. 40 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Abstandsfläche
Windexposition	
Nutzung des Wirkungsraumes	
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	deutlich
Verkehrsbelastung	gering (im nördlichen und östlichen Randbereich hoch)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	
Nutzungsempfehlungen	von jeglicher Bebauung freizuhalten

Freifläche 17: Zwischen Hochfeld und Rheingönheim (ca. 162 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Ausgleichsfläche; Abstandsfläche zwischen Hochfeld und Rheingönheim; Durchlüftungsbahn
Windexposition	siedlungsparelle Strömung im Südwesten Luvlage (Hauptwindrichtung) zwischen Hochfeld und Rheingönheim
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen, Gewerbe/Industrie
Belastung des Wirkungsraumes	höher
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	deutlich
Verkehrsbelastung	hoch (K 7)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung, (<i>Fläche mit Funktion als Durchlüftungsluftbahn</i>)
Sicherheit der Bewertung	<i>hoch</i>
Planungsstand	<i>Sonderbaufläche Erweiterung Lampert (großflächiger EH) (ca. 6 ha); Untersuchungsfläche für die langfristige Siedlungsentwicklung Rheingönheim (ca. 22 ha)</i>
Nutzungsempfehlungen	<i>nordwestwärtige Ausdehnung der Untersuchungsfläche begrenzen (vgl. ALEXANDER1999); von jeglicher Bebauung über den derzeitigen Planungsstand hinaus freizuhalten, um Beeinträchtigungen der Fläche in ihrer Funktion zu vermeiden</i>

Anmerkung: Von einer Aufteilung in eine südwestliche Teilfläche mit dominierender Funktion als Ausgleichsfläche und eine nordöstliche Teilfläche mit dominierender Funktion als Abstandsfläche ist aus klimatologischer Sicht abzusehen, da die Fläche nur in ihrer Gesamtheit die Funktion einer Durchlüftungsbahn erfüllt.

Freifläche 18: Südwestlich von Rheingönheim (ca. 97 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	siedlungsparelle Strömung
Nutzung des Wirkungsraumes	Industrie/Gewerbe
Belastung des Wirkungsraumes	niedriger
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	deutlich
Verkehrsbelastung	sehr hoch
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit geringer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Untersuchungsfläche für die langfristige Siedlungsentwicklung Rheingönheim (ca. 22 ha)
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche unter Vermeidung von Riegel-effekten (lockere Bebauung) möglich (vgl. ALEXANDER 1999)

Freifläche 19: Nördlich von Limburgerhof / Neuhofen Nord (ca. 234 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Abstandsfläche
Windexposition	
Nutzung des Wirkungsraumes	
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	keine Angaben
Langzeitbelastung	keine Angaben
Verkehrsbelastung	hoch bis sehr hoch
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Gewerbliche Baufläche Im Oberfeld (ca. 20,8 ha) Wohnbaufläche Im Götzenstück (ca. 9 ha) [...]
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Flächen unter Auflagen möglich, Abstandsfläche von 130 m, Begrenzung der Emissionen; von jeglicher Bebauung über den derzeitigen Planungsstand hinaus freizuhalten (vgl. ALEXANDER 1999)

Freifläche 20: Südlich von Rheingönheim (ca. 56 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (sekundäre Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	deutlich
Verkehrsbelastung	hoch (B 44)
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Wohnbaufläche Obere Weide (ca. 6,6 ha)
Nutzungsempfehlungen	Bebauung unter Auflagen möglich; Vermeidung von Emissionen, über den aktuellen Planungsstand von Bebauung freizuhalten

Freifläche 21: Im Neubruch (ca. 29 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	DWD 1994
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	mäßig
Verkehrsbelastung	unerheblich
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit mittlerer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	hoch
Planungsstand	Wohnbaufläche Im Neubruch
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche unter Auflagen möglich (vgl. DWD 1994)

Anmerkung: Trotz Luvlage (Hauptwindrichtung) ist das Eindringvermögen der Kaltluft außerordentlich gering, weshalb der Fläche nur eine mittlere klimaökologische Bedeutung zukommt.

Freifläche 22: Südöstlich von Rheingönheim (ca. 84 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	ALEXANDER 1999, DWD 1994
Funktion	Ausgleichsfläche (<i>Frischlufbahn</i>)
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Gewerbe/Industrie, Wohnen
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	deutlich
Verkehrsbelastung	hoch
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit hoher klimaökologischer Bedeutung (hohe Ausgleichsleistung), (<i>Luftleitbahn mit Funktion als Frischlufbahn</i>)
Sicherheit der Bewertung	<i>hoch</i>
Planungsstand	Gewerbliche Baufläche Im Brückweggraben (ca. 23,4 ha)
Nutzungsempfehlungen	<i>Bebauung der o.g. Fläche unter Auflagen möglich, westliche Bebauungsgrenze des Plangebietes um 100 m ostwärts verlagern, Emissionen im Plangebiet auf ein Minimum reduzieren (vgl. ALEXANDER 1999)</i>

