



# DWD

A M T L I C H E S   G U T A C H T E N

## Klimatische Beurteilung

der lokalklimatischen Verhältnisse  
auf dem Gebiet der Stadt Neumarkt

Auftraggeber: Stadt Neumarkt i.d. Opf.

**Deutscher Wetterdienst**

Geschäftsfeld  
Klima- und Umweltberatung  
Nürnberg, 28. Oktober 1998

# DEUTSCHER WETTERDIENST

## Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung

### Amtliches Gutachten

zu den lokalklimatischen Verhältnissen  
auf dem Gebiet der Stadt Neumarkt

Auftraggeber:	Stadt Neumarkt i.d. Opf. 92318 Neumarkt
Anzahl der Seiten:	91
Anzahl der Tabellen:	18
Anzahl der Abbildungen:	15
wissenschaftliche Bearbeitung:	Dipl.-Met. Hans-Werner Sierts Regionales Gutachtenbüro Nürnberg Dipl.-Met. P.-H. Voß Zentrales Gutachtenbüro Offenbach

Nürnberg, den 28. Oktober 1998



Dipl.-Met. Gert Süßenguth  
Leiter des Regionalen Gutachtenbüros Nürnberg

Dieses Gutachten ist urheberrechtlich geschützt, außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte ist seine Vervielfältigung oder Weitergabe an Dritte sowie die Mitteilung seines Inhaltes, auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes gestattet.

EDV-Kennung: 310-92318-09-1098

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Einleitung und Problemstellung</b>	<b>3</b>
<b>2 Lagebeschreibung</b>	<b>4</b>
<b>3 Methoden der Klimadarstellung</b>	<b>5</b>
3.1 Allgemeine Methoden	5
3.2 Untersuchungsmethode im vorliegenden Gutachten	7
<b>4 Allgemeine Betrachtungen zum Stadtklima</b>	<b>8</b>
4.1 Klimaunterschiede zwischen Stadt und Umland	9
4.2 Die städtische Wärmeinsel	10
4.3 Bioklimatische Aspekte	11
<b>5 Das Klima im Stadtgebiet von Neumarkt</b>	<b>12</b>
5.1 Lufttemperaturen	13
5.1.1 Einfluß städtischer Bebauung auf die Lufttemperatur	14
5.2 Niederschläge	14
5.2.1 Einfluß städtischer Bebauung auf den Niederschlag	16
5.3 Relative Luftfeuchte und Nebel	16
5.3.1 Einfluß städtischer Bebauung auf die Feuchte- und Nebelverhältnisse	18
5.4 Sonnenscheindauer und Bewölkung	18
5.4.1 Einfluß städtischer Bebauung auf die Strahlung	19
5.5 Windgeschwindigkeit und Windverteilung	20
5.5.1 Allgemeine Grundlagen zu den Windverhältnissen	20
5.5.2 Windverhältnisse im Raum Neumarkt	21
<b>6 Ausbreitungsverhältnisse in Neumarkt</b>	<b>23</b>
6.1 Allgemeine Ausbreitungsverhältnisse und atmosphärische Schichtung	23
6.2 Interpretation der Ausbreitungsklassenstatistik	26
6.3 Ausbreitung verkehrsbedingter Schadstoffemissionen	29
6.4 Berechnungsbeispiele für die Immissionsbelastung	30
<b>7 Klimaeignungskarten</b>	<b>32</b>
7.1 Datenmaterial	33
7.1.1 Digitale topographische Daten	33
7.1.2 Winddaten	34
7.1.3 Klimadaten	35
7.2 Klimatologische Grundlagen der Klimaeignungskarten	35

7.3	Methoden zum Erhalt großmaßstäbiger Klimakarten	40
7.3.1	Statistische Methoden	40
7.3.2	Das Kaltluftabflußmodell (KLAM)	40
7.3.3	Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse	42
7.3.4	Freiflächensicherung	44
7.3.5	Schlußbemerkungen zu den Klimateignungskarten	46
7.4	Ergebnisse	47
7.4.1	Allgemeine Erläuterungen	47
7.4.2	Lokalklimatisch bedeutsame Flächen	48
7.4.2.1	IST-Zustand	48
7.4.2.2	SOLL-Zustand	52
7.4.3	Häufigkeit windschwacher Strahlungsnächte	54
7.4.4	Zahl der Tage mit Minimumtemperaturinversionen	57
7.4.5	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	58
7.4.6	Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse	61
7.4.6.1	IST-Zustand	61
7.4.6.2	SOLL-Zustand	62
7.4.7	Freiflächensicherung	63
7.4.7.1	IST-Zustand	63
7.4.7.2	SOLL Zustand	65
8	Zusammenfassung und Planungsempfehlungen	66
9	Literaturverzeichnis	72
10	Glossar	75
11	Anhang	82
7.3.1	Statistische Methoden	82
7.3.1.1	Allgemeine Erläuterungen	82
7.3.1.2	Das statistische Windfeldmodell	84
7.3.1.3	Das statistische Modell zur Berechnung der "Minimumtemperaturinversionshäufigkeit"	87
Tabellen		90
Abbildungen		91

## 1 Einleitung und Problemstellung

Das vorliegende Gutachten wurde im Auftrag der Stadt Neumarkt i.d. Oberpfalz im Regionalen Gutachtenbüro Nürnberg erstellt.

Für zukünftige Planungsvorhaben im Stadt- und Stadtrandgebiet von Neumarkt werden klimatologische Untersuchungen notwendig, die bezüglich einer möglichen Verbesserung bzw. des Erhalts der lokalen klimatischen und luft-hygienischen Bedingungen Hinweise und Empfehlungen geben.

In Stadtgebieten (bzw. in bebauten Gebieten mit versiegelten Flächen) entwickeln sich vorzugeweise in windschwachen und wolkenarmen Nächten eigenständige lokale Windzirkulationen, die durch ihre Kaltluftflüsse lufthygienische und thermische Ausgleichsleistungen aufweisen können. Denkbar sind bei der Lufthygiene sowohl Entlastungs- als auch Belastungsleistungen, je nach Zugbahn der Kaltluft. Ein Verbau von relevanten Kaltluft- oder auch Frisn-luftschneisen kann sehr nachteilige Auswirkungen auf die Durchlüftungsverhältnisse haben.

In dem vorliegenden Gutachten werden anhand von ausgewerteten langjährigen Beobachtungsdaten repräsentativer Stationen die klimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Neumarkt und die Ergebnisse von Modellrechnungen zur nächtlichen Kaltluftsituation dargestellt und interpretiert. Mit Hilfe einer weiteren Modellrechnung werden die gegebenen Durchlüftungsverhältnisse im Stadtgebiet eingehend betrachtet und darauf aufbauend Hinweise für die zukünftige Planung gegeben.

Die im Gutachten verwendeten Fachausdrücke werden, wenn sie erstmals im Text erscheinen, unterstrichen dargestellt und im Glossar erklärt.

## 2 Lagebeschreibung

Die Stadt Neumarkt mit ihren ca. 40 000 Einwohnern gehört zum Regierungsbezirk Oberpfalz und liegt etwa 35 km südöstlich von Nürnberg am westlichen Rand der Fränkischen Alb (siehe großräumigen Überblick in Abb. 1).

Das Zentrum der Stadt und der größte Teil der bebauten Gebiete befinden sich in einer Höhe von etwa 420 bis 430 m über NN. Durch die Stadt hindurch verläuft in Nord-Süd-Richtung der noch gut erhaltene ehemalige Ludwig Donau-Main-Kanal. Auf die zahlreichen, zum Teil bewaldeten Anhöhen in der Umgebung der Stadt, die sich gegenüber dem Zentrum um etwa 100 bis 150 m Höhe erheben, begründet sich eine landschaftlich reizvolle, fast kesselartige Topographie. Der Wolfsteinberg und der Höhenberg, die im Osten unmittelbar an die Stadt angrenzen, erreichen z.B. Höhen von über 580 m über NN, der Winnberg und der Buchberg im Süden bzw. Südsüdwesten, beide etwa 4 bis 5 km vom Stadtzentrum entfernt, erreichen ebenfalls über 580 m über NN. Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang noch der markante Staufer Berg in etwa 3 km Entfernung im Südwesten, der etwa 512 m über NN erreicht, der Tyrolsberg im Westen, etwa 5 km entfernt und bis 570 m hoch sowie der Dillberg in ungefähr 7 km Entfernung im Nordwesten und bis über 590 m hoch.

Zum Stadtgebiet von Neumarkt (siehe Abb. 2) gehören auch zahlreiche, früher teilweise selbständige Gemeinden in der Umgebung, z.B. Pölling, Rittershof, Stauf, Woffenbach, Holzheim, Lähr, Helene, Höhenberg, Voggenthal, Polchenhofen, Lippertshofen, Frickenhofen, Lampertshofen, Ischhofen sowie weitere kleinere Siedlungen bzw. Weiler.

Verkehrsmäßig ist die Stadt gut an das überregionale Netz angeschlossen. Unmittelbar im Osten der Stadt verläuft die Autobahn A 3 Nürnberg-Regensburg vorbei und im Stadtbereich selbst kreuzen sich die Bundesstraßen 299 und 8. Die Bundesbahnlinie Nürnberg-Regensburg führt durch Neumarkt (IC-Bahn) hindurch.

### 3 Methoden der Klimadarstellung

#### 3.1 Allgemeine Methoden

Unter dem Klima eines Ortes, einer Landschaft oder eines Landes wird die Gesamtheit aller meteorologischen Zustände und Vorgänge während eines längeren Zeitraumes verstanden. Dieser muß genügend lang sein, um die charakteristischen Gesamteigenschaften des Klimas festzulegen.

Das Klima wird durch die einzelnen Klimaelemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Bewölkung, Nebel geprägt. Zwischen den einzelnen Klimaelementen, die nicht nur voneinander, sondern auch von den natürlichen Klimafaktoren (geogr. Breite, Entfernung zum Meer, Bodenart und Bewuchs, Oberflächengestalt u.a.m.) und den anthropogenen Faktoren (z.B. Dichte der Bebauung und Besiedlung, Abholzungen, Aufforstungen, Schaffung künstlicher Wasserflächen) abhängen, bestehen komplexe Zusammenhänge.

Allein mit Worten läßt sich das Klima eines Ortes nur unvollständig beschreiben. Die in den klimatologischen Meßnetzen des Deutschen Wetterdienstes gewonnenen Meß- und Beobachtungsdaten müssen daher statistisch aufbereitet werden. Erst durch eine entsprechende Datenverdichtung in Form von Mittel- und Extremwerten, Häufigkeits- und Andauerstatistiken erhält man einen anschaulichen Überblick über die lokalen klimatischen Verhältnisse.

Ein jedes Standort- oder Lokalklima ist in das großräumige Klima (Makroklima) eingebettet. Die Eigenschaften des Makroklimas geben dabei Auskunft über die Fragen, in welchem Umfang - unter besonderer Berücksichtigung der landschaftlichen Gegebenheiten wie Relief, Bebauung und Vegetation - mit der Ausbildung eines eigenständigen (autochthonen) Lokalklimas zu rechnen ist.

Das klimatologische Grundnetz umfaßt ca. 600 Stationen für das gesamte Bundesgebiet. Bei der Erforschung und Beschreibung des Klimas einerseits und

dessen Berücksichtigung bei der Raumplanung andererseits stößt man häufig auf ein wesentliches Problem: Viele den Planungsraum betreffende Fragestellungen gehören kleineren meteorologischen Größenordnungen an, als das klimatologische Maßnetz abdeckt.

Fragen des Regional- und Stadtklimas mit den meteorologischen Besonderheiten einer durch Bauwerke geprägten Erdoberfläche wie im vorliegenden Fall gehören dem sogenannten Mesoklima an, dessen charakteristische horizontale Erstreckung bei 1 km bis 100 km liegt. Zum Mesoklima gehören z.B. Geländeklima, Stadtklima und Lokalklima (SCHIRMER u.a.).

Beim Übergang zum einzelnen Stadtteil mit dem Geltungsbereich eines Bebauungsplanes oder bei der Begutachtung von Standorten oder Trassenabschnitten befindet man sich im Lokalklima, dessen typische Maßstabslängen bei 100 m bis 10000 m liegen. Im Bereich des lokalen Klimas sind nicht nur der horizontale, sondern auch der vertikale Verlauf der meteorologischen Einflußgrößen von Bedeutung.

Befindet sich in unmittelbarer Nähe des Untersuchungsgebietes keine Klimastation, dann besteht die Möglichkeit, die Repräsentanz der nächsten benachbarten Stationen für den Standort oder das Untersuchungsgebiet zu prüfen.

Wenn die Übertragbarkeit gegeben ist, können die dort gewonnenen Daten zur allgemeinen Klimabeschreibung im Untersuchungsgebiet verwendet werden.

Zur quantitativen Erfassung der lokalen klimatischen Besonderheiten gibt es die zusätzliche Möglichkeit, ein temporäres Sondermeßnetz einzurichten. Dieses Sondermeßnetz erfaßt in der Regel nur die horizontale Verteilung der Parameter. Ergänzend werden häufig meteorologische Experimente und Untersuchungen durchgeführt, die während ausgewählter, charakteristischer Wetterlagen Informationen - auch über die vertikale Verteilung der Parameter - mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung vermitteln.



Seit einigen Jahren gibt es eine neue Möglichkeit, mit Hilfe von mathematisch-physikalischen Modellen bestimmte lokalklimatische Besonderheiten eines Standortes oder eines begrenzten Untersuchungsgebietes zu simulieren. Der wesentliche Vorteil der Modellsimulation gegenüber den Messungen liegt in der Möglichkeit, gezielt Eingriffe in das System vornehmen zu können: Im Modell können ganze Stadtteile aufgebaut, Schadstoffquellen an- oder abgeschaltet, Dämme und Grün- oder Wasserflächen angelegt oder beseitigt werden, ohne daß diese Eingriffe wirklich vorgenommen werden müssen. Eventuelle negative Folgen können erkannt werden, bevor irreparabler Schaden entstanden ist. Damit wird das Klimamodell zu einer wertvollen Entscheidungshilfe für den Planer.

### 3.2 Untersuchungsmethode im vorliegenden Gutachten

Nach einer allgemeinen Charakterisierung des Stadtklimas (Kapitel 4) werden in diesem Gutachten zunächst die für die Beschreibung des Stadtklimas wichtigen Klimaelemente im Stadtgebiet von Neumarkt anhand ausgewerteter Daten der Klimastationen in Amberg und Roth sowie der Wetterstationen Nürnberg und Weissenburg, der Niederschlagsmeßstellen Neumarkt-Woffenbach und Pilsach-Laaber sowie der Windmeßstation Neumarkt-Höhenberg - aus jeweils unterschiedlichen, aber langjährigen Zeiträumen - beschrieben (Kapitel 5). Anschließend werden die örtlichen Ausbreitungsverhältnisse, insbesondere auch die Ausbreitung verkehrsbedingter Schadstoffe, behandelt (Kapitel 6).

Aus der Beschreibung der wichtigsten Klimaelemente ergeben sich noch keine Aussagen in Bezug auf lokalklimatische Besonderheiten, wie z.B. der Ausbildung lokaler Windzirkulationen bzw. von lokalklimatisch bedeutsamen Kaltluftflüssen.

Entscheidende Grundlage für die Aussagen über diese lokalklimatischen Ausprägungen im vorliegenden Gutachten ist die Kartierung der lokalklimatisch bedeutsamen Flächen mit dem Kaltluftabflußmodell des Deutschen Wetterdien-

stes (GERTH, 1986/1987). Dieses läßt eine rechnerische Simulation der Kaltluftbildung zu. Die Simulation erfaßt die lokalklimatisch bedeutsamen Kaltluftflüsse als Antrieb für lokale Windzirkulationen im Stadtgebiet von Neumarkt und seiner Umgebung flächendeckend. Es werden im vorliegenden Gutachten sowohl der gegenwärtige Zustand als auch ein geplanter (SOLL-) Zustand simuliert (Kapitel 7). Die Auswertung von repräsentativen Meß- und Beobachtungsdaten für das zu untersuchende Gebiet ermöglicht es, eine quantitative Aussage über die Häufigkeit von Wetterlagen mit derartigen Kaltluftflüssen und ihren Auswirkungen im Lokalklima von Neumarkt zu machen (Kapitel 7.4.3).

Mit einer weiteren Modellrechnung werden spezielle, für den Stadtplaner wichtige sogenannte **Klimaeignungskarten** erstellt. Dazu gehören die Karten der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse und der Freiflächensicherung. Diese werden ebenfalls in Kapitel 7 beschrieben und erläutert.

Daneben stützt sich dieses Gutachten bei der Einschätzung des Stadtklimas auf den Klimaatlas von Bayern von 1996, auf Erkenntnisse aus der Literatur sowie aus bereits vorliegenden Untersuchungen gleicher Problemstellung, auf eine eingehende Ortsbesichtigung am 06. Mai 1998, auf die zugesandten Planungsunterlagen und auf das Studium der topographischen Karten des Untersuchungsgebietes im Maßstab 1: 25 000.

#### 4 Allgemeine Betrachtungen zum Stadtklima

Mit dem Begriff des "Stadtklimas" wird einerseits auf eine lokale Konzentration von teilweise bebauten und versiegelten Flächen hingewiesen und andererseits das Vorhandensein eines dadurch veränderten Klimas angedeutet. Durch die Kommission für Klimatologie der WMO (World Meteorological Organization) wurde der Begriff des Stadtklimas folgendermaßen definiert (VDI, 1988):

"Das Stadtklima ist das durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima."

Das Stadtklima entsteht also durch die Veränderung des bestehenden Lokal oder Mesoklimas (siehe Erläuterung in Kap. 3.1) infolge der Bebauung und Stadtstruktur. Daher wird jede Stadt wegen der unterschiedlichen infrastrukturellen Verhältnisse (z.B. Dichte der Bebauung, topographische Lage, Höhenlage) durch ihr eigenes Stadtklima geprägt.

#### 4.1 Klimaunterschiede zwischen Stadt und Umland

Die wichtigsten klimatischen Unterschiede zwischen Stadt und Umland sind in der Tabelle 1 aufgeführt (nach LANDSBERG, 1981).

Die angegebenen Grenzwerte für die Unterschiede bei den verschiedenen Elementen gelten zwar im wesentlichen für Ballungsräume mit mehr als 500 000 Einwohnern. Jedoch haben auch kleinere Städte oder Siedlungen klimatische Auswirkungen. Bei einer Stadt von der Größenordnung Neumarkts mit seinen ca. 40 000 Einwohnern z.B. sind diese Auswirkungen natürlich eher am unteren Rand der in Tabelle 1 angegebenen Werte anzusiedeln und sind daher auch nicht Gegenstand der Untersuchungen im vorliegenden Gutachten.