Freifläche 23: Südöstlichster Bereich des Stadtgebietes (ca. 126 ha)	
Gutachten/Untersuchungen	
Funktion	Ausgleichsfläche
Windexposition	Luvlage (Hauptwindrichtung)
Nutzung des Wirkungsraumes	Gewerbe/Industrie
Belastung des Wirkungsraumes	
Lufthygienische Bewertung:	
Kurzzeitbelastung	deutlich
Langzeitbelastung	deutlich
Verkehrsbelastung	hoch
Klimaökologische Bewertung	Fläche mit geringer klimaökologischer Bedeutung (mittlere Ausgleichsleistung)
Sicherheit der Bewertung	<i>mittel</i>
Planungsstand	Gewerbliche Baufläche Im Brückweggraben (ca. 23,4 ha)
Nutzungsempfehlungen	Bebauung der o.g. Fläche möglich

7. Stadtteilbezogene Bewertung

Fig. 34: Stadtteile und Stadtteilgrenzen in Ludwigshafen am Rhein



- **Stadtteile Pfingstweide und Edigheim**

Das Bioklima der beiden benachbarten Stadtteile ist gekennzeichnet durch ein Überwiegen des Stadtrandklimas, lokal tritt in höher versiegelten Bereichen - insbesondere im Stadtteil Edigheim - ein Stadtklima auf. Klimaökologische Ausgleichsleistungen sind aus nördlichen Richtungen zu erwarten, wobei als Ausgleichsflächen jedoch Flächen außerhalb des Stadtgebietes in Frage kommen. Im Osten von Edigheim verläuft eine potenzielle Luftleitbahn parallel zur B 9 südsüdostwärts (vgl. S. 28). Entsprechend dem sehr hohen Verkehrsaufkommen sind zumindest lokal verkehrsbedingte Luftschadstoffimmissionen nicht

auszuschließen. Die Luftbelastung ist hinsichtlich der Kurzzeit- als auch der Langzeitbelastung mäßig.

Empfehlungen:

Überprüfung und ggf. Erhaltung der potenziellen Luftleitbahn. Überprüfung der lokal an der B 9 auftretenden verkehrsbedingten Immissionen (auch im Hinblick auf die Funktion der Luftleitbahn als Frischluftbahn).

- **Stadtteil Oppau**

Der Stadtteils Oppau ist gekennzeichnet durch ein Stadtrandklima bzw. Stadtklima in den höher versiegelten Bereichen. Inwieweit die ausgewiesene potenzielle Luftleitbahn im Nordosten (vgl. S. 28) für den Stadtteil Oppau von Bedeutung ist, kann nicht abschließend beurteilt werden. Die am östlichen Rand des Stadtteils gelegenen innerstädtischen Grün- und Freiflächen stellen unter immissionsökologischen Gesichtspunkten wichtige Abstandsflächen dar. Die Luftbelastung ist hinsichtlich der Kurzzeitbelastung als überwiegend deutlich, die Langzeitbelastung als mäßig zu beurteilen. Aufgrund der sehr hohen Verkehrsbelastung auf der L 523 können lokal auftretende verkehrsbedingte Luftschadstoffimmissionen nicht ausgeschlossen werden.

Empfehlungen:

Erhaltung der vorhandenen Grünflächen insbesondere am Ostrand des Stadtteils. Überprüfung der lokal an der L 523 auftretenden verkehrsbedingten Immissionen.

- **Stadtteil Friesenheim**

Das Bioklima des Stadtteils Friesenheim ist hauptsächlich durch ein Stadtklima gekennzeichnet. Klimaökologische Ausgleichsleistungen sind von den Freiflächen der Roßlache vor allem für die nordwestlichen Bereiche des Stadtteils bei entsprechender Windrichtung zu erwarten. Die Wirksamkeit der Ausgleichsleistung wird aber durch die Kleingartenanlagen herabgesetzt. Die innerstädtischen Grünflächen sind im Hinblick auf ihre mikroklimatische Bedeutung wichtig; sie vermeiden darüber hinaus das Zusammenwachsen der Wärmeinseln der Stadtteile Friesenheim und Nord/Hemshof. Die Luftbelastung ist bezüglich der Kurzzeitbelastung als deutlich bis erheblich und die Langzeitbelastung als deutlich einzustufen. Nach 23. BImSchV sind für die Brunck-, die Stern- und die

Leuschnerstraße Überschreitungen der Prüfkonzentrationen möglich. Für die Carl-Bosch-Straße/Brunckstr. werden Prüfwertüberschreitungen prognostiziert.

Empfehlungen:

Vermeidung weiterer Versiegelung in den Bereichen, die durch ein Stadtklima gekennzeichnet sind und Erhaltung der vorhandenen innerstädtischen Grünflächen. Screening der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei möglicher Prüfwertüberschreitung, Verminderung der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei prognostizierter Prüfwertüberschreitung.