Maßgeblich für klimatische Unterschiede im Raum Neumarkt ist eher der Einfluß der Topographie. Dieser wird im vorliegenden Gutachten insbesondere mittels Modellrechnungen auch näher betrachtet.

Im folgenden Text werden der durch die Stadt verursachte "Wärmeinsel Effekt" sowie bioklimatische Aspekte etwas näher betrachtet, beides ist für das Wohlbefinden des Menschen von besonderer Bedeutung.

## 4.2 Die städtische Wärmeinsel

In unseren Breitengraden ist die Temperaturverteilung zwischen einem Stadtgebiet mit hohem Bebauungs- und Versiegelungsgrad und seiner ländlichen Umgebung durch höhere Mitteltemperaturen in der bodennahen Luftschicht im städtischen Bereich gekennzeichnet. Dieses allgemein als "Wärmeinsel" bezeichnete Phänomen wurde durch viele Untersuchungen nachgewiesen (VDI, 1988).

Für das Zustandekommen der städtischen Wärmeinsel sind verschiedene Ursachen verantwortlich. Ein wesentlicher Grund ist die höhere Wärmespeicherung der Gebäude und der versiegelten Flächen. Weitere Faktoren sind der geringe Anteil der Vegetation, der veränderte Wasserhaushalt (künstliche Austrocknung durch raschen Wasserablauf und Minderung der Verdunstungsoberfläche), der veränderte Strahlungshaushalt (hoher Anteil an Aerosolen in der Luft über der Stadt, welche nachts die langwellige Wärmeabstrahlung der bebauten Flächen absorbieren und tagsüber die kurzwellige Einstrahlung verringern), die durch die höhere Rauigkeit verminderte mittlere Windgeschwindigkeit und die anthropogene Wärmezufuhr (z.B. Heizungswärme) (VDI, 1988).

Die Größe des Temperaturunterschiedes zwischen Stadt und Umgebung wird im Einzelfall durch die Wetterbedingungen bestimmt, wenn auch prinzipiell bei allen Wetterlagen die städtische Wärmeinsel entsteht. Ganz besonders ausgeprägt ist der Temperaturunterschied aber bei gradientenschwachen Hochdrucklagen, die mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und starker Einstrahlung tagsüber sowie starker Ausstrahlung in den Nachtstunden verbunden sind (autochthone Wetterlagen bzw. Strahlungstage). Je nach Größe des Stadtgebietes bzw. Verdichtung des Ballungsraumes sind - wie oben beschrieben - in Extremfällen Unterschiede in der Lufttemperatur zwischen Stadt und Umland von mehr als 10 K (Kelvin) möglich. Nach Untersuchungen von BRÜNDL u.a. nimmt die Jahresmitteltemperatur in der Stadt um 0,2 K zu, wenn die Versiegelung um 10 % zunimmt.

Ein weiterer wichtiger Effekt der städtischen Wärmeinsel ist die Phasenverschiebung im Tagesgang der Temperatur gegenüber dem Umland. Das Temperaturmaximum wird in der Stadt später erreicht und die abendliche Abkühlung verläuft wesentlich langsamer, da die in den Gebäuden oder in den versiegelten Flächen gespeicherte Energie abends wieder an die Atmosphäre abgegeben wird.

#### 4.3 Bioklimatische Aspekte

Der menschliche Wärmehaushalt - und damit Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit - wird von den meteorologischen Umweltbedingungen in starkem Ausmaß beeinflusst. Mittels Bioklimakarten, in die die meteorologischen Parameter eingehen, können Aussagen gemacht werden über klimatische Gunst oder Ungunst von Orten oder Landschaften. Die Anpassung des Menschen an seine Umgebung erfolgt wesentlich über das Thermoregulationssystem, welches die Wärmeabgabe über Veränderungen der Durchblutung des Körpers mit verstärktem Schwitzen bei Wärme bzw. einer Erhöhung des Energiumsatzes z.B. durch Zittern bei Kälte steuert.

Zu dem gesamten, den Menschen beeinflussenden Wirkungskomplex gehören der thermische, der aktivische und der lufthygienische Wirkungskomplex. Der thermische Wirkungskomplex wird dabei ganz wesentlich durch die Lufttemperatur beeinflusst. Während sich tagsüber aus der im Stadtgebiet geringeren Windgeschwindigkeit eine erhöhte thermische Belastung ergibt, wirkt sich nachts vor allem die verringerte Abkühlung als Wärmebelastung aus. Daher ist der Wärmeinseleffekt für den Menschen von besonderer Bedeutung.

Gleichzeitig können die vielfältigen Emissionen problematisch werden, wenn geringer Luftaustausch im Stadtgebiet zu einer Anreicherung von Schadstoffen führt. Zwar ist die Durchlüftung in der Stadt auch am Tage schlechter als im Umland, trotzdem wirken sich der Wärmeinseleffekt und die Schadstoff-

emissionen tagsüber im allgemeinen nicht ganz so ungünstig aus, da am Tage die Ventilation bei meist höheren Windgeschwindigkeiten (als nachts) durch verbesserte vertikale Durchmischung eine Verdünnung der Schadstoffe gewährleistet und ein Temperatúrausgleich stattfindet.

Der näheren Betrachtung der lokalen Verhältnisse in windschwachen Strahlungsnächten (Kap. 7) kommt daher eine besondere Bedeutung zu, denn gerade in solchen Nächten ist die thermische Schichtung stabil und verhindert eine Durchmischung bzw. Verdünnung der Emissionen.

## 5 Das Klima im Stadtgebiet von Neumarkt

Von der klimatischen Gliederung her liegt die Stadt Neumarkt in der Oberpfalz am westlichen Rand des Klimabezirkes "Fränkische Alb" im Übergangsbereich zum Klimabezirk "Mittelfranken".

Großklimatisch gesehen gehört dieses Gebiet zur feuchtwarmen, gemäßigten Westwindzone Mitteleuropas. Deren Klima wird weitgehend durch atlantische, d.h. milde und feuchte und somit wolkenreiche Luftmassen bestimmt, die mit den am häufigsten vertretenen Windrichtungen aus dem Südwest-, West- und Nordwestsektor herangeführt werden. Die Sommer sind dabei verhältnismäßig kühl, die Winter mild. Zeitweise machen sich aber auch kontinentale Klimaeinflüsse bemerkbar, und zwar bei anhaltend antizyklonal geprägter Luftzufuhr aus östlichen Richtungen. Dann kommt es im Sommer zu sonnenscheinreichem und warmem Wetter, im Winter vielfach zu Dauerfrost. Für das Stadtgebiet von Neumarkt ergibt sich aus dem gerade beschriebenen Wechsel zwischen maritimen und kontinentalen Einflüssen insgesamt auch ein wechselhafter Witterungscharakter.

Zur Beurteilung der allgemeinen klimatischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet bzw. im Stadtbereich von Neumarkt wurden insbesondere Beobachtungen

und Messungen der Klimastationen Amberg (386 m über NN) und Roth (340 m über NN), der Wetterstation Nürnberg-Flughafen (310 m über NN) sowie von den Niederschlagsmeßstationen Neumarkt-Woffenbach (426 m über NN) und Pilsach-Laabert (517 m über NN) und der Windmeßstation Neumarkt-Höhenberg (581 m über NN) herangezogen.

## 5.1 Lufttemperaturen

In den beiliegenden Tabellen 2 und 3 sind verschiedene Angaben über Lufttemperaturen der Stationen Roth und Amberg enthalten. Die Temperaturwerte von Amberg, das weiter östlich und etwas höher als Roth gelegen ist, sind allgemein etwas niedriger als die Werte von Roth und weisen einen etwas stärkeren kontinentalen Einfluß auf. Für die hochgelegenen Stadtgebiete im Osten von Neumarkt sind eher die Werte von Amberg repräsentativ, während für das Stadtzentrum und die westlichen Ortsteile von Neumarkt die Werte von Roth eher die wirklichen Verhältnisse widerspiegeln.

Der Januar erscheint in den Tabellen als kältester Monat mit einem mittleren Monatsmittel der Lufttemperatur zwischen  $-1,2$  und  $-2,0$  °C. Die Temperaturen von Neumarkt entsprechen damit durchschnittlichen bayrischen Verhältnissen (Klimatlas von Bayern). Die mittlere Jahresschwankung zwischen dem kältesten Monat (Januar) und dem wärmsten Monat (Juli) beträgt  $19,0$  °C (Roth) bzw.  $19,1$  °C (Amberg). Dieser relativ hohe Jahresgang ist ein Hinweis auf kontinental geprägtes Klima.

Die mittlere Anzahl der Sommertage (mit mindestens  $25$  °C) beträgt im Raum Neumarkt etwa um die 40, sogenannte Tropentage (mindestens  $30$  °C) gibt es dort im Mittel etwa 8. Frosttage treten im Raum Neumarkt im langjährigen Mittel ungefähr 110 mal pro Jahr auf, sogenannte Eistage gibt es langjährig etwa 22 bis 25 (Tabellen 2 und 3).

### 5.1.1 Einfluß städtischer Bebauung auf die Lufttemperatur

Untersuchungen haben gezeigt, daß die Temperaturdifferenzen zwischen Stadt und Umland nachts größer sind als tagsüber und im Sommer größer als im Winter (HELBIG, 1988) und daß - wie bereits oben beschrieben - die Jahresmitteltemperatur um 0,2 K ansteigt, wenn die Versiegelung des Bodens um 10 % zunimmt (BRÜNDL u.a.). Die größten Temperaturdifferenzen werden stundenweise in der zweiten Nachthälfte der Sommermonate Juni bis August beobachtet. In der ersten Nachthälfte, während der die Abkühlung noch nicht so weit fortgeschritten ist, bilden sich geringe Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland aus (KUTTLER, 1997).

Ein Vergleich von Stadtstationen mit Umlandstationen in Deutschland ergab eine Zunahme der mittleren täglichen Maxima (Mai bis Oktober) von 0,8 K im Zeitraum von 70 Jahren (HAVLIK, 1981).

## 5.2 Niederschläge

Die mittlere monatliche Verteilung der Niederschlagshöhen in Neumarkt-Woffenbach von 1961 bis 1990 ist der Tabelle 4 zu entnehmen. Die mittlere Jahressumme der Niederschlagshöhe dieses Zeitraums liegt bei 759 mm. Die größte monatliche Niederschlagssumme (in diesem Zeitraum) stellte sich im Oktober 1981 mit 189 mm ein, die kleinste wurde ebenfalls im Oktober (1962) registriert, damals fiel kein meßbarer Niederschlag.

Der mittlere Jahresgang der Niederschlagshöhe ist typisch für den Übergangsbereich zwischen maritimem und kontinentalem Klima. Dabei weisen die höheren sommerlichen Niederschläge auf ein Überwiegen des kontinentalen Klimatyps hin. Im Mittel gibt es an ca. 170 Tagen im Jahr mindestens 0,1 mm Niederschlag, an etwa 21 Tagen davon liegt die Tagessumme über 10 mm.



Die in der **Tabelle 4** angegebenen Werte können für einen großen Teil des Stadtgebietes von Neumarkt als repräsentativ angesehen werden, nicht allerdings für die Hangbereiche des Höhenbergs und des Wolfsteinbergs bzw. den Anstieg zu den Höhen der Fränkischen Alb und für die dortigen Höhenlagen. Daher werden in der **Tabelle 5** die Werte der Meßstation Pilsach-Laaber angegeben, welche den Höhenbereich besser repräsentieren und den Unterschied zu den tieferen Lagen verdeutlichen.

Die mittlere Jahressumme der Niederschlagshöhe beträgt in Laaber mit 956 mm immerhin ca. 26 % mehr als in Neumarkt-Woffenbach. Die größte monatliche Niederschlagssumme stellte sich dort im März 1988 mit 273 mm ein, die kleinste wurde dort im Oktober 1962 mit 4 mm registriert. Im Mittel gibt es in den Höhenlagen an ca. 162 Tagen im Jahr mindestens 0,1 mm Niederschlag und an etwa 27 Tagen davon liegt die Tagessumme über 10 mm.

Die oben angegebenen mittleren Jahressummen des Niederschlags zwischen 759 mm (Neumarkt-Woffenbach) und 956 mm (Pilsach-Laaber) liegen im Vergleich zu den niederschlagsarmen bzw. niederschlagsreichen Gebieten in Bayern im mittleren Bereich. Trocken sind z.B. große Gebiete im Raum Würzburg/Kitzingen/Schweinfurt mit einer mittleren Jahressumme von teilweise deutlich unter 650 mm, viel Niederschlag fällt dagegen in den Hochlagen des Bayr. Waldes mit mehr als 1300 mm sowie am Alpenrand, dort werden verbreitet mehr als 1500 mm im Jahr registriert.

Die mittlere Zahl der Tage im Jahr, an denen eine Schneedecke vorhanden ist, ist wegen der Höhenunterschiede im Untersuchungsgebiet unterschiedlich. Abgeschätzt nach den vorliegenden Beobachtungen in Roth und Amberg beträgt die Zahl der Tage im Jahr mit einer Schneedecke mit mindestens 1 cm Dicke in den tiefer gelegenen Bereichen im Stadtzentrum und im Westen etwa 45 bis 50 und in den hochgelegenen Bereichen im Osten etwa 50 bis 55.

### 5.2.1 Einfluß städtischer Bebauung auf den Niederschlag

Grundsätzlich lassen sich drei Prozesse unterscheiden, die zu einer Modifikation der Niederschläge durch die städtische Bebauung führen können (SCHÜTZ, 1996). Hierbei handelt es sich um

- eine Beeinflussung der Wolkendynamik durch den Wärmeinsellekt und die städtische Oberflächenrauigkeit (z.B. durch thermische und erzwungene Konvektion oder veränderte Advektionsverhältnisse),
- Eingriffe in die Wolkenphysik durch Partikelemission (z.B. Kondensationskerne) aus städtisch-industriellen Quellen und
- eine Modifizierung der Grenzschichtprozesse durch rauigkeitsbedingte Tropfenablenkung im bodennahen Windfeld.

Untersuchungen im Ruhrgebiet haben ergeben, daß Stadtstationen im Mittel ca. 7% mehr Niederschlag erhalten als ländliche Stationen und daß das Niederschlagsmaximum im Tagesgang in den frühen Morgenstunden auftritt (SCHÜTZ, 1996). Aufgrund des Wärmeinsellektes sind die Schneehöhen in der Stadt geringer als im Umland. Ferner können die in die Stadtatmosphäre emittierten Aerosole als Kondensationskerne dienen, wobei ihre Eignung allerdings entscheidend von der Beschaffenheit ihrer Oberflächenstruktur abhängt. Bei geeigneter Struktur und unter bestimmten meteorologischen Verhältnissen (antizyklonale Wetterlage mit Bodeninversion und Hochnebeldecke im Winter) kann dies z.B. zur Bildung von sogenanntem Industrieschnee führen.

### 5.3 Relative Luftfeuchte und Nebel

Luftfeuchte ist der Gehalt der Luft an gasförmigem Wasserdampf. Dieser gelangt durch Verdunsten von Wasser auf Wasser-, Schnee- und Vegetationsflächen, aber auch von unversiegelten und unbewachsenen Flächen in die Luft. Aus Neumarkt selbst liegen keine Messungen der relativen Luftfeuchte vor. In der

( ) **Tabelle 6** sind die Meßdaten der Klimastation Roth enthalten, die einen Überblick über den Jahresverlauf gibt und mit einer mittleren Abweichung von etwa 5 % auf das Stadtgebiet von Neumarkt übertragen werden können. Der Tabelle ist zu entnehmen, daß die relative Luftfeuchte im Stadtgebiet von Neumarkt im Winter mit Werten bis zu 86% ihr Maximum erreicht. Das Minimum liegt mit 69% im Juli. Der jahreszeitliche Unterschied kommt daher, weil kalte Luft weniger Wasserdampf aufnehmen kann als warme Luft. Bei niedrigen Temperaturen ist der maximal mögliche Sättigungsdampfdruck geringer als bei hohen und die relative Feuchte daher höher. Im Vergleich zu sonstigen Feuchtwerten in Bayern liegen die Werte von Neumarkt im mittleren Bereich (Klimaatlas von Bayern).

Die Nebelbildung erfolgt durch Kondensation des Wasserdampfs an Kondensationskernen (Aerosole natürlicher oder anthropogener Herkunft). Die **Tabelle 6** enthält die Auswertung der Beobachtungen von Roth und Amberg, die sich nur wenig unterscheiden und die in erster Näherung auf Neumarkt übertragen werden können. Nach diesen Auswertungen sowie den Angaben im Klimaatlas von Bayern ist im Stadtgebiet von Neumarkt im Mittel mit etwa 40 bis 45 Nebeltagen im Jahr zu rechnen, wobei das Maximum der Tage mit Nebel erwartungsgemäß in den Herbstmonaten liegt.

( ) Diese Angaben dürfen aber nur als grobe Näherung angesehen werden, da es lokal durchaus Abweichungen geben kann. In größeren Kaltluftstaubereichen (siehe Kap. 7.4.2) ist z.B. mit einer höheren, in den Hochlagen des Untersuchungsgebietes oberhalb der Inversion mit einer geringeren Nebelhäufigkeit zu rechnen. Gebietsweise kann Nebel auch aus seinem Entstehungsgebiet herangeführt werden (Advektionsnebel).

### 5.3.1 Einfluß städtischer Bebauung auf die Feuchte- und Nebelverhältnisse

Die Unterschiede zwischen Stadt- und Umlandatmosphäre hinsichtlich der Luftfeuchtigkeit sind auf die Effektivität und räumliche Verteilung der Wasserdampfquellen und -senken zurückzuführen. Zu einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in der Stadtatmosphäre führen folgende Faktoren (KUTTLER):

- die Freisetzung von Wasserdampf beim Verbrauch fossiler Brennstoffe (Industrie, Hausbrand, Kfz-Verkehr),
- die künstliche Wasserzufuhr durch offene Trinkwasser- und Abwasserkanäle,
- der eventuell erhöhte Niederschlag in Stadtgebieten sowie
- die durch die positive Temperaturanomale verursachte geringere nächtliche Taubildung.

Als Wasserdampfsenken treten

- die eingeschränkte Versickerung und Bodenwasserspeicherung,
- der schnelle Abfluß des Niederschlagswassers und
- die Reduktion der Verdunstungsflächen auf.

Grundsätzlich ist durch Untersuchungen festgestellt worden, daß in der Stadt tagsüber vorwiegend niedrigere, nachts dagegen durchaus höhere Werte der spezifischen Feuchte als im Umland auftraten. Ein zunehmender Stadteinfluß ist auch die Ursache für einen abnehmenden Trend bei der Nebelhäufigkeit in Städten. Hintergrund ist die Verstärkung der urbanen Wärmeinsel als Wasser-senke durch die zunehmende Versiegelung (SACHWEH, 1997).