- **Stadtteil Nord/Hemshof**

Das Bioklima des Stadtteils Nord/Hemshof ist hauptsächlich durch ein Stadtklima aber auch durch ein Cityklima gekennzeichnet. Klimaökologische Ausgleichsleistungen sind von den Freiflächen der Roßlache für den Stadtteil bei entsprechender Windrichtung allenfalls in deutlich abgeschwächter Form zu erwarten. Den innerstädtischen Grünflächen kommt aufgrund ihrer mikroklimatischen Wirksamkeit eine besondere Bedeutung zu, da sie zusätzlich ein Zusammenwachsen der Wärmeinseln der Stadtteile Nord und Friesenheim verhindern. Inwieweit über die Bahntrasse von Südsüdwesten (vgl. S. 29) herangeführte Strömungen als Ausgleichsströmungen für den Südrand des Stadtteils wirksam werden, ist nicht bekannt. Die Luftbelastung ist bezüglich der Kurzzeitbelastung als erheblich und die Langzeitbelastung als deutlich einzustufen. In der Leuschnerstraße, auf dem Goerdelerplatz und in der Bürgermeister-Grünzweig-Straße sind Überschreitungen der Prüfkonzentrationen nach 23. BImSchV möglich; für die Carl-Bosch-Straße werden Prüfwertüberschreitungen prognostiziert.

Empfehlungen:

Insbesondere der durch ein Cityklima charakterisierte Bereich stellt ein Klimasanierungsgebiet dar; hier sollten Maßnahmen zur Entsiegelung ergriffen und jede weitere Versiegelung sollte vermieden werden. Dach- und Fassadenbegrünungen können kleinklimatisch zu Verbesserungen führen. Innerstädtische Grünflächen sind zu erhalten. Screening der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei möglicher Prüfwertüberschreitung, Verminderung der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei prognostizierter Prüfwertüberschreitung.

- **Stadtteil Mitte**

Das Bioklima des Stadtteils Mitte ist hauptsächlich durch ein Cityklima gekennzeichnet. Klimaökologische Ausgleichsströmungen sind in geringem Maße nur für den Raum in rheinnaher Lage zu erwarten. Inwieweit über die Bahntrasse von Südsüdwesten herangeführte Strömungen als Ausgleichsströmungen für den Westrand des Stadtteils wirksam werden, ist nicht näher bekannt (vgl. S. 29). Die Luftbelastung ist bezüglich der Kurzzeitbelastung als deutlich bis erheblich, bezüglich der Langzeitbelastung als deutlich einzustufen. Überschreitungen der Prüfkonzentrationen nach der 23. BImSchV sind in der Heinigstraße, Wredesstraße sowie der Rheinufer-Straße möglich.

Empfehlungen:

Insbesondere der durch ein Cityklima charakterisierte Bereich ist ein Klimasanierungsgebiet; hier sollten Maßnahmen zur Entsiegelung ergriffen und jede weitere Versiegelung sollte vermieden werden. Dach- und Fassadenbegrünungen können kleinklimatisch zu Verbesserungen führen. Screening der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei möglicher Prüfwertüberschreitung.

- **Stadtteil West**

Das Bioklima des Stadtteils ist hauptsächlich durch ein Stadtrand- und Gartenstadtklima gekennzeichnet. Bedeutsam für die vergleichsweise günstigen thermischen Verhältnisse sind die vorhandenen Grünflächen und die klimaökologischen Ausgleichsströmungen, die aus Nordwesten über die Große Blies herangeführt werden (=Luftleitbahn). Am östlichen Bereich des Stadtteiles verläuft eine Bahntrasse, die ggf. als Luftleitbahn für Strömungen aus südsüdwestlichen Richtungen fungieren kann und daher als potenzielle Luftleitbahn ausgewiesen wurde (vgl. S. 29). Die großräumige Luftbelastung ist in Bezug auf die Kurzzeitbelastung als deutlich, bezüglich der Langzeitbelastung als mäßig bis deutlich zu bewerten. Prüfwertüberschreitungen nach der 23. BImSchV werden in der Valentin-Bauer- und in der Bruchwiesenstraße prognostiziert.

Empfehlungen:

Freihaltung der Luftleitbahn und Vermeidung von Emissionen insbesondere unter Berücksichtigung der Planungsempfehlungen für den Bereich der Entwicklungsachse West (vgl. ALEXANDER 1999). Erhaltung der Grünflächen. Überprüfung und Verminderung der kfz-bedingten Immissionen, insbesondere im Bereich der Luftleitbahn. Verminderung der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei prognostizierter Prüfwertüberschreitung.

- **Stadtteil Süd**

Der Stadtteil zeichnet sich durch differenzierte bioklimatische Verhältnisse aus, die von einem Cityklima im Norden bis zum Gartenstadtklima im Süden reichen. Klimaökologische Ausgleichsströmungen werden für die Räume in rheinnaher Lage wirksam. Als Ausgleichsflächen fungiert der in Mannheim liegende Waldpark. Die Luftbelastung ist bei der Kurzzeit- und der Langzeitbelastung deutlich. Überschreitungen der Prüfkonzentrationen nach der 23. BImSchV sind in der Saarlandstraße und in der Mundenheimer Straße möglich.