### 5.4 Sonnenscheindauer und Bewölkung

Die Sonnenscheindauer ist die Zeit, in der die direkte Sonnenstrahlung auf die Erdoberfläche auftritt. Registrierungen der Sonnenscheindauer werden nur an

einigen Stationen gemacht. Die **Tabelle 7** enthält die Messungen von **Amberg** und **Weißenburg**. Im Zeitraum zwischen 5/83 und 2/84 (10 Monate) wurde auch auf dem **Neumarkter Höhenberg** die **Sonnenscheindauer** gemessen. In dieser Zeit war die **Sonnenscheindauer** in **Neumarkt** um etwa **7 %** höher als in **Amberg** und annähernd so hoch wie in **Weißenburg**. Übertragen auf einen langjährigen Zeitraum, was in erster Näherung zulässig ist, bedeutet dies, daß die Registrierungen von **Weißenburg** eher den in **Neumarkt** zu erwartenden Werten entsprechen.

Die **mittlere jährliche Sonnenscheindauer** im Raum **Neumarkt** liegt danach zwischen **1650** und **1680 Stunden**, ein vergleichsweise relativ hoher Wert. Für Kur- und Erholungsorte sind beispielsweise mindestens **1500 Stunden** gefordert. Der **mittlere Jahresgang** von **Weißenburg** (in **Tabelle 7** dargestellt) weist im **Juli** mit **235 Stunden** das **Maximum** und im **Dezember** mit **45 Stunden** das **Minimum** auf.

Einen Rückschluß auf die **Menge der Bewölkung** läßt auch die **Zahl der trüben** und der **heiteren Tage** zu. Die **mittlere Zahl der heiteren Tage** beträgt nach den Aufzeichnungen etwa **42 bis 45**, die **mittlere Zahl der trüben Tage** etwa **140**.

#### **5.4.1 Einfluß der städtischen Bebauung auf die Strahlung**

Der **Tabelle 1 (H.E.LANDSBERG)** war bereits zu entnehmen, daß sich in **Städten** gegenüber dem **Umland** sowohl die **Globalstrahlung** als auch die **UV-Strahlung** und die **Sonnenscheindauer** reduzieren. Nach **BRÜNDL u.a.** reduziert sich die **Globalstrahlung** über **Städten** im **Sommer** um etwa **6 %** und im **Winter** um **15 %** gegenüber dem **Umland**.

Ursache für die **Minderung** ist die **Luftverschmutzung**, deren Grad in erheblichem Maße von den prägenden **Emissionsquellen** (**Verkehr**, **Hausbrand**, **Industrie**) abhängt. **Emissionsminderungsmaßnahmen** führen zu einer langfristigen

Abnahme der Spurenstoffkonzentrationen, wie sie z.B. durch den Schwefeldioxidgehalt der Luft mittlerweile in vielen Städten beobachtet werden kann.

## 6.5 Windgeschwindigkeit und Windverteilung

### 6.5.1 Allgemeine Grundlagen zu den Windverhältnissen

Nach einer internationalen Übereinkunft (WMO) wird der Wind in einer Höhe von 10 m über Grund gemessen und die Angaben zu mittleren Windgeschwindigkeiten beziehen sich normalerweise auf diese Höhe.

In Höhen von etwa 1000 m und mehr über Grund weht der Wind nahezu parallel zu den Isobaren. Die Windgeschwindigkeit ist oberhalb dieser bodennahen Schicht, wo der Einfluß der Reibungskraft wirkt, nur abhängig von den horizontalen Luftdruckunterschieden. Man spricht in diesem Fall auch vom geostrophischen Wind. Mit Annäherung an den Erdboden nimmt der Einfluß der Reibungskraft immer mehr zu, so daß eine Verringerung der Windgeschwindigkeit eintritt. Direkt an der Erdoberfläche ist die Windgeschwindigkeit null. Umgekehrt betrachtet nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu - und zwar recht stark innerhalb der ersten 100 m - bis sie sich in etwa 1000 m über Grund dem geostrophischen Wind angleicht. Neben einer Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe ist auf der Nordhalbkugel der Erde eine Rechtsdrehung des Windes verbunden, so daß z.B. ein bodennaher Südwind in der Höhe mit Südwestwind verbunden ist.

In Bodennähe findet eine Modifikation des Windfeldes durch unterschiedliche topographische Verhältnisse und durch verschiedene Bodennutzungsformen statt: In flachem, ebenem Gelände weht der Wind nahezu ungestört. Die Windgeschwindigkeiten sind relativ hoch, da größere Geländehindernisse nicht vorhanden sind (geringe Oberflächenrauigkeit). In topographisch gegliedertem Gelände dagegen - wie im Raum Neumarkt - gibt es eine Reihe zusätzlicher Faktoren, die sich auf das Windfeld auswirken. Tallagen führen in der Regel

nicht nur zu einer Verringerung der mittleren Windgeschwindigkeit, sondern modifizieren - durch Leiteffekte - auch die Verteilung der Windrichtung (WIPPERMANN, 1987). Kuppen- bzw. Kammlagen, Höhenrücken oder Berggipfel weisen gegenüber der Umgebung im Mittel höhere Windgeschwindigkeiten auf.

Neben diesen Abhängigkeiten gibt es weitere Parameter, die zu einer kleinräumigen, lokalen Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit beitragen. Der Einfluß der Bodennutzung (Wald, Städte) auf das bodennahe Windfeld wirkt sich im Mittel geschwindigkeitsmindernd aus, wenn auch im Einzelfall durch Düsen- oder Eckeneffekte (in Straßenschluchten oder Waldschneisen) die Windgeschwindigkeit durchaus erhöht werden kann. Größere Wasserflächen dagegen bewirken - aufgrund ihrer geringen Oberflächenrauigkeit - eine weniger starke Abschwächung der mittleren Windgeschwindigkeit.

Die Windgeschwindigkeit ist ein klimatologisches Element, das im Hinblick auf die bioklimatischen Verhältnisse eines Raumes für die Planung von großem Interesse ist. Auch im Bereich der Lufthygiene spielt die Windgeschwindigkeit eine große Rolle, da sie ein Maß für die Verdünnung und den Abtransport von Luftbeimengungen darstellt. Insbesondere Schwachwindsituationen oder Windstillen über einen längeren Zeitraum hinweg können - bei entsprechenden Schadgasemissionen - zu einer erhöhten Immissionsbelastung in Bodennähe führen.

### 6.5.2 Windverhältnisse im Raum Neumarkt

Die mittlere Windgeschwindigkeit (in 10 m Höhe über Grund) und die Windverteilung werden im Bereich von Neumarkt ganz entscheidend durch dessen Lage im Tal der Schwarzach bzw. des hier am westlichen Rand der Fränkischen Alb von Nord nach Süd verlaufenden ehemaligen Ludwig-Main-Donau-Kanal - bestimmt (siehe 5.5.1). Die Tabelle 8 enthält die Meßdaten der Windmeßstation Neumarkt-Höhenberg aus dem Zeitraum März 1981 bis Februar 1987 (Meßgeber

in 10 m Höhe). Das Gelände, auf dem sich die Windmeßstation befindet, liegt in einer Höhe von 581 m über NN auf dem östlich der Stadt gelegenen Höhenberg und damit um etwa 150 bis 160 m über dem Stadtkern. Die Windmeßanlage ist ringsherum vollkommen frei gelegen, die Meßwerte repräsentieren daher die Windverhältnisse in der Höhe über der Stadt.

Auf dem Höhenberg beträgt die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit immerhin 3,6 m/s. Das höchste Windmittel tritt im Januar mit 4,3 m/s, das niedrigste in den Sommermonaten Juli und August mit jeweils 2,8 m/s auf.

Die mittlere Windgeschwindigkeit ist im Stadtgebiet von Neumarkt (Stadtzentrum) wesentlich geringer. Nach GERTH und CHRISTOFFER (Windkarten von Deutschland) ist die Windgeschwindigkeit dort nach einer Abschätzung aus mehreren Gründen (Kuppenlage der Meßstation, Höhenunterschied, Tallage des Stadtzentrums) um einen Faktor von etwa 40 - 50 % niedriger. Umgerechnet auf den Bereich des Stadtzentrums und dessen Umgebung liegt das mittlere Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe danach bei etwa 2,0 m/s (siehe Tabelle 8). Das höchste Windmittel im Januar beträgt nach dieser Abschätzung umgerechnet etwa 2,4 m/s, die niedrigsten Windmittel im Juli und August jeweils etwa 1,5 m/s.

Im Rahmen der Erstellung von Klimaeignungskarten wird die mittlere Windgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet auch berechnet (siehe Kap. 7.4.5).

In der Abbildung 3 ist die Windverteilung von Neumarkt-Höhenberg enthalten. Die Windverteilung spiegelt die Verhältnisse in der Höhe über der Stadt wider. Die Windrichtungen sind relativ gleichmäßig auf alle Richtungen verteilt. Hauptwindrichtung ist der 30°-Sektor Westsüdwest (230 bis 250°) mit einem Anteil von 12,6 %. es folgt der Ostsektor (80 bis 100°) mit 11,5 %. Mit einem Anteil von knapp 11 % weht der Wind nahezu ebenso häufig aus den Sektoren West (260 bis 280°) und Südsüdwest (200 bis 220°). Das Minimum bei der Windrichtungsverteilung liegt bei den Sektoren Nord und Nordnordost (350 bis 40°) mit einem Anteil von zusammen 8 %.



Die hohen Windgeschwindigkeiten kommen hauptsächlich aus den Sektoren Ost und Westsüdwest. Schwacher Wind (unter 3 Knoten bzw. 1,5 m/s) weht an der Station Höhenberg relativ gleichmässig verteilt aus allen Richtungen mit einem leichten Übergewicht aus dem Bereich Südwest bis Nordwest. Der Schwachwindanteil insgesamt beträgt 20 % aller Fälle.

Aufgrund der Topographie und der um ungefähr 50 % geringeren mittleren Windgeschwindigkeiten im Stadtgebiet von Neumarkt ist dort einerseits die Windrichtungsverteilung anders und andererseits der Schwachwindanteil wesentlich höher zu erwarten. In den tieferen Lagen wird sich die Leitwirkung der angrenzenden Höhen stärker durchsetzen und zu einer deutlicheren Polarisierung der Windrichtungen (insbesondere auch bei der Schwachwindverteilung) führen. Im Stadtgebiet z.B. ist eine stärkere Südwest-Nordost-Ausrichtung zu erwarten.

## 6 Ausbreitungsverhältnisse in Neumarkt

### 6.1 Allgemeine Ausbreitungsverhältnisse und atmosphärische Schichtung

Die Ausbreitung von Luftbeimengungen in der Atmosphäre ist, sofern Depositionsprozesse nicht berücksichtigt werden, im wesentlichen abhängig von der Windrichtung und dem Turbulenzzustand der Atmosphäre. Letzterer wiederum ist eine Funktion von thermischer Schichtung, Windgeschwindigkeit und Bodenrauigkeit.

Wegen der größeren Bodenrauigkeit im Bereich von bebauten Gebieten ist die Windgeschwindigkeit im Stadtbereich geringer als im ungestörten Umland. Für die örtlichen Durchlüftungsverhältnisse ist neben der Windgeschwindigkeit die Häufigkeit von Inversionen (mit stabiler Schichtung) von Bedeutung.

Die atmosphärische Schichtung ist neben der Windgeschwindigkeit bzw. -richtung eine wesentliche GröÙe bei der Ausbreitung von Schadstoffen und daher

bei lufthygienischen Fragestellungen von großem Interesse. Meteorologisch gesehen ist sie ein Maß für den Stabilitätszustand der Atmosphäre und wird durch die Änderung der Temperatur mit der Höhe (vertikaler Temperaturgradient) beschrieben.

Bei gut durchmischter Atmosphäre (hohe Windgeschwindigkeit und Turbulenz) stellt sich eine Temperaturabnahme von 1 K/100 m ein (indifferente oder neutrale Schichtung). Bei starker Sonneneinstrahlung kann die Temperatur in Bodennähe oft um mehr als 1 K/100 m abnehmen (labile Schichtung). Stabile Schichtung tritt bei einer vertikalen Temperaturabnahme von weniger als 1 K/100 m auf. Bei extrem stabilen Schichtungen nimmt die Temperatur mit der Höhe zu; in diesem Fall spricht man von einer Inversion.

Das Auftreten und die Andauer von Inversionen ist abhängig von meteorologischen Faktoren (Großwetterlagen), geographischen bzw. topographischen Gegebenheiten (Tal-, Mulden-, Beckenlagen) sowie von der Zeit (Jahres- oder Tageszeit). Inversionen lassen sich einerseits unterscheiden nach ihrer Entstehung in:

- **Strahlungsinversion:** Ausstrahlung und Abkühlung an bestimmten Oberflächen (z.B. Erdboden, Nebel- oder Wolkenobergrenze), während die darüber liegende Luftschicht wärmer ist. Strahlungsinversionen bilden sich überwiegend nachts und erreichen am Morgen ihre größte vertikale Mächtigkeit.
- **Absinkinversion:** großräumige Absinkvorgänge und damit verbundene adiabatische Erwärmung vor allem in Hochdruckgebieten; Absinkinversionen sind großwetterlagenabhängig und weisen keinen typischen Tages- oder Jahresgang auf; sie befinden sich meist in Höhenlagen zwischen 800 m und 1200 m über Grund.

Andererseits findet eine Unterscheidung nach ihrer Erscheinungsform statt:

- **Bodeninversion:** meist Strahlungsinversion, deren Untergrenze der Erdboden bildet; Bodeninversionen sind in den Tallagen des Mittelgebirgsbereichs besonders häufig;

**abgehobene Inversion:** am Boden aufliegende Inversion wird durch Erwärmung aufgelöst, ist jedoch in der Höhe noch vorhanden;

- **Höheninversion:** kann in allen Höhenlagen auftreten und entsteht teils als Absinkinversion, teils als abgehobene Inversion.

Der Einfluß der atmosphärischen Schichtung auf die Schadgaskonzentration in Bodennähe ist vielfältig. Bei labilen und indifferenten Schichtungsverhältnissen findet aufgrund der erhöhten Konvektion meist eine rasche Verdünnung der in die Atmosphäre abgegebenen Luftbeimengungen statt. Mit zunehmender Stabilisierung verringert sich dieser Effekt. Bei Inversionswetterlagen schließlich findet kein nennenswerter vertikaler Austausch mehr statt, so daß sich Luftverunreinigungen innerhalb der Inversionsschicht anreichern können.

Insbesondere in Stadtgebieten beobachtet man oft abgehobene Inversionen. Da die Inversionsuntergrenze in diesem Falle wie ein Deckel wirkt, können sich Schadstoffe lediglich in der schmalen Mischungsschicht zwischen Erdboden und Inversion ausbreiten. Im Falle einer längeren Andauer ist - insbesondere in industriellen Ballungsgebieten - die Gefahr zur Ausbildung einer Smogsituation gegeben.

Aufgrund von mehrjährigen Radiosondenaufstiegen im Großraum Nürnberg kann in erster Näherung für Nordbayern der Anteil an Bodeninversionen abgeschätzt werden. Im Raum Neumarkt entstehen danach in ca. 60 bis 70 % aller Nächte Strahlungsinversionen. Günstigere Austauschbedingungen im Sinne geringerer Häufigkeiten sind meist nur in windexponierten Lagen, z.B. auf Hochflächen oder auf Anhöhen, anzutreffen. Die Mächtigkeit der Bodeninversionen dürfte im

Mittel im Sommer zwischen 200 und 300 m liegen, im Winter zum Teil etwas mehr.

Für den Raum Neumarkt gilt insbesondere für die bebauten Gebiete in den tieferen Lagen wegen der dort herrschenden geringen mittleren Windgeschwindigkeit (etwa 2,0 m/s im Jahresmittel, siehe Kap. 5.5.2) und der Inversionshäufigkeit, daß die bodennahe Durchlüftung eingeschränkt ist. In den Hochlagen bzw. den windexponierten Lagen des Stadtgebiets ist die Durchlüftung wesentlich besser. Eine ausführliche Beschreibung der Durchlüftungsverhältnisse im Bereich von Neumarkt enthält Kapitel 8.

## 6.2 Interpretation der Ausbreitungsklassenstatistik

Eine genauere Betrachtung der örtlichen Stabilitäts- und Ausbreitungsverhältnisse gegliedert nach Windrichtungen ermöglicht die sogenannte Ausbreitungsklassenstatistik. Hierbei wird der thermische Zustand in der atmosphärischen Grenzschicht mittels Bedeckungsgrad, Wolkenart, Sonnenstand und Windgeschwindigkeit klassifiziert. Nach KLUG (1969) und MANIER (1975) wird der thermische Zustand in sechs Ausbreitungsklassen eingeteilt:

Klasse	Temperaturschichtung	Austausch
I	sehr stabil	extrem gering
II	stabil	gering
III <sub>1</sub>	indifferent, leicht stabil	mittel
III <sub>2</sub>	indifferent, leicht labil	mittel
IV	labil	gut
V	sehr labil	sehr gut

Die auf der Basis der Messungen an der dortigen Windmeßstation errechnete Ausbreitungsklassenstatistik kann in erster Näherung auf den Stadtbereich von Neumarkt übertragen werden. Die folgende Tabelle enthält die relativen Häufigkeiten der einzelnen Ausbreitungsklassen von Neumarkt-Höhenberg:

I	II	III <sub>1</sub>	III <sub>2</sub>	IV	V
8,5 %	17,8 %	46,3 %	16,9 %	6,6 %	4,0 %

Am häufigsten kommt im Raum Neumarkt die Ausbreitungsklasse III<sub>1</sub> vor, am seltensten die Ausbreitungsklasse V (= sehr gute Durchmischung). Summiert über alle Windgeschwindigkeiten betragen die entsprechenden relativen Häufigkeiten etwa 46 % bzw. 4 %. Stabile und sehr stabile Ausbreitungsklassen (= geringer atmosphärischer Austausch, Klassen I und II) werden in etwa 26 % aller Fälle angetroffen. Labile und sehr labile Ausbreitungsklassen mit guten bis sehr guten Austauschverhältnissen (Klassen IV und V) kommen in knapp 11 % aller Fälle vor.

Es ist davon auszugehen, daß in den Fällen mit stabiler Schichtung (Ausbreitungsklassen I und II, ca. 26 % aller Fälle) zumindest zeitweise nächtliche Borgwinde vorhanden sind, die in ihrer Ausprägung nicht von der Windmeßstation auf dem Höhenberg erfaßt werden und die eine für das Stadtgebiet von Neumarkt wichtige lufthygienische Ausgleichsleistung haben (siehe Kap. 7.4). Die relative Häufigkeit der stabilen Fälle ist damit ein wichtiges Indiz für die Bedeutung der Kaltluftflüsse für die Stadt.