Empfehlungen:

Klimasanierungsgebiet in dem durch ein Cityklima ausgewiesenen Bereich. Hier sollten Maßnahmen zur Entsiegelung ergriffen und jede weitere Versiegelung vermieden werden. Dach- und Fassadenbegrünungen können dort kleinklimatisch zu Verbesserungen führen. Erhaltung der innerstädtischen Grünflächen. Screening der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei möglicher Prüfwertüberschreitung.

- **Stadtteil Mundenheim**

Das Bioklima des Stadtteils ist hauptsächlich durch ein Stadtrandklima gekennzeichnet, wobei in einigen Bereichen auch ein Stadtklima vorkommt. Bedeutsam für die thermischen Verhältnisse ist die Existenz einer von NW über die Große Blies verlaufenden Luftleitbahn (vgl. S. 30) und die innerstädtischen Grünflächen im Norden bzw. Nordwesten. Die Luftbelastung lässt sich bezüglich der Kurzzeitbelastung als deutlich bis erheblich, im Hinblick auf die Langzeitbelastung als deutlich charakterisieren. Überschreitungen der Prüfkonzentrationen nach der 23. BImSchV sind im Bereich der B 44, der Saarlandstraße und am Adler Damm möglich, an der Kreuzung zwischen B 44 und Kaiser-Wörth-Damm werden Prüfwertüberschreitungen prognostiziert.

Empfehlungen:

In den Bereichen mit Stadtklima sollte weitere Versiegelung vermieden werden bzw. Maßnahmen zur Entsiegelung ergriffen werden. Erhaltung der Grünflächen am Nord- und Nordwestrand des Stadtteils. Vermeidung und Verminderung von industriell bedingten Emissionen. Screening der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei möglicher Prüfwertüberschreitung, Verminderung der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei prognostizierter Prüfwertüberschreitung.

- **Stadtteil Rheingönheim**

Das Bioklima des Stadtteils ist hauptsächlich durch ein Stadtrandklima gekennzeichnet. Günstig auf die lokalklimatischen Verhältnisse wirkt sich aus, dass der Stadtteil im Süden, Westen und Osten durch Grünflächen begrenzt wird, was zu einer engen Verzahnung mit dem Umland führt. Während die östlich gelegene Freifläche als Frischluftbahn wirksam ist, liegt die Bedeutung der Grünfläche westlich des Stadtteils primär in ihrer Funktion als Durchlüftungsbahn (vgl. S. 31). Die Luftbelastung ist bei der Kurzzeit- und der Langzeitbelastung überwiegend deutlich.

Empfehlungen:

Erhaltung der Luftleitbahn und Durchlüftungsbahn in ihren Funktionen, sowie die Vermeidung zusätzlicher Emissionen in ihren Einflussbereichen.

- **Stadtteil Gartenstadt**

Das Bioklima des Stadtteils ist hauptsächlich durch ein Stadtrandklima geprägt, in geringerem Maße durch Gartenstadtklima. Die Luftbelastung ist bezüglich der Kurzzeitbelastung als überwiegend deutlich, bezüglich der Langzeitbelastung als mäßig bis deutlich zu bewerten. Prüfwertüberschreitungen nach 23. BImSchV sind in der Maudacher Straße möglich. Aufgrund der extrem hohen Verkehrsbelastung auf der BAB 650 sind lufthygienische Beeinträchtigungen in Gartenstadt-Niederfeld nicht auszuschließen.

Empfehlungen:

Screening der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen bei möglicher Prüfwertüberschreitung. Überprüfung der lokal an der BAB 650 auftretenden verkehrsbedingten Immissionen.

- **Stadtteil Maudach**

Das Bioklima des Stadtteils ist durch ein Stadtrand- bis Gartenstadtklima gekennzeichnet. Der Stadtteil wird durch das Maudacher Bruch im Norden und überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen im Süden und Osten begrenzt. Der Wärmeinseleffekt ist nur schwach ausgeprägt. Die klimaökologischen Ausgleichsströmungen aus Norden sind bedeutsamer als die aus Süden. Die Luftbelastung ist bezüglich der Kurzzeitbelastung als deutlich, bezüglich der Langzeitbelastung als mäßig zu bewerten.

Empfehlungen:

Erhaltung der Freiflächen im Osten als Abstandsfläche zu Gartenstadt-Hochfeld, Erhaltung der Freiflächen im Nordwesten des Stadtteils.