Die Abbildung 4 (Windrose von Neumarkt-Höhenberg) zeigt die jährlichen relativen Häufigkeiten der Ausbreitungsklassen für stabile (Klassen I bis III<sub>1</sub>, blaue Linie) und für labile (Klassen III<sub>2</sub> bis V, rote Linie) Fälle in Abhängigkeit von der Windrichtung. Die Windrichtung ist dabei in 12 Sektoren zu je 30° unterteilt.

Insgesamt gesehen ist die Verteilung relativ gleichmässig mit einer gewissen Häufung auf bestimmte Richtungen.

Bei den stabilen Fällen sind bei Windrichtungen aus den Sektoren West bis Südsüdwest ( $170^{\circ}$  bis  $280^{\circ}$ ) und Ost bis Ostsüdost ( $80^{\circ}$  bis  $130^{\circ}$ ) die Anteile mit insgesamt 25 % bzw. knapp 17 % am höchsten (Abb. 4, blaue Linie). Emissionen Schadstoffe (z.B. aus Industrie, Hausbrand oder Verkehr) breiten sich daher bei stabiler Schichtung (mit geringer Durchmischung) im Raum Neumarkt vorzugsweise entweder in Richtung Nordnordost bis Ost oder in Richtung West bis Westnordwest aus. Dagegen breiten sich Schadstoffe bei stabiler Schichtung weniger häufig (knapp 6 % aller Fälle) in Richtung Süd bis Südsüdwest aus ( $170^{\circ}$  bis  $220^{\circ}$ ).

Die labilen Fälle sind für die Betrachtung der Schadstoffausbreitung von geringerer Bedeutung, da bei labiler Schichtung eine gute Durchmischung und entsprechende rasche Verdünnung der emittierten Stoffe gegeben ist. Die Anteile mit labiler Schichtung - meist verbunden mit höheren Windgeschwindigkeiten - kommen vorzugsweise aus dem Nordwestsektor (Abb. 4, rote Linie).

Die Ausbreitungsklassenstatistik ermöglicht aber nicht die Betrachtung des Spezialfalls unter den stabilen Ausbreitungsverhältnissen, der autochthonen Wetterlagen (windschwache Strahlungsnächte). In diesen entwickeln sich Lokalwindzirkulationen. Windmeßstationen, die einen größeren Bereich repräsentieren, werden aber - wie auch im vorliegenden Fall - meist außerhalb der Reichweiten lokal begrenzter Hangwindzirkulationen aufgestellt. Diese Wetterlagen, bei denen sich lokale Besonderheiten, wie z.B. Kaltluftflüsse entwickeln, werden in Kap. 7 eingehend untersucht.

### 6.3 Ausbreitung verkehrsbedingter Schadstoffemissionen

Bei freier Ausbreitung von Schadstoffen an Straßen (ohne Randbebauung) hängt die Immission von meteorologischen Einflußgrößen wie Windrichtung und -geschwindigkeit, Stabilität und von chemischen Reaktionsprozessen ab. Die Schadstoffbelastung verringert sich mit zunehmendem Abstand vom Fahrbahnrand. Die Schadstoffe haben spezifische Abklingfunktionen, die sich auch nach dem Bezugszeitraum (Bezugsjahr) unterscheiden (MLuS-92). Über das Bezugsjahr gehen emissionsmindernde Maßnahmen (z.B. höherer Kfz-Anteil mit Katalysator, verbesserte Katalysatoren oder Kraftstoffe usw.) in die Berechnungen ein.

Als Beispiel ist in **Abbildung 5** eine Abklingfunktion für Jahresmittelwerte dargestellt. Deutlich wird in dieser Darstellung, daß die Belastung zunächst relativ stark und mit zunehmendem Abstand vom Fahrbahnrand dann aber langsamer abnimmt. In dem Beispiel in der Abb. 5 ist die Schadstoffkonzentration bereits nach 20 m auf etwa die Hälfte der ursprünglichen Konzentration abgesunken.

Untersuchungen über den Einfluß von Schutzbauwerken (Wand oder Weile) und Anpflanzungen auf die Abklingfunktion haben gezeigt, daß eine Wand die beste Schutzfunktion hat (VDI, 1993). Wenn die Wand unmittelbar am Fahrbahnrand steht, sind die Konzentrationen um ca. 60 % niedriger als bei freier Ausbreitung. Die **Abbildung 6** zeigt beispielhaft den Einfluß einer Lärmschutzwand auf die  $\text{NO}_x$ -Konzentration (VDI, 1988). In einem Abstand von 20 m vom Fahrbahnrand sinkt in diesem Beispiel die Konzentration ohne Wand auf ca. 55 %, mit Wand auf ca. 25 % der ursprünglichen Konzentration.

Seitliche Bepflanzungen üben in erster Linie eine gewisse Filterfunktion aus, dies betrifft vor allem Staubteilchen (Grob- und Feinstäube). Die beste Wirkung wird im allgemeinen durch eine Gehölzpflanzung mittlerer Winddurchlässigkeit erreicht (MLuS-92). Um gleichzeitig positive Auswirkungen auf die Immissionskonzentrationen von Stäuben und Gasen - im Sommer wie im Winter - zu erzielen,

empfehlte es sich, Anpflanzungen (mit einem gewissen Anteil an Nadelgehölzen) von mindestens 10 m Tiefe anzulegen. Gebüschtiefen von 10 bis 14 m reichen aus, um gegenüber der freien Ausbreitung Konzentrationsminderungen zwischen 60 und 70 % zu erreichen (VDI 1993). Die Abbildung 7 zeigt beispielhaft den Einfluß einer Bepflanzung auf den Bleigehalt von Moosproben. Im Vergleich zur freien Ausbreitung sinkt der Bleigehalt mit zunehmendem Abstand vom Fahrbahnrand deutlich stärker ab.

Die Ausbreitung verkehrsbedingter Schadstoffe im Bereich von Stadtstraßen unterliegt gewissen Besonderheiten. Im Unterschied zur Industrie und zum Hausbrand gibt es bei der Emission einen ausgeprägten Tages- und Wochen- gang. Wegen der geringen Distanz zwischen Emissions- und Immissionsort schlagen auch Besonderheiten im Verkehrsgeschehen, z.B. Staus bzw. Verkehrsfluß, auf die Immission durch. Auch die Menge der Kraftfahrzeuge, der Anteil der Lkw und die gefahrene Geschwindigkeit haben einen starken Einfluß auf die Emission (MLuS-92).

Bei einer straßenparallelen Strömung sind die Schadstoffkonzentrationen im Bereich der Straßen bei beidseitiger Bebauung (Häuser, Böschung oder Lärmschutzwand) relativ symmetrisch angeordnet und deutlich niedriger, als im Vergleich zur Queranströmung (siehe Abbildung 8). Nach Messungen sind auch bei einseitiger Randbebauung und straßenparalleler Strömung ähnliche Konzentrationen wie bei geschlossener Randbebauung vorhanden (VDI, 1993).

#### 6.4 Berechnungsbeispiele für die Immissionsbelastung nach MLuS-92

Die Tabellen 9 bis 14 enthalten Berechnungsbeispiele für die Immissionsbelastung verschiedener Schadstoffe nach MLuS-92 mit bestimmten Vorgaben, wie z.B. mittlere tägliche Verkehrsbelastung, prozentualer Anteil der LKW, mittlere Geschwindigkeiten der PKW bzw. LKW (das Rechenprogramm erfordert allerdings mehr als 50 km/h), mittlere jährliche Windgeschwindigkeit und



prozentualer Anteil der Schwachwinde an den Stundenmittelwerten. Für mehrere unterschiedliche Schadstoffe werden die Belastungen für den Fall der freien Ausbreitung in Abhängigkeit von der Entfernung vom Straßenrand angegeben. Für Blei werden keine Werte angegeben, da sie entsprechend niedrig sind. Hier wirkt sich die Verwendung von bleifreiem Kraftstoff positiv aus.

Die Tabellen 9, 11 und 13 enthalten die Jahresmittelwerte der verschiedenen Schadstoffkomponenten, die Tabellen 10, 12 und 14 zeigen die sogenannten 98-Perzentil-Werte. Ein 98-Perzentil-Wert wird nur in 2 % der Zeit überschritten und stellt daher eine Spitzenbelastung dar. Die in den Tabellen 9 und 10 vorgegebene durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) von 15 000 Kfz entspricht in etwa den Zahlen, die im Ortsbereich von Neumarkt im Jahr 1995 auf der B 299 und der B 8 an verschiedenen Stellen ermittelt wurden. In den Tabellen 11 bis 14 wurden 24 000 Kfz für die Berechnungen zugrundegelegt, diese Zahlen wurden 1995 im Ortszentrum im Bereich der Amberger Straße zwischen Nürnberger Str. (B 8) und Altdorfer Str. (St 2240) ermittelt und stellten die höchste Verkehrsdichte im Raum Neumarkt dar (Quelle: Verkehrsmengen-Atlas Bayern).

Aus den Tabellen ist die Abnahme der Belastung der unterschiedlichen Schadstoffkomponenten für den Fall der freien Ausbreitung mit zunehmender Entfernung von der Straße bzw. Schadstoffquelle ersichtlich. Der - relativ große - Einfluß von seitlicher Bebauung, Lärmschutzwänden oder von Bepflanzungen auf die Ausbreitung wurde in Kapitel 6.3 beschrieben.

Im Berechnungsbeispiel in den Tabellen 11 und 12 ist gegenüber dem Beispiel in den Tabellen 9 und 10 die Verkehrsbelastung um 60 % höher. Aus den Tabellen 9 und 11 ist zu entnehmen, wie sich in diesem Fall die Immissionswerte bei den Jahresmittelwerten verändern (Tabellen 10 und 12 gelten entsprechend für die 98-Perzentil-Werte). Die Werte von Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffmonoxid (NO<sub>x</sub>) z.B. steigen bei der höheren Verkehrsbelastung sowohl bei den Jahresmittelwerten als auch bei der Spitzenbelastung entsprechend der höheren

**Verkehrsbelastung** ebenfalls um ca. 60 % an, unabhängig von der Entfernung vom Fahrbahnrand. Die prozentuale Veränderung der anderen Schadstoffkomponenten ist zum Teil ähnlich und kann den Tabellen entnommen werden.

Im Berechnungsbeispiel in den Tabellen 13 und 14 ist gegenüber dem Beispiel in den Tabellen 11 und 12 der **Lkw-Anteil von 10 auf 20 % verdoppelt** worden. Den Tabellen 11 und 13 ist zu entnehmen, wie sich in diesem Fall die Immissionswerte bei den Jahresmittelwerten verändern (Tabellen 12 und 14 gelten entsprechend für die 98-Perzentil-Werte). Die Werte von Kohlenmonoxid (CO) z.B. steigen bei dem doppelten Lkw-Anteil sowohl bei den Jahresmittelwerten als auch bei der Spitzenbelastung um ungefähr 16 % an, unabhängig von der Entfernung vom Fahrbahnrand. Die Werte von Stickstoffmonoxid (NO<sub>x</sub>) steigen dagegen sehr deutlich um ca. 80 % (!) und die der anderen Schadstoffkomponenten zwischen 60 bis 70 % an. Diese Berechnungen verdeutlichen den besonders hohen Beitrag der Lastkraftwagen an der Schadstoffbelastung.

Die in den Tabellen 9 bis 12 angegebenen Werte liegen alle meist deutlich unter den in der Literatur (TA-LUFT bzw. MLuS-92) angegebenen Grenzwerten, die als unbedenklich für die menschliche Gesundheit angesehen werden. Die Werte in den Tabellen 13 und 14 dagegen (hoher Lkw-Anteil) erreichen bei einzelnen Komponenten (NO<sub>x</sub>, PM) in unmittelbarer Nähe der Fahrbahn gesundheitsbedenkliche Größenordnungen.

## 7 Klimaeignungskarten

Zu den sogenannten Klimaeignungskarten zählen die mittels Modellrechnung erstellten Kartierungen der lokalklimatisch bedeutsamen Flächen, der Durchlüftungsverhältnisse, der Freiflächensicherung, des Bioklimas und der Erholungseignung. Diese Karten geben Aufschluß über lokalklimatische Besonderheiten und sind für Planungszwecke sehr nützlich. Das für die Erstellung der Karten notwendige Datenmaterial wird im folgenden Kapitel (7.1) beschrieben.

## 7.1 Datenmaterial

### 7.1.1 Digitale topographische Daten

Zur Durchführung von Modellrechnungen für die Erstellung von Klimaeignungskarten sowie deren graphischer Darstellung sind hochauflösende digitale topographische Daten nötig. Das bedeutet, daß das zu untersuchende Gebiet kartentechnisch in eine Vielzahl von kleinen Rasterpunkten zerlegt werden muß, wobei für jeden Rasterpunkt eine Information über die mittlere Geländehöhe sowie die Erdoberflächenbedeckung (Bewuchs, Bebauung) benötigt wird.

Die Höhendaten und die Landnutzungsklassen wurden aus den zur Verfügung gestellten topographischen Karten (Maßstab 1 : 25 000) digitalisiert und mit Hilfe eines Rechnerprogramms auf ein 25 m Raster umgerechnet. Die Fläche des dargestellten Untersuchungsgebietes, das neben der Stadt Neumarkt auch Teilflächen der angrenzenden Gemeinden umfaßt, beträgt 108 km<sup>2</sup>. Der Kartenbereich erstreckt sich von Rechtswert 4455 bis Rechtswert 4467 (12 km) und von Hochwert 5456 bis Hochwert 5465 (9 km) des Gauß-Krüger Koordinatensystems.

Bei den Landnutzungsklassen wurde unterschieden in dichte und lockere Bebauung, Wälder, überwiegend baumbestandene Freiflächen (Parks, Obstgärten, Baumschulen etc.), Gewässer und Verkehrsflächen (Straßen, Gleisanlagen).

Die beiden Datensätze Höhe und Landnutzung wurden anschließend daraufhin überarbeitet, daß zum Beispiel Täler ein Gefälle zum nächsttieferliegenden Talssystem aufweisen, Flüsse auch tatsächlich im Talgrund verlaufen oder größere Seenflächen eine einheitliche Höhe besitzen. Wenn nötig, wurden die Daten an einigen Stellen korrigiert.

### 7.1.2 Winddaten

Der Deutsche Wetterdienst unterhält ein umfangreiches Windmeßnetz von derzeit etwa 300 Stationen im gesamten Bundesgebiet (einschließlich der neuen Bundesländer), an denen kontinuierliche Windmessungen durchgeführt werden. In einer nachträglichen Auswertung dieser Daten werden Stundenmittelwerte von Windrichtung und Windgeschwindigkeit ermittelt. Gemäß einer internationalen Vereinbarung soll die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund in ebenem und offenen Gelände gemessen werden. Diese Forderung kann jedoch aus verschiedenen Gründen nicht an allen Stationen eingehalten werden, so daß die Windmessung oft an Stadt-/Stadttrandstationen oder auf stark bewaldeten Bergkuppen in zum Teil größeren Anemometerhöhen (= Höhe, in der die Windmessung stattfindet) erfolgt.

Neben dem o.a. regulären Windmeßnetz des Deutschen Wetterdienstes gibt es in unterschiedlichen Gebieten der Bundesrepublik Deutschland eine Vielzahl von temporären Windmessungen (d.h. Messungen, die nur kurzzeitig - meist für die Dauer von 1 bis 2 Jahren - durchgeführt wurden). Bezüglich der Datenauswertung (Stundenmittelwerte) und der Anemometerhöhe (nach Möglichkeit 10 m über Grund) gelten - aus Gründen der Vergleichbarkeit - die gleichen Richtlinien wie beim regulären Windmeßnetz.

Bei der Beurteilung einer Windmessung ist zu beachten, daß diese zunächst für den unmittelbaren Standort des Windmessers gilt. Eine Übertragung auf den umgebenden Raum setzt die Kenntnis der näheren Stationsumgebung voraus. Neben bekannten Größen wie Höhe oder geographische Lage, wurde im Rahmen dieser Untersuchung die Landnutzung im Umkreis von 3 km um die Station digitalisiert sowie eine Bestimmung der topographischen Form (Kuppenlage, Tallage, Muldenlage u.ä.) vorgenommen und in Form eines umfangreichen "Stationslexikons" auf elektronischen Datenträgern abgespeichert.

### 7.1.3 Klimadaten

Speziell für klimatologische Zwecke betreibt der Deutsche Wetterdienst ein Klimameßnetz von etwa 400 Stationen, an denen von Überwiegend nebenamtlichen Beobachtern eine Vielzahl von meteorologischen Größen und Parametern gemessen oder bestimmt werden. U.a. liegen aus diesem Meßnetz tägliche Minima der Lufttemperatur auch aus der Umgebung von Neumarkt (gemessen in einer Höhe von 2 m über Grund) vor, die für die Untersuchungen des Abschnittes 7.3.1.3 (Inversionshäufigkeit) benötigt werden.

Das tägliche Minimum der Lufttemperatur ist ein Element, das hauptsächlich durch die nächtliche Ausstrahlung bestimmt wird. Der Zeitpunkt, an dem die tiefste Lufttemperatur auftritt, kann von Station zu Station unterschiedlich sein, liegt jedoch in der Regel kurz vor Sonnenaufgang. Bei Strahlungswetterlagen (geringer Bewölkungsgrad, niedrige Windgeschwindigkeit) ist dies der Zeitpunkt, an dem nicht nur häufig Bodeninversionen vorhanden sind, sondern auch die Inversionsmächtigkeit (Höhe der Inversion) ihr Maximum erreicht hat.

## 7.2 Klimatologische Grundlagen der Klimaeignungskarten

In wolkenarmen, windschwachen Nächten (Strahlungsnächten, s.a. autochthone Wetterlagen) kühlt sich aufgrund der langwelligeren Ausstrahlung der Erdoberfläche die bodennahe Luftschicht ab, wobei die Menge der produzierten Kaltluft - neben Jahreszeit, Windgeschwindigkeit und Bewölkungsgrad - auch in hohem Maße von der Bedeckung des Erdbodens abhängig ist. Weide- und Ackerland erweisen sich als gute Kaltluftproduzenten, bei Waldgebieten ist die Stärke der Kaltluftproduktion je nach Art des Waldes unterschiedlich. Die Kaltluftproduktionsrate wird in  $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$  (Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter Oberfläche und pro Stunde) angegeben.

Nach KING (1973) haben Freiflächen (Wiese, Acker, Bruchland etc.) eine Kaltluftproduktionsrate von  $12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Für die Kaltluftbildung über Waldflächen sind in der Literatur unterschiedliche Angaben zu finden. Nach Untersuchungen von BAUMGARTNER (1956) sind sie sehr gering: Die durch Ausstrahlung im Kronenraum entstandene Kaltluft sickert in den Stammraum ein und erwärmt sich dort. Daher wird von GERTH (1986) im Kaltluftabflußmodell (KLAM) für Wälder eine Kaltluftproduktionsrate von  $0,6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  angenommen. GERTH (1986) verweist jedoch darauf, daß dies ein erster Näherungswert ist, da die Kaltluftproduktion nicht allein von der Landnutzung, sondern auch von meteorologischen Parametern (z.B. Windgeschwindigkeit) und topographischen Gegebenheiten (z.B. Hangneigung) abhängig ist.