- **Stadtteil Oggersheim**

Das Bioklima des Stadtteils ist hauptsächlich durch ein Stadt- und Stadtrandklima gekennzeichnet. Nach der Innenstadt weist der Stadtteil Oggersheim den deutlichsten Wärmeinseleffekt auf. Klimaökologische Ausgleichsleistungen sind in erster Linie an nordwestliche Windrichtungen gebunden. Die im Südosten gelegenen Grünflächen wirken sich klimatisch positiv aus, wobei die Wirkung jedoch lokal begrenzt bleibt. Die Luftbelastung ist bezüglich der Kurzzeitbelastung als überwiegend deutlich und in den nördlichen Bereichen mäßig, die Langzeitbelastung als insgesamt mäßig zu bewerten. Prüfwertüberschreitungen nach 23. BImSchV sind in Oggersheim auszuschließen.

Empfehlungen:

Vermeidung der weiteren Versiegelung und Verdichtung der Bebauung in dem durch ein Stadtklima ausgewiesenen Bereich. Erhaltung der im Südosten des Stadtteils gelegenen Grünflächen und ihrer bestehenden Vernetzung mit dem Umland.

- **Stadtteil Ruchheim**

Das Bioklima des Stadtteils ist hauptsächlich durch ein Stadtrandklima, im Süden des Stadtgebietes durch ein Stadtklima gekennzeichnet. Positiv auf die thermischen Verhältnisse wirken sich die Lagebeziehungen zu den angrenzenden Freiflächen aus, die den Stadtteil insgesamt umschließen. Für eine Charakterisierung der lufthygienischen Belastung liegen keine Messwerte aus dem Luftreinhalteplan Ludwigshafen - Frankenthal (MfUG (Hrsg.) 1989) vor. Prüfwertüberschreitungen nach 23. BImSchV sind - auch in der Maxdorfer Straße mit hohem Verkehrsaufkommen - auszuschließen. Aufgrund der sehr hohen Verkehrsbelastung auf der BAB 650 sind lokale lufthygienische Beeinträchtigungen nicht auszuschließen

Empfehlungen:

Sicherung der insgesamt als günstig einzuschätzenden lokalklimatischen Verhältnisse. Überprüfung der lokal an der BAB 650 auftretenden verkehrsbedingten Immissionen.

8. Gesamtstädtische Betrachtung

Die Stadt Ludwigshafen, auf der linksrheinischen Seite im nördlichen Teil der Oberrheinischen Tiefebene gelegen, bildet mit seiner Nachbarstadt Mannheim und weiteren Mittel- und Kleinstädten den Verdichtungsraum Rhein-Neckar. Das Stadtgebiet von Ludwigshafen liegt innerhalb der ca. 40 km breiten Tiefebene zwischen der Haardt und der Bergkette des Odenwaldes. Die nördliche Oberrheinebene zählt zu den wärmsten Gebieten Deutschlands. Nach der Karte „Das Bioklima der Bundesrepublik Deutschland“ (ARL (Hrsg.) 1988) wird die nördliche Oberrheinebene durch häufige Wärmebelastungen und seltenen Kältereiz gekennzeichnet. Unter dem Einfluss der städtischen Bebauung werden die orographisch (=durch das Relief) bedingten Temperaturverhältnisse z.T. erheblich modifiziert: Aus den durchgeführten Messungen und vorliegenden Teiluntersuchungen zum Stadtklima geht hervor, dass die Siedlungsflächen gegenüber den Freiflächen im Stadtgebiet von Ludwigshafen bis zu 8-9 K(elvin) höhere Temperaturen aufweisen können; diese Bedingungen treten insbesondere während sommerlicher Hochdruckwetterlagen in den Abend- und Nachtstunden auf. Der Grad der thermischen Belastung (Wärmebelastung – Hitzestress) steigt dabei mit zunehmenden Versiegelungsgrad und zunehmender Bebauungsdichte. Aus diesem Grunde weisen die hoch versiegelten und dicht bebauten Stadtbereiche der Stadtteile Mitte, Nord/Hemshof, Süd, Oggersheim und Mundenheim – in entsprechender Reihenfolge - die höchsten klimaökologischen Belastungen auf, während Stadtteile mit geringerer Versiegelung durch entsprechend geringere Belastungen gekennzeichnet werden; dies gilt – in entsprechend gradueller Abstufung - für die Stadtteile Oppau, Ruchheim, Maudach, Rheingönheim, Edigheim und Pfingstweide.

Als bioklimatisch relevant erweisen sich klimaökologische Strömungen, die während sommerlicher Hochdruckwetterlagen in den Abend- und Nachtstunden auftreten und zu einem Abbau der thermischen und/oder lufthygienischen Belastungen in den Siedlungsräumen (=Wirkungsräume) beitragen. Nordwest-Strömungen sind im Stadtgebiet von Ludwigshafen aufgrund ihrer Häufigkeit und Geschwindigkeit gegenüber Strömungen aus südlichen bis südöstlichen Richtungen klimaökologisch bedeutsamer. Dementsprechend weisen Freiflächen, die im Nordwesten eines Stadtteiles gelegen sind, während sommerlicher Hochdruckwetterlagen die höchste klimaökologische Bedeutung auf. Analog dazu weisen die im Südwesten eines Stadtteiles gelegenen Freiflächen die geringste klimaökologische Bedeutung auf; diese Flächen eignen sich am ehesten für eine Wohnbebauung. Da sie bei zyklonalen Wetterlagen mit erhöhten Windgeschwindigkeiten im Luv des jeweiligen Stadtteiles liegen, ist von einer Ansiedlung emissionsstarker Betriebe

abzuraten. Aufgrund der Lagebeziehung der Stadtteile folgt daraus, dass sich Freiflächen im Norden des Stadtgebietes von Ludwigshafen aus klimatologischer Sicht weniger für eine Ausweitung von Siedlungsflächen eignen als diejenigen im Süden.

Von einer deutlichen lufthygienischen Langzeitbelastung (durch die Summenwirkung der Luftschadstoffe CO, NO₂, SO₂ und Schwebstaub = LBI₁) sind vor allem die Innenstadt und die südöstlichen Stadtteile betroffen. Deshalb sind zusätzliche industrielle Emissionen vor allem in den südlichen Stadtteilen zu vermeiden. Die kfz-bedingten Immissionen werden hinsichtlich ihrer Konzentrationen vom Verkehrsaufkommen und den Durchlüftungsverhältnissen bestimmt und sind lokal begrenzt; lockere Bauweisen sind in diesem Zusammenhang aufgrund der besseren bodennahen Austauschbedingungen günstiger als dichte Bauweisen mit reduzierten Austauschverhältnissen einzustufen. Da die für das Jahr 2000 modellierten kfz-bedingten Immissionsverhältnisse (Grobscreening) auf Angaben zum Verkehrsaufkommen aus dem Gesamtverkehrsplan/ Verkehrsentwicklungsplan (Prognose-Nullfall) von SCHAECHTERLE u. SIEBRAND (1993) beruhen und die Emissionsfaktoren nach dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) zwischenzeitlich fortgeschrieben wurden (UBA (Hrsg.) 1999), ist eine Überprüfung der kfz-bedingten Immissionsverhältnisse - unter Einbeziehung des noch ausstehenden aktualisierten Immissionskatasters - in jedem Fall zu empfehlen. Zudem wurden mit der ersten Tochterrichtlinie der EU am 22.4.1999 verschärfte Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (EG-Richtlinie 1999/30/EC) verabschiedet, die in Zukunft von den planenden Behörden berücksichtigt werden müssen.

Literatur

ALEXANDER, J. (1999): *Feststellung und Bewertung der lokalklimatischen Auswirkungen von Neubauflächen im südlichen Stadtgebiet von Ludwigshafen am Rhein.* – Trier.

ALEXANDER, J. (1997_a): *Feststellung und Bewertung der lufthygienischen Auswirkungen durch den geplanten „Ökologischen Dienstleistungspark, Ludwigshafen Oggersheim.* – Trier.

ALEXANDER, J. (1997_b): *Klimatologische Untersuchung im Plangebiet „Westlich B9“ in Ludwigshafen am Rhein.* - Trier.

ALEXANDER, J. (1992): *Methoden zur Bewertung von „Klima“ und „Luft“ bei der kommunalen Umweltverträglichkeitsprüfung.* - Trier.

ARL – (=Akademie für Raumforschung und Landeskunde) (Hrsg.) (1988): *Das Bioklima in der Bundesrepublik Deutschland.* – Hannover.

BAUMÜLLER, J., REUTER, U. u. U. HOFFMANN (1984): *Luftschadstoffe und Klima in Stuttgart – Feuerbach (August 80 – September 82).* – (=Mitt. Chem. Unters.amt, Nr. 7). – Stuttgart.

BECKRÖGE, W. (1999): *Windfeld.* – In: Helbig, A., Baumüller, J. u. M. J. Kerschgens (Hrsg.): *Stadtklima und Luftreinhalteung*, S. 53 - 94.- 2., vollständig überarbeitet und ergänzte Auflage.

BERLEKAMP, L.-R. u. N. PRANZAS (1986): *Methode zur Erfassung der Bodenversiegelung von städtischen Wohngebieten - Ein Beitrag zum Hamburger Landschaftsprogramm.* - Natur und Landschaft 61, Heft 3, S. 92 - 95.

BRÜNDL, W., MAYER, H. u. A. BAUMGARTNER (1986): *Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten. Abschlussbericht zum Teilprogramm 'Klimamessungen München'.* - München.

DANZEISEN, H. H. (1983): Experimentielle Untersuchung bodennaher Lufttemperatur - und Feuchteverteilungen in Stadtgebieten mit Hilfe eines Messwagens. - Beiträge Landespflege Rheinland-Pfalz 9, S. 7 - 34.