Demgegenüber liefern Gewässer, versiegelte Oberflächen und dicht besaute Siedlungs-, Gewerbe- und Industriegebiete keinen Beitrag zur Kaltluftbildung. Aufgrund ihrer erhöhten Wärmespeicherkapazität (Wasser, Beton, Asphalt etc.) und der Abwärme von Hausbrand, Verkehr und Industrie sind solche Flächen in windschwachen Strahlungsnächten wärmer als ihr Umland (Freiflächen, Wald).

Während in Muldenlagen diese bodennahe Kaltluftschicht an Ort und Stelle verbleibt und einen Kaltluftsee bildet, entwickelt sich an unbewaldeten und unbebauten Hängen ein mehr oder weniger starker Kaltluftfluß, dessen Fließgeschwindigkeit in erster Linie von der Hangneigung und der Bodenrauigkeit abhängt. Schwach ausgeprägte Kaltluftflüsse von kurzer Andauer können bereits bei Hangneigungen ab 2 Grad beobachtet werden. Bei größeren Hangneigungen und guten Abflußbedingungen im Tal treten stärkere Kaltluftabflüsse auf, die die ganze Nacht hindurch anhalten können. Die Fließgeschwindigkeit erreicht bei den in Nordbayern vorhandenen Reliefenergien Werte von 0,5 bis 1 m/s. Die vertikale Mächtigkeit dieser Kaltluftflüsse ist im allgemeinen von der Reliefenergie abhängig und meist auf wenige Dekameter beschränkt.

Kleinere Hindernisse im Talverlauf werden von der abfließenden Kaltluft ohne nennenswerte Staubildung überwunden. Bei größeren Hindernissen (Wald- oder

Siedlungsränder) stellt sich fuvseitig ein Kaltluftstau ein, in dem - lokal eng begrenzt - deutlich niedrigere Temperaturen auftreten können als in der Umgebung. In Tälern oder Beckenlandschaften kann sich die von den Hängen abfließende Kaltluft ansammeln. Je nach Kaltluftproduktion und Jahreszeit (Dauer der Nacht) füllen sich zuerst die tieferliegenden Geländeteile mit Kaltluft auf. Im Laufe der Nacht wächst die Obergrenze der Kaltluftschicht weiter an und erreicht morgens gegen Sonnenaufgang ihre größte vertikale Mächtigkeit. Die Obergrenze dieser Kaltluftschicht entspricht der Obergrenze der morgendlichen Bodeninversion im Untersuchungsgebiet. Die Höhe dieser Obergrenze ist abhängig von den Kaltluftproduktionsraten (Landnutzung) und der Andauer der Nacht (jahreszeitenabhängig).

Kaltluftammelgebiete sind auch bezüglich ihrer horizontalen Ausdehnung recht groß und können ganze Regionen erfassen. Im Gegensatz zu den o.g. lokalen Phänomenen wie Kaltluftseen/ Kaltluftstaus, in denen absolute Stagnation herrscht, kann in einem Kaltluftammelgebiet bei ausreichender Neigung der Talsohle ein Kaltluftabfluß in Form eines Talabwinds stattfinden (SCHIRMER, 1988).

Die hier geschilderten lokalklimatischen Phänomene sind in hohem Maße von menschlichen Aktivitäten abhängig bzw. beeinflufbar: Neu geplante Siedlungsgebiete können u.U. einen Kaltluftstau verursachen, dessen räumliche Lage ganz von den jeweiligen topographischen Gegebenheiten abhängig ist. Durch Abholzungen können eventuell bestehende Kaltluftstaus aufgelöst und die Durchlüftungsverhältnisse verbessert werden. Ausgeprägte Kaltluftflüsse können durch Bebauung oder Aufforstung zerstört werden. Die Palette der hier geschilderten Beeinflussungen des lokalen Klimas ist beliebig erweiterbar.

Für die Planung sind diese lokalklimatischen Phänomene von besonderem Interesse: In Kaltluftammelgebieten sind die Austauschverhältnisse stark reduziert. Schadgasemissionen können so nicht ausreichend verdünnt werden und zu hohen Konzentrationen um die Quelle beitragen. Insbesondere im Winterhalbjahr

reicht die Sonneneinstrahlungszeit aufgrund der kurzen Tageslänge oft nicht aus, um Kaltluftsammlgebiete völlig aufzulösen, so daß eine hohe Immissionsbelastung - auch über einen längeren Zeitraum hin - auftreten kann.

Von planerischem Interesse ist auch der Bereich knapp oberhalb des Kaltluftsammlgebietes, die sogenannte nebelarme, warme Hangzone. Hier herrschen in der Regel bessere Durchlüftungsvorhältnisse und gute bioklimatische Bedingungen vor, was diese Region auch für die Planung von Freizeit- und Erholungseinrichtungen interessant macht.

In Gebieten mit stagnierender Kaltluft (Stau/See, s.u.) ist die Frost- und Nebelhäufigkeit - hauptsächlich in den Übergangsjahreszeiten Herbst und Frühjahr - größer als in den benachbarten, kaltluftfreien Gebieten, was insbesondere für die Landwirtschaft im Hinblick auf frostempfindliche Kulturen wie Qualitätsobst und Wein, aber auch für den Straßenverkehr wegen der Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit durch erhöhte Nebel- oder Glatteisgefährdung von Bedeutung ist. Aufgrund der absoluten Luftstagnation findet in diesen Gebieten eine verstärkte Anreicherung der Luft mit möglichen Schadstoffen statt. Besonders bodennahe Quellen - wie z.B. Verkehrs- und Hausbrandemissionen - kommt hier eine verstärkte Bedeutung zu.

Bei der Bewertung eines Raumes nach bioklimatischen Gesichtspunkten haben Kaltluftflüsse eine besondere Bedeutung, da sie an Tagen mit hoher Wärmebelastung eine rasche abendliche Abkühlung bewirken. Ob es sich bei der Kaltluft um Frischluft handelt oder nicht, hängt entscheidend von den Emissionsbedingungen im Kaltluftentstehungsgebiet und entlang der Kaltluftabflußbahnen ab. Ist die Kaltluft weitgehend frei von Luftverunreinigungen (Schadgase, Staub, Geruchsstoffe), so handelt es sich aus lufthygienischer Sicht um Frischluft. Erreicht diese z.B. ein Siedlungsgebiet, so kann sie die dortigen Schadstoffkonzentrationen durch Verdünnung oder Abtransport reduzieren.



Überstreicht die Kaltluft jedoch auf ihrem Weg bodennahe Emissionsquellen (Verkehr, Mülldeponie, Industrie u.ä.), so kann eine Schadstoffanreicherung und ein Transport der Verunreinigungen in den Wirkungsraum (z.B. in eine Siedlung) erfolgen. Eine Anreicherung kann vor allem auch in Mulden, Senken und vor Hindernissen stattfinden. Im Einzelfall ist daher zu prüfen, welchen Ursprung und welchen Weg die Kaltluft genommen hat.

Ähnlich zu bewerten wie die Kaltluftflüsse sind auch Talabwinde. Diesen ist jedoch ein wesentlich größerer Wirkungsraum (ganzes Talsystem) zuzuordnen. Ob Talabwinde bis zum Boden reichen können oder erst einige Dekameter über dem Erdboden auftreten, hängt ganz von den lokalklimatischen Gegebenheiten und der Landnutzung ab. Dicht bewaldete Gebiete werden vom Talabwind überströmt. Das gleiche gilt für Kaltluftstaugebiete. In beiden Fällen reicht die Wirkung des Talabwindes nicht bis zum Erdboden. Günstige Bebauungsstrukturen vorausgesetzt - talparallele Gebäudeausrichtung, breite Straßen, u.ä. - kann der Talabwind auch in dichtere Blockbebauung eindringen und zur besseren Durchlüftung beitragen.

Die Kaltluftflüsse sind die treibenden Kräfte für lokale, thermisch bedingte Windsysteme, auch Lokalwindzirkulationen genannt. Sie entstehen bei autochthonen (eigenbürtigen) Wetterlagen durch horizontale Temperaturunterschiede, d.h. sie sind Folge einer unterschiedlichen Erwärmung oder Abkühlung in einer horizontalen Fläche. Solche thermischen Windsysteme sind beispielsweise Hangwinde oder Berg- und Talwinde. Je größer die Mächtigkeit der Kaltluftflüsse ist, um so stärker ist also auch ihre Bedeutung für die Stadt.

Weitere klimatologische Grundlagen der Klimacignungskarten sind die allgemeinen Grundlagen zu den Windverhältnissen und zur atmosphärischen Schichtung. Diese wurden bereits ausführlich in den Kapiteln 5.5.1 bzw. 6.1 beschrieben.

### 7.3 Methoden zum Erhalt großmaßstäbiger Klimakarten

#### 7.3.1 Statistische Methoden

Mittels statistischer Methoden ist es z.B. möglich, aus den Daten aller vorliegender Windmeßstationen unter Beachtung der Topographie und sonstiger Einflußgrößen die mittlere Windgeschwindigkeit an einem beliebigen Ort zu berechnen. Damit läßt sich für das Untersuchungsgebiet im Raum Neumarkt die Karte der mittleren Windgeschwindigkeit erstellen. Weiterhin läßt sich aus vorhandenen Beobachtungsdaten mit statistischen Methoden die Inversionshäufigkeit im Untersuchungsgebiet bestimmen.

Die theoretischen Grundlagen dieser statistischen Methoden (Kap. 7.3.1) werden im Anhang dieses Gutachtens auf den Seiten 82 bis 89 beschrieben.

#### 7.3.2 Das Kaltluftabflußmodell (KLAM)

Mit Hilfe des Kaltluftabflußmodells lassen sich die in Abschnitt 7.2.1 beschriebenen lokalklimatischen Phänomene simulieren. Hierzu werden keinerlei meteorologische Messungen benötigt, sondern nur die in Abschnitt 7.1.1 erwähnten Höhen- bzw. Bewuchswerte der digitalen topographischen Daten. Das Modellergebnis wurde vielfach anhand von Feldexperimenten in unterschiedlichen Gebieten der Bundesrepublik Deutschland verifiziert und ist als ein Mittel über verschiedene Strahlungsnächte aufzufassen (GERTH, 1986).

Den hier dargestellten Ergebnissen liegen folgende Annahmen zugrunde:  
Das Modellgebiet für die Berechnungen mit dem Kaltluftabflußmodell wurde so groß gewählt, daß alle relevanten Kaltluftentstehungs- und -transportwege, d.h. die klimatischen Ausgleichsräume, enthalten sind. Die mittlere Höhe von Gebäuden beträgt 15 m und für Waldgebiete wird ebenfalls eine mittlere Baumhöhe von 15 m angenommen. Die Höhe des Kaltluftsammegebietes wird

für sommerliche Verhältnisse in bezug auf die Dauer der Nacht von 8 Stunden berechnet.

Mit den o.g. Annahmen werden die Modellrechnungen durchgeführt. Bei der Kartendarstellung der Modellergebnisse ist die geographische Zuordnung in Form von Rechts- und Hochwerten des Gauß-Krüger-Koordinatensystems am Rand einer jeden Karte eingezeichnet, zusammen mit einem Gitternetz im 3 km-Abstand. Die wesentlichen Oberflächenbedeckungswerte sind als Hintergrundinformation ebenfalls eingezeichnet. Siedlungsgebiete sind gemäß der Legende rot, Waldgebiete grün und Gewässer blau ausgewiesen. Weiterhin sind in jeder Karte die Isolinien der Höhe ü. NN (Isohypsen) dargestellt. Der Isolinienabstand beträgt jeweils 10 m, beginnend mit der 410 m-Linie im Bereich Richtheim/Loderbach nördlich des Stadtzentrums und endend mit der 580 m-Linie im Bereich mehrerer Höhenlagen (z.B. Höhenberg).

Diesen Hintergrundinformationen ist der klimatologische Teil der Karten überlagert:

Flächig hellblau werden die Kaltluftsammlgebiete dargestellt. Fällt eine Siedlung oder ein Waldgebiet in das Kaltluftsammlgebiet, so findet eine Farbüberlagerung statt: Siedlungen im Kaltluftsammlgebiet sind violett, Wälder dunkelgrün. Kaltluftstaugebiete bzw. Kaltluftseen (stagnierende Kaltluft) erkennt man an der dunkelblauen Farbe.

Kaltluftflüsse, unterschieden nach Richtung und Intensität, sind als kleine schwarze Pfeile gekennzeichnet, wobei die Pfeillängen ein Maß für die zu erwartende Intensität darstellen: kleiner Pfeil = schwache, sporadische Kaltluftabflüsse von kurzer Dauer; großer Pfeil = starker Kaltluftabfluß, der die ganze Nacht hindurch anhalten kann. Tafelwinde schließlich sind als sehr dicke schwarze Pfeile von ca. 1 cm Länge dargestellt.

### 7.3.3 Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse

Zur Konstruktion der synthetischen Karte "Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse" werden die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen räumlichen Verteilungen der Inversionshäufigkeit (als ein Maß für den vertikalen Luftaustausch, siehe auch Abschnitt 6.1) und der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit (als ein Maß für den horizontalen Luftaustausch und die Verdünnung, siehe auch Abschnitt 5.5.1) benötigt. Desweiteren gehen - zur Modifikation der Inversionshäufigkeit - die vom Kaltluftabflußmodell berechneten Kaltluftstaus und -seen (siehe Abschnitt 7.2) in die Berechnung mit ein. Die verwendeten Grenzwerte betragen bei der Inversionshäufigkeit 220 Tage (entsprechend 60 % aller Tage pro Jahr) und bei der Windgeschwindigkeit im Mittel 3,0 m/s (zwischen 3,2 m/s bei 55 ° Nord und 2,8 m/s bei 47 ° Süd). Diese Verringerung des Grenzwertes der Windgeschwindigkeit nach Süden hin soll dem häufigeren Auftreten von lokalen Windsystemen Rechnung tragen, die bei windschwachen Wetterlagen ein Mindestmaß an Ventilation sicherstellen und aufgrund der stärkeren topographischen Gliederung in Süddeutschland öfter auftreten als im Norden.

Die folgende Tabelle zeigt das Prinzip der Überlagerungskriterien "Durchlüftung", die Tabelle 16 zeigt dagegen die Überlagerungskriterien nach denen die Durchlüftungskarte für den Raum Neumarkt erstellt wird:

	Durchlüftung		
	geringe	mäßige	gute
Windgeschwindigkeit (WG)	< Grenz- wert	alle anderen Kombina- tions- möglichkei- ten	≥ Grenz- wert
gewichtete Inversionshäufigkeit (I-W)	≥ Grenz- wert		< Grenz- wert

Die gemäß Abschnitt 7.3.1.3 (Anhang) erhaltene Inversionshäufigkeit wird in den Gebieten, die in stagnierender Kaltluft (Kaltluftstaus/Kaltluftseen) liegen, um 120 Tage/Jahr erhöht, um dem stark reduzierten Luftaustausch dieser Flächen gerecht zu werden. Desweiteren wird ein Wichtungsfaktor "W" eingeführt, der je nach Windgeschwindigkeitsbereich zu einer Modifizierung der Inversionshäufigkeit führt und folgendermaßen bestimmt wird:

Im Windgeschwindigkeitsbereich zwischen 2.0 m/s und 3.5 m/s soll der Wichtungsfaktor (W) "1" betragen. In diesem Bereich findet keine Modifikation der Inversionshäufigkeit statt.

Ab einem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit von 4.0 m/s ist - ungeachtet der Bodeninversionshäufigkeit - eine recht gute Durchlüftung gegeben (MATHYS et al., 1980). Damit der Einfluß der Inversionshäufigkeit an den Durchlüftungsverhältnissen eines Ortes mit hoher mittlerer Windgeschwindigkeit nicht überbewertet wird, soll zwischen 3.5 m/s und 4.2 m/s der Wichtungsfaktor von 1 auf 0.6 abfallen und bei Windgeschwindigkeiten über 4.2 m/s auf diesem Niveau verbleiben. Der Wert "0.6" kommt dadurch zustande, daß selbst bei 365 Inversionstagen pro Jahr (wird nur in Kaltluftstaus und Kaltluftseen erreicht) der Grenzwert von 220 Tagen für die Inversionshäufigkeit unterschritten wird. Da die o.a. Überlagerungskriterien aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle Gegenden der Bundesrepublik Deutschland angewandt werden, spielt diese Wichtung hauptsächlich in der norddeutschen Tiefebene eine Rolle.

Eine weitere Modifikation der Inversionshäufigkeit erfolgt im Bereich niedriger Windgeschwindigkeiten: Zwischen 2.0 m/s und 0.0 m/s soll der Wichtungsfaktor von "1" auf "3" linear ansteigen. Der Wert "3" kommt dadurch zustande, daß bei Windstillen keine Durchlüftung mehr gegeben ist. Um dies gemäß den Kriterien der Tabelle 15 (Überlagerungskriterien für den Raum Neumarkt) zu gewährleisten, muß die Inversionshäufigkeit größer als 220 Tage sein. In größeren Höhenlagen - mit typischen Inversionshäufigkeiten von 60 bis 80 Tagen/Jahr - können dann auch schlechte Durchlüftungsverhältnisse auftreten,

z.B. in einem hoch gelegenen, engen Tal mit sehr geringen Windgeschwindigkeiten, weil dann das Inversionskriterium gemäß Tabelle 15 erfüllt ist.

Für das hier dargestellte Untersuchungsgebiet im Raum Neumarkt ist die obige Wichtung lediglich in dem größeren freigelegenen Bereich der Höhenzüge im Osten des Gebietes von Belang, wo auch größere Flächen mit Jahresmitteln über 3,5 m/s auftreten. In den windschwächeren Tallagen des Untersuchungsgebietes, die oberhalb des Inversionsgefährdeten Bereiches liegen - und durch starke Bebauung oder Bewaldung gekennzeichnet sind - kommt diese Wichtung jedoch kaum zum Tragen.

#### 7.3.4 Freiflächensicherung

Der Karte "Freiflächensicherung" liegt der Gedanke zugrunde, die Freiflächen zu sichern, die für die Durchlüftung eines Ortes von besonderer Bedeutung sind. Die Einteilung in "hoher Freiflächensicherungsgrad" bis "geringer Freiflächensicherungsgrad" ist keinesfalls zu verwechseln mit "schlecht geeignet zur Bebauung" bis "gut geeignet zur Bebauung". Freiflächen mit hohem Sicherungsgrad sind vielmehr für ihren Wirkungsraum (z.B. eine schlecht durchlüftete Siedlung) von großer Bedeutung, so daß eine Nutzungsänderung von Freifläche in Siedlung, aber auch von Freifläche in Wald, die momentanen Durchlüftungsverhältnisse an einer anderen Stelle wesentlich verschlechtern würde.

Diese synthetische Karte ist keine Klimaeignungskarte im herkömmlichen Sinne wie z.B. die Karte der Erholungseignung, sondern eine "Klimarestriktionskarte", in der Flächen ausgewiesen werden, die - mit unterschiedlichem Sicherungsgrad - freizuhalten sind, um die momentan bestehenden Durchlüftungsverhältnisse für Siedlungen nicht zu verschlechtern.

Zur Konstruktion der Karte "Freiflächensicherung" benötigt man als Grundlagenkarten die in Abschnitt 7.3.3 beschriebenen Durchlüftungsverhältnisse, sowie die Ergebnisse des Kaltluftabflußmodelles (Kaltluftstaus, Talabwinde).

Die Überlagerungskriterien zur Erstellung der Karte "Freiflächensicherung" sind in **Abbildung 9** dargestellt.

In Gebieten mit schlechten Durchlüftungsverhältnissen wird zunächst abgefragt, ob sich die Freifläche im Einzugsbereich von Talabwinden befindet. Ist dies der Fall, so soll die betreffende Freifläche einen hohen Sicherungsgrad erhalten, sofern sie außerhalb von Kaltluftstaus liegt. Damit soll sichergestellt werden, daß kaltluftproduzierende Flächen, die ein Talabwindesystem speisen nicht verkleinert oder durch Bebauung bzw. Aufforstung zerstückelt werden. Ist die schlecht durchlüftete Fläche keinem Talabwindesystem zugeordnet, jedoch dem Einzugsgebiet einer schlecht durchlüfteten Siedlung, so wird sie mit einem mittleren Sicherungsgrad versehen, wenn auf ihr mässige bis starke Kaltluftabflüsse stattfinden. Flächen, die keinem der o.a. Einzugsgebiete angehören, oder auf denen nur ein geringer Kaltluftabfluß stattfindet, werden gering gesichert.

In mäßig durchlüfteten Gebieten wird ebenfalls abgefragt, ob sich die Freifläche im Einzugsgebiet eines Talabwindes befindet und wenn ja - aus den gleichen o.a. Gründen -, mit einem hohen Sicherungsgrad versehen. Ist dies nicht der Fall, so wird ermittelt, ob sich die zu untersuchende Fläche im Einzugsbereich einer schlecht durchlüfteten Siedlung, jedoch außerhalb eines eventuell vorhandenen Kaltluftstaus -oder secs, befindet. Um die ohnehin schlechten Durchlüftungsverhältnisse der Siedlung nicht weiter zu verschlechtern, wird die Freifläche in diesem Falle ebenfalls mit einem hohen Sicherungsgrad versehen.

Liegt die Fläche nicht im Einzugsbereich schlecht durchlüfteter Siedlungen, aber im Einzugsbereich einer mäßig durchlüfteten Siedlung, so wird sie mit einem mäßigen Sicherungsgrad versehen. Geringen Schutz erhalten mäßig durchlüftete

Freiflächen nur dann, wenn sie weder im Einzugsbereich von Talabwindssystemen, noch von schlecht durchlüfteten oder mäßig durchlüfteten Siedlungen liegen, da in diesem Falle keine schwerwiegenden Folgen für die Durchlüftungsvorhältnisse einer bestehenden Siedlung zu erwarten sind.

Gut durchlüftete Freiflächen erhalten einen hohen Sicherungsgrad, wenn sie entweder im Einzugsbereich von schlecht durchlüfteten oder von mäßig durchlüfteten Siedlungen liegen. Ist dies nicht der Fall, so wird abgefragt, ob die Fläche im Einzugsbereich eines Talabwindes liegt. Ist dies der Fall, erhält die Fläche -da weder schlecht noch mäßig durchlüftete Siedlungen beeinflusst werden- einen mäßigen Schutz. Ist dies nicht der Fall, so ist der Freiflächen-schutz gering.

### 7.3.5 Schlußbemerkungen zu den Klimateignungskarten

Bei der Interpretation der Karten sollte folgendes berücksichtigt werden: Im Gegensatz zu vielen anderen Karten, die in der Planung Verwendung finden (z.B. Flächennutzungsplan, Raumordnungsplan, Bebauungsplan), sind die Grenzen von Klimakarten nicht als fest anzusehen, sondern -gemäß dem Charakter klimatologischer Größen- als räumlich fließend zu betrachten. Der Übergang von zum Beispiel einer Windgeschwindigkeitsklasse in eine andere ist daher nicht als eine räumlich exakte Trennungslinie zu interpretieren, an der das dargestellte Klimaelement sprunghaft von einer Klasse in die andere überwechselt, sondern vielmehr als Mittelpunkt eines mehr oder weniger breiten Streubereiches, in dem sich der allmähliche Übergang zwischen den Klassen vollzieht.

Es wäre deshalb falsch, einzelne - auf einen Pixel bezogene - Phänomene überzubewerten. Dies gilt sowohl für die Ergebnisse der Modellrechnungen (z.B. ein einziger Kaltluftpfad in ansonsten abflußlosem Gelände oder einzelne, extrem niedrige beziehungsweise hohe Windgeschwindigkeitswerte) als auch für die



synthetischen Klimakarten (z.B. kleinero gut durchlüftete Flächen in großräumig schlecht durchlüfteten Regionen).

Andererseits kann gesagt werden, daß die Kartenaussage um so sicherer ist, je größer ein Gebiet mit einheitlichen lokalklimatischen Verhältnissen ist (z.B. homogene Kaltluftabflußbereiche über ganze Hangzonen oder schlechte Durchlüftungsverhältnisse in tieferliegenden, großen Talsystemen).

Bei der Interpretation der Ergebnisse des Kaltluftabflußmodells (lokalklimatisch bedingte Flächen) sollte beachtet werden, daß das Modell keine quantitativen Angaben liefert: Kaltluftstaugebiete sind zwar gegenüber der Umgebung kälter, um wieviel Grad jedoch kann vom verwendeten Modell nicht berechnet werden. Ähnliches gilt für die Kaltluftpfeile, deren Größe kein Maß für die Abflußgeschwindigkeit ist. Kaltluftflüsse sind nicht mit einem stetigen Wind zu vergleichen, sondern vielmehr mit einem schubhaften Abtropfen von Kaltluftmassen.

Kleine Pfeile sind daher so zu interpretieren, daß in diesem Gebiet sporadische, kurzandauernde Kaltluftflüsse auftreten, gefolgt von längerandauernden abflußlosen Phasen. Große Pfeile dagegen sollen anzeigen, daß der Kaltluftfluß kräftiger entwickelt ist, länger anhält und nur kurze abflußlose Phasen aufweist. Kaltluftabflüsse dieser Art können bereits kurz vor Sonnenuntergang beginnen, die ganze Nacht hindurch andauern und erst bei Sonnenaufgang versiegen.

## 7.4 Ergebnisse

### 7.4.1 Allgemeine Erläuterungen

Da die klimatischen Gegebenheiten eines Raumes bei großen Maßstäben sehr stark von lokalen Effekten geprägt sind - was in den Karten auch deutlich zum Ausdruck kommt -, ist es nahezu unmöglich und nach den Ausführungen des Kapitels 7.3.5 auch nicht sinnvoll, auf alle Feinstrukturen eingehen zu wollen.

die in den jeweiligen Klima- bzw. Klimateignungskarten zu erkennen sind. Deshalb beschränkt sich die textliche Beschreibung der Ergebnisse nur auf die Klimaphänomene oder -eigenheiten, die typisch bzw. von großer Wichtigkeit für das zu untersuchende Gebiet sind. Hierzu zählen sowohl großräumige, wesentliche Strukturen als auch lokalklimatische Besonderheiten, die nur in einem bestimmten Bereich auftreten oder zu erwarten sind.

Durch die Beschreibung des IST- bzw. des SOLL-Zustands und der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen einem oder mehreren Klimaelementen und der Topographie bzw. der Landnutzung soll es dem Planer ermöglicht werden, die Folgen einer Nutzungsänderung auf das lokale Klima abzuschätzen.

#### 7.4.2 Lokalklimatisch bedeutsame Flächen

##### 7.4.2.1 IST-Zustand

Die Höhe des Kaltluftammelgebietes im Untersuchungsgebiet wird für sommerliche Verhältnisse - für eine Andauer der Nacht von 8 Stunden - berechnet. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich für die Obergrenze des Kaltluftammelgebietes eine Höhe von etwa 470 bis 480 m über NN (siehe IST-Zustand in Abb. 10). Dies ist gleichzeitig die Höhe der morgendlichen Inversion.

In klaren, windschwachen Sommernächten liegt also der gesamte Bereich des Stadtzentrums von Neumarkt sowie ein Großteil der Umgebung innerhalb des Kaltluftammelgebietes mit seinen in der Regel schlechten Durchlüftungsverhältnissen, während erst die Höhenlagen oberhalb etwa 470 bis 480 m über NN aus dem Kaltluftammelgebiet herausragen (s.o.). Solche Höhenlagen kommen vor allem im Osten des Untersuchungsgebietes verbreitet vor.

Die Höhe der Obergrenze des Kaltluftammelgebietes weist jedoch einen typischen Jahresgang auf: Im Winter muß mit einer deutlich höheren Obergrenze gerechnet werden (ca. 520 bis 530 m über NN), in den Übergangsjahreszeiten

sammelt sich die Kaltluft etwa bis zu einer Höhe von ca. 500 bis 510 m über NN. In diesen Zeiten liegen auch zum Teil die höhergelegenen Ansiedlungen in den Hangbereichen von Höhenberg und Wolfsteinberg innerhalb des Kaltluftsammergebietes (z.B. Höhenberg im Tal).

In dem orographisch stark gegliederten Gelände des Untersuchungsgebietes bilden sich rund um das Stadtzentrum an den meisten unbebauten und unbewaldeten Hanglagen Kaltluftabflüsse von unterschiedlicher Intensität aus. An einigen Stellen, kann die gebildete Kaltluft bis in bebaute Regionen abfließen. Zu erkennen sind im Bereich des Untersuchungsgebietes auch mehrere Talabwind-systeme, dargestellt durch die schwarzen Pfeile von ca. 1 cm Länge, die sich im Laufe einer Strahlungsnacht entwickeln, die wichtigsten sind:

- im Bereich Rittershof Richtung Woffenbach,
- im Bereich Pölling Richtung Holzheim,
- im nördlichen Stadtgebiet Richtung Loderbach/Richthelm stadtauswärts,
- im Taleinschnitt zwischen Wolfstein und Höhenberg,
- im Hangbereich südlich von Lähr,
- im Bereich des Ottosauer Baches von Pelchenhofen ausgehend
- im Bereich des Ischhofener Baches und
- von Helena ausgehend Richtung Arzthofen/Siegenhofer Mühle.

Diese Lokalwindssysteme - abgesehen von den drei letztgenannten - sind für die thermische und lufthygienische Entlastung der Innenstadt von Neumarkt ganz besonders wichtig. Sie fließen jeweils talabwärts in Richtung der jeweiligen Talachse und überströmen aufgrund ihrer größeren vertikalen Mächtigkeit dabei die im Bereich von Hindernissen (Wald, Gebäude usw.) entstehenden Kaltluftstaugebiete. Im Laufe einer Strahlungsnacht füllen sie das gesamte Tal bis zur Höhe der morgendlichen Inversion mit Kaltluft auf. Einen Abfluß gibt es nur in Richtung Loderbach/Richthelm. Die aus dem Stadtbereich stammenden Emissionen verteilen sich daher im wesentlichen über das gesamte Becken und werden entsprechend verdünnt.

Im Bereich der unbebauten und unbewaldeten Hanglagen des Wolfstein und des Höhenberges treten schwache bis mässige nächtliche Kaltluftflüsse auf, welche für die thermische Entlastung insbesondere des östlichen Stadtrandes von Neumarkt wichtig sind. Für das Zentrum von Neumarkt kommen - wie oben beschrieben - als Entlastung hauptsächlich die Talabwinde oder auch Bergwinde der Umgebung in Betracht. Insbesondere die Luft der Talwinde aus Richtung Westen (Pölling, Wolfenbach) ist allerdings auch nicht mehr völlig unbelastet, da sie auf ihrem Weg zum Teil über bebaute Gebiete führt und dabei Schadstoffe aufnimmt (im Winter Emissionen aus Hausbrand und Verkehr, im Sommer nur aus Verkehr). Sie liefert aber trotzdem sowohl für die Lufthygiene als auch für die thermische Entlastung des Stadtzentrums einen wesentlichen Beitrag.

Fehlende oder schwächer werdende Bergwinde hätten für die thermische Entlastung und besonders auch für die Lufthygiene im Bereich des Stadtkerns negative Auswirkungen. Die emittierten Schadstoffe würden nicht mehr über das gesamte Tal verteilt, sondern im wesentlichen an Ort und Stelle verbleiben, was zu einer spürbaren Anreicherung im Bereich des Stadtkerns führen würde.

Kaltluftstaugebiete kleineren Ausmaßes sind an sehr vielen Stellen im Untersuchungsgebiet zu erkennen (siehe Abb. 10). Innerhalb solcher Kaltluftstaugebiete ist die nächtliche Abkühlung wegen des verminderten Austausches stärker als außerhalb. Die thermische Schichtung ist also relativ stabil.

Zu den Staugobielen zählen zum ersten die luvseitigen (in Richtung des ansteigenden Geländes) Siedlungs- und Waldränder, an denen der Kaltluftabfluß behindert wird. Zum zweiten sind Waldlichtungen oder kleinere Freiflächen in Tälern zu nennen, deren Talgrund überwiegend bewaldet ist. Je nach Geländeneigung sind diese Lichtungen entweder vollständig mit stagnierender Kaltluft aufgefüllt, oder (bei stärkerer Hangneigung) nur an den tieferliegenden Stellen, während von den höheren Lagen noch Kaltluft abfließen kann, die den Kaltluftstau ständig speist. Hier beobachtet man häufig eine deutliche Temperaturniedrigung (SWANTES, 1981) im Vergleich zur Umgebung. Ausgehend von

vergleichbaren Untersuchungen (KING, WEISE) sowie von vorliegenden Meßergebnissen in ähnlichen Fällen, kann angenommen werden, daß sich die Lufttemperatur in solchen Anstaugebieten (außerhalb des Stadtgebietes) bei nächtlichen autochthonen Wetterlagen je nach Größe des Gebietes im Mittel um 1 bis 3 K, zum Teil auch bis zu 5 K gegenüber der Umgebungsluft abkühlen kann.

Gleichzeitig gibt es in solchen Staubezichen wegen der niedrigeren Temperaturen öfter Nebel. Statistische Auswertungen nordbayerischer Beobachtungsstationen haben ergeben, daß die Zahl der Tage mit Nebel an Stationen, die sich in einem Kaltluftstaugebiet befinden, um etwa 25 bis 30 % höher ist als an Stationen, die sich außerhalb von Staubezichen befinden.

Zum dritten stellen auch innerstädtische umbaute Freiflächen (Parks, Friedhöfe, Brachflächen) kühlere Zonen innerhalb des Stadtgebietes dar. Im Gegensatz zu den o.a. Waldlichtungen sind die Temperaturunterschiede im innerstädtischen Bereich zur bebauten Umgebung jedoch wesentlich geringer. Im Stadtgebiet von Neumarkt sind an folgenden Stellen größere Staubeziche zu erkennen (siehe Abbildung 10):

- zwischen Woffenbacher und Amberger Straße im Bereich Schwarzach/Sportgelände, hier staut sich die Kaltluft am Gebäudekomplex Landwirtschaftsschule/Gymnasium.
- mehrere Staubeziche im südöstlichen und nordöstlichen Stadtbereich, die Kaltluft staut sich an zum Teil linienhaft angeordneten Gebäuden. Dies kann eventuell auch modellbedingt verursacht sein, da aufgrund der Pixelgröße (25 \* 25 m) nicht alle Gebäude und Straßen der Realität entsprechend modelliert werden können.

Etwas ausgeprägtere Kaltluftstaugebiete treten - von Waldlichtungen oder Waldrändern abgesehen - im Untersuchungsgebiet in fast allen dichter bebauten

Siedlungsbereichen (Siedlung Hasenheide, Berngau, Staut, Woffenbach, Pölling, Holzheim) auf. Im Bereich der Umgehungsstraße (Münchner Ring) westlich von Woffenbach werden nördlich bzw. südlich der Bahnlinie zwei - eher kleinere - Kaltluftstaus durch den hier verlaufenden Straßendamm, in den anderen Gebieten durch dichtere Bebauung quer zum Kaltluftabfluß hervorgerufen.

#### 7.4.2.2 SOLL-Zustand

Für die Berechnung des SOLL-Zustandes wurde der Entwurf eines Landschaftsplanos in das Rechenmodell übernommen. Diese Planung betrifft den Bereich Pöllinger Höhe/Sportflugplatzgelände. Dieses Gebiet wird begrenzt durch die B 8 im Norden, die B 299 im Osten, die Bahnstrecke Neumarkt-Nürnberg im Süden und die Umgehungsstraße zwischen Woffenbach und Pölling (Münchner Ring) im Westen.

Die im Entwurf vorgesehene Flächennutzungsänderung ergibt in der Darstellung des SOLL-Zustandes (siehe SOLL-Zustand in Abb. 11) auch nur in diesem Gebiet Veränderungen. Grundsätzlich entfallen natürlich diejenigen Bereiche, die versiegelt werden als Kaltluftproduktionsfläche, dadurch fallen einige der im IST-Zustand südlich des Sportflugplatzgeländes vorhandenen schwachen Kaltluftflüsse (kurze Pfeile) weg. Für die Durchlüftungsverhältnisse der Stadt in schwachwindigen Strahlungsnächten sind diese relativ schwachen Kaltluftflüsse wegen ihrer relativ geringen Eindringtiefe in die benachbarte Bebauung und die durch die Versiegelung wegfallende Kaltluftproduktionsfläche wegen der geringen Dimensionen aber unbedeutend und vernachlässigbar.

Auf den ersten Blick erkennbar sind in der Abb. 11 die in den neu bebauten Gebieten entstandenen Kaltluftstaugebiete. Diese werden in der Modellrechnung entweder durch eine (mangels Planungsvorgabe zufällig) ringförmig angeordnete und teilweise quer zur Hangneigung verlaufende Bebauung verursacht. Derartige Staugebiete mit ihren während windschwacher Strahlungsnächte besonders

schlechten Durchlüftungsvorhältnissen lassen sich aber durch eine entsprechende Bebauung vermeiden. Dafür sollte die Bebauung (Längsachse der Bebauung) nach Möglichkeit z.B. parallel zur Hangneigung erfolgen, um der entstehenden Kaltluft das Abfließen zu ermöglichen. Auch eine ringförmige Bebauung wie sie in der Modellrechnung (zufällig) vorhanden ist, sollte vermieden werden.