DRÖSCHER, F., FRANK, W., KOST, W.-J. u. T. PFEIFER (1996): Lufthygienische Beurteilung der verkehrsbedingten Immissionen von Straßen und Kreuzungen im Hinblick auf § 40 (2) Bundes-Immissionsschutzgesetz - Praktischer Teil für Anwender -.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1980-1996): Amtsblatt des Deutschen Wetterdienst. - Wetterkarte. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1994): Amtliches Gutachten zu den klimatischen Auswirkungen des Bebauungsplanes „Im Neubruch“ in Ludwigshafen, Stadtteil Rheingönheim. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1993): Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowski 1881 - 1992. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1991): Amtliches Gutachten zu den lokalklimatischen Auswirkungen einer Bebauung des Bereiches „Entwicklungssachse West“ in Ludwigshafen. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1990): Amtliches Gutachten über die klimatischen Auswirkungen des Bebauungsplanes Nr. 475a „Roßlache-Nord“ auf den Stadtteil Ludwigshafen-Oppau. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1989): Amtliches Gutachten über die klimatischen Auswirkungen des Bebauungsplanes Nr. 475a „Roßlache-Sportanlagen“ auf den Stadtteil Ludwigshafen-Oppau. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1987): Amtliches Gutachten über die klimatischen Auswirkungen der geplanten Änderung des Flächennutzungsplanes für das Teilgebiet I/4 „Roßlache“, Ludwigshafen. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1983): Klimatologische Untersuchungen für den Raum Ludwigshafen-Roßlache. Amtliches Gutachten. - Offenbach am Main.

DWD – (=DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (1982): Klimatologische Untersuchungen für den Raum Ludwigshafen-Roßlache. - Offenbach am Main.

FEZER, F. (1995): Das Klima der Städte.- Gotha.

FEZER, F. u. R. SEITZ (1977): Gutachten über das Stadtklima von Ludwigshafen. - (=Informationen zur Stadtentwicklung Ludwigshafen, Nr. 3). - Ludwigshafen

FIEDLER, F. (1983): Einige Charakteristika der Strömung im Oberrheingraben. – In: Fiedler, F. u. K. Höschele (Hrsg.): Prof. Dr. Max Diem zum 70. Geburtstag. – (=Wissenschaftliche Berichte des Meteorologischen Instituts der Universität Karlsruhe, Nr. 4), S. 113 – 123.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (Hrsg.) (1992): Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen. Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung. MLuS-92.

FRANK, W., DRÖSCHER, F., KOST, W.-J. u. T. PFEIFER (1995): Das Screeningverfahren STREET zur Beurteilung der Immissionssituation an innerstädtischen Straßen und Kreuzungen. - (=VDI-Bericht 1228, S. 427 - 440).

HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. u. M. J. KERSCHGENS (Hrsg.) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. - 2., vollständig überarbeitet und ergänzte Auflage. – Berlin.

HERGERT, T., MOSIMANN, T. u. P. TRUTE (1993): Großmaßstäbige klima- und immissionsökologische Analyse und Prognose für die Bauleitplanung.- (=Geosynthesis 5). – Hannover.

HUPFER, P. (1994): Der Energiehaushalt Heidelbergs unter besonderer Berücksichtigung der städtischen Wärmeinselstruktur. – (=Heidelberger Geographische Arbeiten, Heft 96). – Heidelberg.

HUPFER, P. u. W. KUTTLER (Hrsg.) (1998): Witterung und Klima. – Stuttgart, Leipzig.

-
- IFP – (=Institut für Planungsdaten) (Hrsg.) (1985): Versorgungskonzept Ludwigshafen Gesamtstadt, Wärmeatlas. Ermittlung des Wärmebedarfs in der Stadt Ludwigshafen. Erstellt im Auftrag von TWL - Technische Werke Ludwigshafen. - Offenbach/Main.
- KING, E. (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltabflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. – (=Berichte des DWD, Nr. 130, Band 17). – Offenbach am Main.
- KONDO, J. u. H. YAMAZAWA (1986): *Aerodynamic roughness over an inhomogeneous ground surface*. – *Boundary-Layer Meteorology* 35, S. 331 - 348.
- KRATZER, P. A. (1956): Das Stadtklima. - Braunschweig.
- KRdL - (=Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN) (Hrsg.) (1997): Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Umweltmeteorologie. - (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1).
- KRÜCKEMEIER, G. u. L. ARENTZ (1996): Umsetzung der Anforderungen zu § 40.2 (BImSchG) - Integration von Umwelt- und Verkehrsmodellen in der Stadt Köln -. - Ausbreitung von Kfz-Emissionen. Emissionsmodellierung, Bd. 24, S. 101 - 114.
- KUTTLER, W. (1993): Planungsorientierte Stadtklimatologie - Aufgaben, Methoden und Fallbeispiele. - Geographische Rundschau 45, Heft 2, S. 95 - 106.
- LANDSBERG, H.E. (1956): The climate of towns. - in: Thomas, W.L. (Hrsg.): Man's role in changing the face of the earth, Chicago UP, S. 585 - 606.
- L.A.U.B. (=Gesellschaft für Landschaftsanalyse und Umweltbewertung m.b.H.) (Hrsg.) (1992): Biotypenkartierung und Biotopverbundplanung der Stadt Ludwigshafen am Rhein. Im Auftrag der Stadt Ludwigshafen/Umweltamt. – Kaiserslautern.
- LESER, H. (1984): Zum Ökologie-Ökosystem und Ökotopbegriff. – Natur und Landschaft 59, S. 351 – 357.
- LETTAU, H. (1969): Note on the aerodynamic roughness parameter on the basis of roughness element description. - *Journal of Applied Meteorology* 8, S. 823 - 832.