Bezüglich der Kaltluftsituation liegt das für die geplante Flächennutzungsänderung vorgesehene Gelände insofern günstig, als die beiden Talabwindssysteme, die von Pölling bzw. Rittershof her in Richtung Neumarkt wehen, nördlich bzw. südlich des geplanten Geländes verlaufen und daher praktisch nicht von den geplanten Flächennutzungsänderungen betroffen sind. Ein Einfluß auf die Lokalwindzirkulation im Untersuchungsgebiet von Neumarkt ist daher allenfalls gering und vernachlässigbar.

Für die weitere Zukunft wird möglicherweise eine Umgehungsstraße um Pölling geplant. Die Bundesstraße 8 soll nördlich um den Ort herumgeführt werden. In der Abbildung 2 wurde der eventuelle Verlauf der Umgehungsstraße nach Angaben des Auftraggebers eingezeichnet. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen noch keinerlei Pläne für diese Straße vor, daher konnte sie in der Modellrechnung im SOLL-Zustand auch nicht berücksichtigt werden. Eventuelle Auswirkungen der Trasse auf die lokalklimatischen Verhältnisse in ihrer Umgebung sollten in diesem Gutachten trotzdem beschrieben werden.

Die geplante Trasse verläuft mitten durch ein für Neumarkt wichtiges Kaltluftproduktionsgebiet. Wegen des im Vergleich zur gesamten Produktionsfläche geringen prozentualen Anteils der Versiegelung durch die Trasse ist der Wegfall dieser Fläche unbedeutend. Um die in diesem Bereich bestehenden Kaltluftflüsse (siehe Abb. 10 oder 11) aber nicht zu behindern, ist bei der Planung unbedingt darauf zu achten, daß die Trasse, die teilweise parallel zum Hang verläuft, möglichst ebenerdig liegt. Ganz besonders wichtig ist dies im Bereich westlich von Holzheim, wo die geplante Trasse ein Talabwindsystem quert. Die abfließende Kaltluft würde eine nahezu ebenerdig verlaufende Trasse (ohne Lärm-

schutzwänden} praktisch ungehindert überqueren und die bestehenden Verhältnisse würden kaum verändert werden.

Eine eventuell vorgesehene Bebauung im Norden von Pölling (nördlich des Maierbachs) kann bei ungünstiger Bauweise allerdings auch einen geringen negativen Einfluß auf die lokalklimatischen Verhältnisse haben. Einerseits liegt das vorgesehene Baugebiet in einem Kaltluftproduktionsgebiet im Bereich eines leichten Abhangs, andererseits stärken die Kaltluftflüsse in diesem Bereich das Talabwindssystem, das sich im Laufe einer windschwachen Strahlungsnacht in der Talsenke des Maierbachs entwickelt und in Richtung Holzheim weht. Dieses für die Durchlüftung der Innenstadt wichtige Lokalwindssystem sollte nach Möglichkeit nicht gestört oder eingeschränkt werden. Daher sollten unbedingt die in der Zusammenfassung gegebenen allgemeinen Planungshinweise für die Bebauung berücksichtigt werden.

#### 7.4.3 Häufigkeit windschwacher Strahlungsnächte im Untersuchungsgebiet

Um eine Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens von Kaltluftflüssen zu erhalten, werden Wind- und Temperaturoaufzeichnungen nahegelegener Meßstationen benötigt. Im vorliegenden Fall wurden die Temperaturoaufzeichnungen der wenige Kilometer nördlich von Neumarkt gelegenen Klimastation Berg und Windmessungen der etwa 25 km westlich gelegenen Station Roth verwendet. Die Windmessungen von Neumarkt-Höhenberg wurden nicht verwendet, da die Windgeschwindigkeiten dieser Station wegen ihrer Höhenlage nicht für das ca. 150 m tiefer gelegene Stadtgebiet repräsentativ sind und sich die Windmeßstation während autochthoner Lagen häufig oberhalb der sich ausbildenden Inversion befindet (siehe oben), wo wesentlich höhere Windgeschwindigkeiten vorherrschen können als in Bodennähe.

Für das Auftreten einer nächtlichen autochthonen Wetterlage (welche Kaltluftflüsse ermöglicht), wurden folgende Kriterien festgelegt:



1. Die Windgeschwindigkeit an der Station Roth soll zwischen 18.00 Uhr abends und 06.00 Uhr früh des darauffolgenden Morgens kleiner oder gleich 2.0 m/s sein (Bedingung der Schwachwindlage) bei einer lückenlosen Andauer von 5 Stunden oder von 7 Stunden mit Unterbrechungen.
2. Der tageszeitliche Verlauf der Lufttemperatur und der Luftfeuchte an der Klimastation Berg bei Neumarkt soll stark ausgeprägt sein, d.h. es soll eine ungehinderte Ein- und Ausstrahlung erfolgt sein.

( ) Unter der meteorologisch vertretbaren Voraussetzung, daß die Wind- und Temperaturmeßwerte der verwendeten Stationen in guter Näherung auf das Untersuchungsgebiet übertragbar sind, ergaben sich im ausgewerteten Zeitraum Januar 1995 bis Dezember 1995 etwa 112 Nächte, in denen sich im Bereich des Untersuchungsgebietes Kaltluftflüsse über einen Zeitraum von mindestens 5 Stunden ausprägen konnten.

( ) Um überprüfen zu können, ob die Zahl der autochthonen Wetterlagen des einjährigen Zeitraumes als langjährig repräsentativ gelten können, wurde ein Bezug zu Großwetterlagen hergestellt, deren langjährige Werte bekannt sind. Um diesen Zusammenhang zu großräumigen Wetterabläufen herstellen zu können, wurde für jede autochthone Wetterlage auch der Großwettertyp nach der im Deutschen Wetterdienst verwendeten Wetterlagenklassifikation (HESS und BREZOWSKY, 1993) bestimmt. Diese Großwettertypen ermöglichen neben einer Aussage über bestimmte Wetterabläufe auch eine vergleichende Statistik von Klimaelementen in unterschiedlichen Zeiträumen, d.h. mit Hilfe eines Reduktionsverfahrens nach ALISSOW (1956) kann die mittlere Häufigkeit dieser Wetterabläufe - bezogen auf einen langjährigen Zeitraum - abgeschätzt werden.

Die dabei im folgenden verwendeten Abkürzungen der Großwetterlagen bedeuten nach der Nomenklatur von HESS und BREZOWSKY:

W	= Westlage
SW	= Südwestlage
NW	= Nordwestlage
HM	= Hochdruckgebiet über Mitteleuropa
TM	= Tiefdruckgebiet über Mitteleuropa
N	= Nordlage
E	= Ostlage
S	= Südlage
U	= Übergangslage (keine Zuordnung möglich)

Der **Tabelle 16** kann entnommen werden, bei welchen Großwetterlagen im Untersuchungsgebiet autochthone **Lagen in der Zeit von Januar bis Dezember 1995** aufgetreten sind.

Den größten Jahresanteil (26 Fälle) für das Auftreten günstiger Wetterbedingungen für lokale autochthone Wetterlagen stellten die Ostlagen. Bei einem Hochdruckgebiet über Mitteleuropa kam es noch in 24 weiteren Fällen zur Ausbildung der charakteristischen Wetterlage. Tiefdruckgebiete über Mitteleuropa führten erwartungsgemäß nicht zur Ausbildung derartiger lokaler Wettersituationen.

Da ein einjähriger Auswertzeitraum in der Regel noch keine zuverlässigen repräsentativen Aussagen zuläßt, wurde auf der Grundlage des langjährigen Zeitraumes 1951/80 eine statistische Reduktion nach dem Quotientenverfahren nach ALISSOW durchgeführt. Ein Vergleich der einjährigen mit der vieljährigen Meßreihe in **Tabelle 16** zeigt, daß der einjährige Zeitraum mit 112 autochthonen Wetterlagen nur eine unwesentlich geringere Häufigkeit aufwies, als im langjährigen Mittel mit 113 Wetterlagen zu erwarten ist.

Legt man eine durchschnittliche mindestens 5 bis 7-stündige Andauer der Kaltluftflüsse zugrunde, so treten diese Kaltluftflüsse im Bereich des Untersuchungsgebietes im langjährigen Mittel in etwa 8 % aller Jahresstunden auf. Wegen der eingeschränkten Durchlüftung im Bereich des Stadtzentrums von

Neumarkt (relativ niedrige mittlere Windgeschwindigkeit und häufige Inversionslagen) ein vergleichsweise eher hoher Wert, der die Bedeutung der Lokalwinde für thermische und lufthygienische Entlastungsleistungen belegt.

#### 7.4.4 Zahl der Tage mit Minimumtemperaturinversionen

Inversionen sind großräumige meteorologische Phänomene, die kaum von lokalen Effekten (Bewuchs, Bebauung) beeinflusst werden. Ähnliches gilt für die in Kapitel 7.3.1.3 (Anhang) beschriebene Minimumtemperaturinversionshäufigkeit, die nur von der Höhenlage abhängt und nur an einigen Stellen durch lokale Kaltluftstaugebiete modifiziert wird.

Aufgrund des für Planungszwecke geringen Informationsgehaltes erfolgt hier auch keine kartographische Darstellung der Minimumtemperaturinversionshäufigkeit, deren Isolinien dem Verlauf der Höhenlinien sehr ähnlich würde. Daher wird die räumliche Verteilung der Inversionshäufigkeit nur textlich beschrieben.

Für den Bereich Neumarkt ist das Ergebnis dieser Untersuchung in Tabelle 17 wiedergegeben. Man erkennt, daß in den Lagen zwischen 401 m und 450 m über NN an etwa 62 Prozent aller Tage im Jahr mit Minimumtemperaturinversionen von mindestens 100 m Mächtigkeit gerechnet werden muß. Mit zunehmender Höhenlage nimmt die Inversionshäufigkeit zunächst langsam, im Bereich oberhalb 501 m über NN (über der Obergrenze des Kaltluftsammegebietes) jedoch rapide ab. Darüberhinaus ist die Abnahme der Inversionshäufigkeit weniger stark ausgeprägt.

Der zur Berechnung der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse (s. Kap. 7.3.3) relevante Grenzwert von 220 Inversionstagen pro Jahr wird in etwa 460 m über NN unterschritten. Besonders inversionsgefährdet ist damit fast das gesamte

Neumarkter Becken mit dem dort befindlichen bebauten Stadtgebiet von Neumarkt.

Außerhalb des Neumarkter Beckens und außerhalb dieser Tallagen steigt das Gelände nach Osten zu rasch an, was dort großflächig zu einer Verringerung der Inversionshäufigkeit führt. Damit ragen große Gebiete des östlichen Neumarkter Stadtbereiches um den Höhenberg sowie die Ortslagen Voggenthal und Polchenhofen aus dem inversionsgefährdeten Bereich heraus.

#### 7.4.5 Jahresmittel der Windgeschwindigkeit

Wendet man die Regressionsgleichungen (2) und (3) aus Abschnitt 7.3.1.2 (Anhang) auf das Untersuchungsgebiet an, so erhält man die in der Tabelle 18 dargestellte Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit von der Höhe. Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einen prozentualen Hindernisanteil von 35 % und ebenes, flaches Gelände.

Man erkennt, daß im Höhenbereich zwischen 401 m und 700 m über NN die Höhenabhängigkeit der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit nur schwach ausgeprägt ist. Zwischen dem tiefergelegenen Schwarzsachtal (etwa 410 m über NN) und den Höhenzügen nordwestlich und östlich von Neumarkt (Höhenberg 581 m über NN, Zankelberg 566 m über NN und Steinberg 570 m über NN östlich von Neumarkt, Schloßberg 550 m über NN und Großberg 570 über NN im Nordwesten und Westen von Neumarkt) erhöht sich die mittlere Windgeschwindigkeit nur um etwa 0,35 m/s.

Dieser Höhenverteilung ist gemäß der o.g. Regressionsgleichung noch der Effekt der geographischen Länge und Breite überlagert, der sich aufgrund der geringen Größe des Untersuchungsgebietes jedoch kaum bemerkbar macht.

Neben diesen großräumigen Einflußfaktoren ist die Windgeschwindigkeit auch in hohem Maße von lokalen Effekten abhängig: Waldgebiete und Siedlungen reduzieren im Mittel die Windgeschwindigkeit, wobei die Reduktionsrate von dem prozentualen Hindernisanteil - Wald oder Siedlung - in der Umgebung der Station abhängig ist. Die in der **Tabelle 18** dargestellten Windgeschwindigkeiten gelten für einen Hindernisanteil von 35 %. Im Extremfall erhöht sich die Windgeschwindigkeit über ungestörten Freiflächen - Hindernisanteil 0 % - um den Faktor 1.32; während dichtbebaute Gebiete - Hindernisanteil 100 % zu einer Verringerung der mittleren Windgeschwindigkeit um den Faktor 0.6 führen.

Tal- und Muldonlagen wirken sich ebenfalls vermindern (Reduktionsfaktor: 0.80) auf die Windgeschwindigkeit aus, während sich über Kuppenlagen die Windgeschwindigkeit erhöht (Erhöhungsfaktor: 1.24).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß durch die lokalen Einflußfaktoren - Bebauungs- und Waldanteil, topographische Formen - das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet wesentlich stärker beeinflusst wird als durch die Geländehöhe. Geplante Nutzungsänderungen werden demnach an der regionalen Windgeschwindigkeitsverteilung gemäß **Tabelle 18** nichts ändern; lokal können jedoch sehr große Modifikationen des Windfeldes bewirkt werden.

Während sich im topographisch etwas weniger gegliederten Bereich des Untersuchungsgebietes (im wesentlichen im Neumarkter Becken) eine etwas homogenere, größtenteils durch die Landnutzung bedingte Windgeschwindigkeitsverteilung einstellt, ist das Windfeld in den anderen Bereichen des Untersuchungsgebietes durch ein vielfältiges Zusammenwirken von Erdoberflächenbedeckung, Geländehöhe und topographischen Formen mit einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit über Kuppen und Kämmen sowie einer Verminderung in Tallagen geprägt, was zu einer starken Differenzierung auf engem Raum führt. So kann sich zum Beispiel im Umfeld des Höhenberges oder des Wolfsteinberges auf einer Entfernung von nur wenigen hundert Metern

das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit von den Tallagen zu den benachbarten Kuppenlagen zum Teil um mehr als 1,5 m/s ändern.

Die geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten (unter 1,8 m/s) treten vor allem in den meist bewaldeten Bereichen auf, z.B. zwischen Rittershof und Tyrolsberg, im Bereich Schloßberg im Nordwesten des Untersuchungsgebietes, zwischen Bruchberg und Zankelberg im Süden und Südosten sowie im Bereich Höhenberg im Tal und nordöstlich des Wolfsteinberges. Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten (über 3,6 m/s) dagegen sind in den exponierten Lagen von Höhen- und Wolfsteinberg sowie im Nordosten des Untersuchungsgebietes zu finden.

In den Windgeschwindigkeitsbereich zwischen 2,1 und 3,0 m/s fällt der größte Teil des Untersuchungsgebietes (etwa 85 %) und auch die Stadt Neumarkt selbst. Die für den bebauten Bereich der Innenstadt berechneten Windgeschwindigkeiten stimmen dabei mit der Abschätzung in Kap. 5.5.2 gut überein.

Insgesamt unterliegen die mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet einer großen Schwankungsbreite: Bewaldete (enge) Tallagen weisen mit weniger als 1,5 m/s die geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten auf, während über Kuppenlagen Jahresmittelwerte mit mehr als 3,6 m/s auftreten können.

#### 7.4.6 Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse

##### 7.4.6.1 IST-Zustand

Aufgrund der geringen mittleren Windgeschwindigkeit in Verbindung mit einer hohen Inversionshäufigkeit sind große Bereiche des Neumarkter Beckens, insbesondere das Stadtzentrum und seine Umgebung mit der Siedlung Hasenhaiden sowie die Ortsteile Woffenbach, Pölling, Stauf, Berggau, Rittershof und der Bereich Loderbach/Richtheim gering durchlüftet (siehe Abb. 12, Karte der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse).

Außerhalb des Stadtbereiches von Neumarkt beschränken sich die schlecht durchlüfteten Gebiete besonders auf die ost- bzw. nordostseitigen Hang- und Tallagen der verschiedenen Anhöhen, z.B. vom Buchberg, Tyrolsberg, Stauter Berg, Schloßberg und Wolfstein. Wegen der geringen mittleren Windgeschwindigkeiten sind trotz geringer Inversionshäufigkeit auch einige Tallagen südlich von Voggenthal und bei Arzthofen gering durchlüftet.

Besser durchlüftet sind trotz einer hohen Inversionshäufigkeit wegen ausreichender mittlerer Windgeschwindigkeiten weite Teile der westlichen Hangbereiche des Wolfsteinbergs und des Höhenbergs, u.a. auch die Siedlungen Lähr und Schafhof.

Großräumig mittlere bis gute Durchlüftungsverhältnisse sind in den höherliegenden Bereichen des östlichen Untersuchungsgebietes mit seinem hohen Freiflächenanteil und den höheren mittleren Windgeschwindigkeiten bzw. deutlich geringeren Inversionshäufigkeiten außerhalb der Wälder und Täler zu finden. Gute Durchlüftung weisen das Gebiet zwischen Helena und Höhenberg sowie der Bereich zwischen Voggenthal und Pelchenhofen und das Gebiet nördlich davon auf. Im Westen des Untersuchungsgebietes ist der Bereich um Tyrolsberg begünstigt.

Die mäßigen Durchlüftungsverhältnisse im östlichen Untersuchungsgebiet kommen auch durch geringe mittlere Windgeschwindigkeiten oberhalb des inversiongefährdeten Bereiches zustandekommen. Dies betrifft vor allem die waldreichen höhergelegenen Gebiete.

#### 7.4.6.2 SOLL-Zustand

Durch die für das Planungsgebiet Pöllinger Höhe (Kap. 7.4.2.2) vorgesehene Flächennutzungsänderung - es kommen im SOLL-Zustand 354 bebaute Pixel hinzu - erhöht sich in diesem Bereich die Bodenrauigkeit. Dies führt zu einer Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit im neu bebauten Gebiet und auch in einem gewissen Bereich stromauf. Durch die Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit wiederum verschlechtern sich die Durchlüftungsverhältnisse.