MAYER, H., BECKRÖGE, W. u. A. MATZARAKIS (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. - UVP-Report 5/94, S. 265 - 268.

MAYER, H. u. A. MATZARAKIS (1992): Stadtklimarelevante Luftströmungen im Münchner Stadtgebiet (Forschungsvorhaben STADTLUFT). - München.

MfUG – (=Ministerium für Umwelt und Gesundheit des Landes Rheinland-Pfalz) (Hrsg.) (1989): Luftreinhalteplan Ludwigshafen-Frankenthal, 1. Fortschreibung 1985-1991, Mainz.

NVS – (=Nachbarschaftsverband Stuttgart) (Hrsg.) (1992): Klimaatlas. Klimauntersuchung für den Nachbarschaftsverband Stuttgart und angrenzende Teile der Region Stuttgart. - Stuttgart.

PARLOW, E. (1983): Geländeklimatologische Untersuchungen im Bereich der Staufener Bucht unter besonderer Berücksichtigung lokaler Ausgleichsströmungen. - (=Freiburger Geographische Hefte, Heft 20). - Freiburg.

PFEIFER, T., FRANK, W., KOST, W.-J. u. F. DRÖSCHER (1996): Lufthygienische Beurteilung der verkehrsbedingten Immissionen von Straßen und Kreuzungen im Hinblick auf § 40 (2) Bundes-Immissionsschutzgesetz - Wissenschaftl. Dokumentation -.

RITTHALER (1997): mündl. Mitteilung vom 18.07.97

SCHAECHTERLE, K. u. H. SIEBRAND (1993): Verkehrsuntersuchung Ludwigshafen. Gesamtverkehrsplan/Verkehrsentwicklungsplan Ludwigshafen. Untersuchungsergebnisse zur integrierten Verkehrskonzeption 2000.

SEIDLER, R. u. M. WICHMANN-FIEBIG (1995): 23. Verordnung § 40 BImSchG Absatz 2: Messungen und Modelle? - 1. Düsseldorfer Umweltkonferenz: Sektion 2 Luftbelastung durch Verkehr, Bd. 23, S. 41 - 48.

SEITZ, R., BURST, A., JASCHKE, P., KLINGLER, R. u. M. PFEIFER (1994): Klimaökologische Untersuchung und Ableitung von planerischen Maßnahmen im Rahmen des BMBau-Forschungsprojektes „Ökologische Stadterneuerung des Altbauquartiers Karolina-Burger-Straße“. - Mannheim.

-
- SEITZ, R. (1985): Klimaökologische Untersuchung im Bereich Ludwigshafen, Oggersheim-West. Beurteilung der klimaökologischen Folgeerscheinungen eines potenziellen Gewerbegebietes westlich der B 9. - Mannheim.
- STOCK, P. (1992): Synthetische Klimafunktionskarte Ruhrgebiet. - Essen.
- STOCK, P. u. W. BECKRÖGE (1983): Klimaanalyse Stadt Essen. - Essen.
- THOMMES, W. (1986): Untersuchung der dreidimensionalen Wärmeinsel im Bereich der Städte Ludwigshafen und Mannheim während ausgewählter Wetterlagen. – Offenbach am Main
- TÜV ENERGIE UND UMWELT (Hrsg.) (o.J.): Street... der einfache Weg zur lufthygienischen Beurteilung verkehrsbedingter Immissionen an Straßen und Kreuzungen.
- UBA – (=Umweltbundesamt) (Hrsg.) (1999): *Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA). Version 1.2 (Jan. 1999).*
- VDI – (=Verein Deutscher Ingenieure) (Hrsg.) (1988): Stadtklima und Luftreinhaltung. - Berlin.
- WEISCHET, W. (1979): Problematisches über die städtische Wärmeinsel und die Notwendigkeit einer Baukörperklimatologie. - (=Siedlungsgeographische Studien), S. 407 - 423.
- WIPPERMANN, F. (1987): *Die Kanalisierung von Luftströmungen in Tälern. – promete meteorologische fortbildung 3/4' 87, S. 40 - 50.*
- WIPPERMANN, F. (1983): Air flow over and in broad valleys: Channeling and counter-current. - Beitr. Phys. Atmosph. 57, Nr. 1, S. 92 - 105.
- ZIMMERMANN, R. (1984): Klimawirkungen städtischer Freiräume in Ludwigshafen am Rhein. - Mitt. Pollichia 72, S. 163 - 253.

ZIMMERMANN, R. (1982): Klimawirkungen städtischer Freiräume in Ludwigshafen/Rh. und deren numerischer Zusammenhang mit Flächennutzungsfaktoren. - Dissertation, Heidelberg.

ANHANG