In der Abbildung 13 (Karte der Durchlüftungsverhältnisse im SOLL-Zustand) ist zu sehen, daß sich das Gebiet mit der geringen Durchlüftung (rote Farbe) im Bereich westlich und südwestlich von Holzheim nach Westen hin ausweitet. Insgesamt erhöht sich die Zahl der schlecht durchlüfteten Pixel um 360. Der Planungsbereich Pöllinger Höhe sowie einige Randbereiche im Nordwesten werden also insgesamt schlechter durchlüftet und nur entlang der Umgehungsstraße am Westrand des Gebietes (Münchner Ring) bleiben die Durchlüftungsverhältnisse mässig.

Da jede Bebauung aufgrund der höheren Bodenrauigkeit die mittlere Windgeschwindigkeit verringert und damit auch die Durchlüftungsverhältnisse verschlechtert, ist nicht daraus zu folgern, daß in diesem Gebiet nicht gebaut werden sollte. Wie in Kap. 7.4.2.2 beschrieben wurde, hat die vorgesehene Flächennutzungsänderung im Planungsgebiet Pöllinger Höhe keine entscheidenden Auswirkungen auf die für die thermische Entlastung wichtigen Lokalwindzirkulationen der Stadt Neumarkt.



## 7.4.7 Freiflächensicherung

### 7.4.7.1 IST-Zustand

Um die momentanen Durchlüftungsverhältnisse nicht zu verschlechtern, erhalten vor allem die Hanglagen von Ballungszentren und anderen in schlecht durchlüfteten Tälern oder Talkesseln gelegenen Siedlungen einen hohen Sicherungsgrad. Hoch zu sichern sind auch weite Talbereiche z.B. im Raum Pölling, Raum Rihthofen/Loderbach, zwischen Pilsach und Neumarkt und bei Arzthofen. Das betrifft neben dem Talgrund auch die angrenzenden Hanglagen (siehe Abb. 14, Kartierung der Freiflächensicherung).

Talabwinde spielen in dem orographisch stark gegliederten Untersuchungsgebiet eine wichtige Rolle, da sie in Strahlungsnächten - mit allgemein geringen Windgeschwindigkeiten - zu einer Verstärkung des Windes im Talbereich führen und auch in der Lage sind, bebaute Gebiete zu durchdringen (s. Kap. 7.2). Bei Schwachwindwetterlagen stellen diese lokalen Windsysteme oftmals ein Mindestmaß an Ventilation sicher.

Um diese lokalen Windsysteme zu erhalten, sollten alle schlecht bis mäßig durchlüfteten Freiflächen, die im näheren Einzugsgebiet dieser Talabwinde liegen, hoch gesichert werden. Dies gilt vor allem für die Hanglagen, auf denen ein kräftiger Kaltluftabfluß zu tieferliegenden Siedlungen stattfindet (siehe auch die Karte der lokalklimatisch bedeutsamen Flächen, Abb. 10).

Aus den genannten Gründen erhalten die Freiflächen an den Hängen und den Hochflächen um die in Tallagen oder Beckenlagen gelegenen Siedlungen einen hohen Sicherungsgrad.

Im Untersuchungsgebiet treten in zahlreichen Tälern in wind schwachen Strahlungsnächten die für die thermische Entlastung der Stadt wichtigen Talabwinde auf (siehe Kap. 7.4.2.1 und Abb. 10). Deshalb sollten die betroffenen Talsohlen zur Erhaltung der lokalen Windsysteme (sofern keine Kaltluftstaus

auftreten, die ein Durchgreifen des Talabwindes bis zum Boden behindern) möglichst in ihrem jetzigen Zustand belassen werden.

In den gut bis mäßig durchlüfteten zum Teil etwas höher gelegenen Bereichen des Untersuchungsgebietes nördlich und südlich von Pölling sowie den östlichen Stadtteilen von Neumarkt in den Hangbereichen erkennt man größere und kleinere zusammenhängende Zonen mit hohem Freiflächensicherungsgrad. Die hier produzierte Kaltluft kann in die tieferliegenden schlechter durchlüfteten Siedlungsbereiche abfließen und dort die lufthygienische Situation durch Zufuhr von frischerer Luft verbessern.

Einen hohen Freiflächensicherungsgrad erhalten auch die Freiflächen, die entweder im Einzugsbereich von Talabwinden liegen oder, wenn das nicht der Fall ist, im Einzugsbereich schlecht durchlüfteter Siedlungsteile und ausserhalb eines Kaltluftstaus oder -sees liegen. Derartige hoch zu sichernde Freiflächen finden sich auf viele Ortsteile Neumarkts verteilt um die Bereiche von niedriger mittlerer Windgeschwindigkeit ( $< 3 \text{ m/s}$ ) und geringer Durchlüftung herum.

Zusammenhängende Regionen mit geringem Freiflächenschutz findet man entweder in Gebieten, die nicht im Einzugsbereich einer schlecht bis mäßig durchlüfteten Siedlung liegen (eine Nutzungsänderung von Freifläche in Siedlung oder Wald würde die Durchlüftungsverhältnisse einer bestehenden Siedlung daher nicht beeinflussen) oder in den Lagen, wo nicht nur die Freiflächen, sondern auch die Siedlungsgebiete gut durchlüftet sind.

Innerstädtische Gebiete mit geringem Freiflächenschutz findet man vor allem da (Flächen des nordöstlichen, östlichen und südöstlichen Stadtgebietes von Neumarkt, Bereich Pöllinger Höhe und südlicher Bereich von Woffenbach), wo durch lokalklimatische Phänomene (Kaltluftstaus mit absoluter Luftstagnation) die ohnehin schon schlechten Durchlüftungsverhältnisse weiter verschlechtert werden, so daß die betreffende Freifläche keinen Beitrag zur Durchlüftung der angrenzenden Siedlung liefert (s. auch Kap. 7.3.4). Diese lokalen Flächen

geringen Sicherungsgrades findet man meist in unmittelbarer Nähe zu bebauten Gebieten: Hierzu zählen einige Freiflächen der Stadt Neumarkt (z.B. Plätze und Straßonkreuzungen, größere Verkehrsflächen, Innenhöfe, kleinräumige Parks oder Gärten sowie Kaltluftstaus an Ortsrändern). Letzteres bedeutet aber nicht zwangsläufig, daß diese Flächen aus klimatologischer Sicht bebaut werden können. Bewertet wurde lediglich der Belüftungsaspekt. Teilweise sind diese Flächen aber von großer bioklimatischer Relevanz als grüne und kühle Inseln in einer ansonsten wärmelasteten Stadt. Wenn diese Relevanz allerdings nicht gegeben ist, eignen sich die genannten Flächen durchaus auch zur Bebauung.

Mäßigen Freiflächenschutz erhalten schlecht durchlüftete, innerstädtische Freiflächen nur dann, wenn auf ihnen ein direkter Kaltluftabfluß in bebautes Gebiet stattfinden kann (z.B. in den Hangzonenbereichen im östlichen Stadtgebiet).

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Klimarestriktionskarte "Freiflächensicherung" den Zweck erfüllt, die Freiflächen zu sichern, die für die Durchlüftungsverhältnisse eines Ortes von Bedeutung sind; Ein geringer Sicherungsgrad in Verbindung mit gut durchlüfteten Freiflächen zum Beispiel ist nicht dahingehend mißzuverstehen, daß diese sich gut zur Bebauung eignen. Das gleiche gilt für innerstädtische Parks und Grünflächen, die zwar kaum einen Beitrag zur Verbesserung der Durchlüftung liefern, aus bioklimatischer Sicht - Verminderung des Wärmeinseleffektes - jedoch eine wichtige Funktion erfüllen.

#### 7.4.7.2 SOLL-Zustand

Die rechnerischen Auswirkungen der im Bereich Pöllinger Höhe geplanten Flächennutzungsänderung auf den Grad der Freiflächensicherung zeigt die **Abbildung 15** (Karte der Freiflächensicherung des SOLL-Zustands). Gegenüber dem IST-Zustand in Abb. 14 vergrößert sich im Bereich des Planungsgebietes (Bereich Pöllinger Höhe/Sportflugplatz) der Flächenanteil mit geringem Siche-

rungsgrad, erkennbar an der grünen Färbung. Durch die vorgesehene Bebauung verringert sich - wie oben beschrieben - die mittlere Windgeschwindigkeit, dies hat eine schlechte Durchlüftung zur Folge (siehe Kap. 7.4.6.2). Aufgrund der schlechten Durchlüftung folgt, wenn die Fläche nicht im Einzugsgebiet von Talabwindssystemen und nicht im Einzugsgebiet schlecht durchlüfteter Siedlungen liegt, ein geringer Freiflächensicherungsgrad. Dies ist im Planungsgebiet Pöllinger Höhe bei einer Vielzahl von Flächen (Pixeln) der Fall.

Die Veränderungen im Freiflächensicherungsgrad des SOLL-Zustands sprechen nicht gegen eine Bebauung im vorgesehenen Gebiet.

## 8 Zusammenfassung und Planungsempfehlungen

Im Rahmen des vorliegenden klimatologischen Gutachtens werden sowohl die lokalklimatischen als auch die lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet und in der unmittelbaren Umgebung von Neumarkt i.d.Opf. untersucht. Von besonderem Interesse ist dabei der Planungsbereich "Pöllinger Höhe", der westlich vom Zentrum der Stadt liegt.

Im Bereich der Stadt Neumarkt entwickeln sich vorzugsweise in windschwachen und wolkenarmen Nächten eigenständige lokale Windzirkulationen, die durch ihre Kaltluftflüsse lufthygienische und thermische Ausgleichsleistungen aufweisen. Denkbar sind bei der Lufthygiene sowohl Entlastungs- als auch Belastungsleistungen, je nach Zugbahn der Kaltluft. Ein Verbauen relevanter Kaltluft- oder auch Frischluftschneisen kann daher sehr nachteilige Auswirkungen auf die Durchlüftungsverhältnisse haben.

Wichtige Grundlage für dieses Gutachten ist deswegen die Betrachtung von autochthonen Wetterlagen, bei denen sich lokalklimatische Unterschiede besonders gut ausprägen können. Die rechnerische Simulation der Kaltluftbildung mit dem Kaltluftabflußmodell liefert als Ergebnis die Kartierung lokal-

klimatisch bedeutsamer Flächen. Die Simulation erfaßt die lokalklimatisch bedeutsamen Kaltluftflüsse im Stadtgebiet von Neumarkt und seiner Umgebung flächendeckend. Auf das Kaltluftabflußmodell aufbauende weitere Modellrechnungen geben Aufschluß über die Durchlüftungsverhältnisse im Stadtgebiet und über freizuhaltende Flächen, um die Verhältnisse nicht zu verschlechtern. Die örtlichen Ausbreitungsverhältnisse werden anhand einer repräsentativen Ausbreitungsklassenstatistik und durch die Interpretation der Kaltluftflüsse erörtert.

Die flächendeckende Darstellung der bestehenden Verhältnisse im Kaltluftabflußmodell zeigt, daß der gesamte Bereich der Stadt Neumarkt innerhalb eines Kaltluftammelgebietes liegt. Die Kartierung zeigt weiterhin, daß es in dem orographisch stark gegliederten Untersuchungsgebiet vorbreitet zu teils schwachen, sporadischen Kaltluftabflüssen, teils starken, länger andauernden Kaltluftflüssen sowie zur Ausbildung mehrerer Talabwindssysteme kommt. Diese Talabwinde (Bergwinde) sind ganz besonders wichtig für die thermische- und lufthygienische Entlastung der Innenstadt von Neumarkt. Wegen der Bedeutung dieser Bergwinde ist zukünftig darauf zu achten, daß die entsprechenden Entstehungsgebiete für Kaltluftflüsse (als Motor für die Lokalwinde) nicht durch Bebauung oder Besiedelung zu stark eingeschränkt werden.

Weiterhin sind in der Kartierung auch zahlreiche Kaltluftstaugebiete enthalten. Diese gibt es vorzugsweise im Bereich der bebauten Gebiete, aber auch über unbebautem Gelände am Stadtrand bzw. an Hindernissen, wie Waldrändern oder in engen Tälern. In solchen Staugebieten ist der Luftaustausch während wind-schwacher Strahlungsnächte besonders stark eingeschränkt und es können sich dort Luftschadstoffe (z.B. Abgase aus Verkehr, Industrie oder Hausbrand) anreichern.

Aufgrund der Modellrechnungen für den SOLL-Zustand im Planungsbereich "Pöllinger Höhe" ist aus klimatologischer Sicht gegen eine Flächennutzungsänderung wie vorgesehen in diesem Bereich nichts einzuwenden. Die Durch-

lüftungsverhältnisse der Stadt Neumarkt würden sich - wie die entsprechenden Kartierungen zeigen - durch die vorgesehenen Baumaßnahmen nicht wesentlich verändern, denn das Gebiet liegt nicht im Bereich von Talabwindssystemen und ist keine Kaltluftproduktionsfläche von entscheidender Bedeutung.

Aus lokalklimatologischer Sicht ist auch der Bau einer Umgehungsstraße nördlich von Pölling unter bestimmten baulichen Voraussetzungen vertretbar, ebenso eine eventuell vorgesehene Bebauung im Norden Pöllings. Diese könnte allerdings bei ungünstiger Bebauung die Durchlüftungsverhältnisse von Neumarkt etwas beeinträchtigen, da sie in einem Kaltluftproduktionsgebiet liegt und eventuell ein für Neumarkt wichtiges Talabwindsystem schwächen könnte.

Gebiete, die sich zur Bebauung eignen, befinden sich vorzugsweise im innerstädtischen oder ohnehin bereits bebauten Bereich. Dort, wo der Freiflächenschutz gering und eine bioklimatische Relevanz (innerstädtischer Park bzw. grüne Insel) nicht gegeben ist, finden sich diese Gebiete. Dazu gehören z.B. Flächen des nordöstlichen, östlichen und südöstlichen Stadtgebietes von Neumarkt, der Bereich Pöllinger Höhe und der südliche Bereich von Woffenbach.

Da die Stadt- und Regionalplanung ein äußerst komplexes Gebilde mit vielen Planungsaspekten ist, die nicht alle in Form einer Klimaeignungskarte bzw. Klimarestriktionskarte berücksichtigt werden können, werden im folgenden **allgemeine Planungshinweise** gegeben, um eine optimale Nutzung des umfangreichen Kartenmaterials zu gewährleisten und eine Einbeziehung der klimatischen Gegebenheiten in den Planungsprozeß zu ermöglichen.

Bei der Planung von neu zu errichtenden Siedlungsgebieten spielen sowohl die dort herrschenden bioklimatischen Verhältnisse als auch die Durchlüftungsverhältnisse eine große Rolle. Gut durchlüftete Gebiete sind in der Regel für Wohnbebauung geeignet. Lokale Windsysteme (nächtlicher Kaltluftabfluß, Talab-

winde) sollten bei der Siedlungsplanung ebenfalls berücksichtigt werden. Neu zu errichtende Wohnsiedlungen, die im Einzugsbereich solcher Windsysteme liegen, sollten sich durch eine aufgelockerte, von Grünflächen durchsetzte Bebauung auszeichnen. Die Ausrichtung von Gebäuden sowie Straßen sollte parallel zur Fließrichtung erfolgen, damit kein Kaltluftstau entsteht und eine hohe Eindringtiefe bzw. ein Durchströmen der Kaltluft gewährleistet wird. Aus dem gleichen Grund sollte eine neue Bebauung in Tälern parallel zum Gefälle der Talsohle liegen, wobei der eigentliche Talgrund von jeglichen Hindernissen freizuhalten ist. In keinem Fall jedoch sollten Kaltluftflüsse oder Talabwinde durch querstehende, die Talsohle abriegelnde Blockbebauung behindert werden.

Bei der Ausweisung von Flächen, die zur **Bebauung** (Wohnen, Gewerbe, Industrie) vorgesehen sind, sind nach Möglichkeit folgende allgemeine Regeln zu beachten (REGIONALE LUFTAUSTAUSCHPROZESSE, 1979):

- Kaltluftproduzierende und -transportierende Flächen sollen um insgesamt nicht mehr als 5% verkleinert werden.
- Kaltluftproduzierende und -transportierende Flächen sollen nicht zerschnitten, zerstückelt oder eingegengt werden.
- Neu auszuweisende Siedlungsgebiete sollen an bestehende bebaute Gebiete anschließen, sofern keine Konflikte mit der "Freiflächensicherung" entstehen.

Auf Fragen nach **Bebauungsdichte**, **Gebäudehöhe**, **Grünflächenanteil** und **Versiegelungsgrad** lassen sich kaum allgemeingültige Planungsaussagen machen, da dieser Aspekt von einer Vielzahl von Faktoren wie Gebäudeausrichtung, Baumaterial, unmittelbare Umgebung usw., abhängig ist, die nur im konkreten Einzelfall berücksichtigt werden können. Moderne Methoden in der Klimatologie bieten jedoch auch hier Lösungsmöglichkeiten (JENDRITZKY, 1987; SIEVERS und ZDUNKOWSKY, 1986; SIEVERS, 1990 und 1995).

Mit der Errichtung neuer Siedlungs- und Gewerbeflächen, aber auch der Erschließung von Naherholungsgebieten eng verbunden, ist ein weiterer Ausbau

der Verkehrsflächen. Damit steigen auch die Belastungen durch Luftverunreinigungen z.B. Kfz-Emissionen und Lärm in der unmittelbaren Nähe der Verkehrsflächen an.

Bei der Planung von Verkehrswegen sollten Dammführungen, die zu einem Aufstau von Kaltluft führen, vermieden werden. In diesem Fall bietet sich die Schaffung von Durchlässen (Brücken oder Überführungen) an, wenn sich im Anstaubereich des Damms empfindliche Nutzungen befinden oder ein bislang wirksamer Kaltluftfluß in bioklimatisch hochbelastete Gebiete durch die Aufschüttung unterbunden wird.

Je nach Verkehrsdichte muß sowohl mit bodennahen Schadstoffemissionen als auch mit Lärm gerechnet werden. Planerisch läßt sich dieses Problem durch ausreichende Schutzabstände zu angrenzenden Siedlungen lösen. Ist ein solcher Abstand nicht möglich, muß überprüft werden, inwieweit lokale Windsysteme, etwa der ebenfalls bodennahe Kaltluftfluß, in der Lage sind, verunreinigte Luft in den Siedlungsbereich zu transportieren.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß bei der Planung von Verkehrswegen aus klimatologischer Sicht sowohl eine Gefährdung des Verkehrs selbst (z.B. durch Nebel oder Glätte) ausgeschlossen werden muß als auch mögliche Beeinträchtigungen der Umgebung verhindert werden sollten. Da sich beide Betrachtungsweisen nicht von vornherein ausschließen müssen, sollte bei der Trassenführung eine für beide Aspekte optimale Lösung gefunden werden. Erste Anhaltspunkte bei der Planung von Verkehrswegen können den Karten "Lokalklimatisch bedeutsame Flächen" entnommen werden.

Bei der Planung von Standorten für Industrie und Großgewerbe, aber auch Müllverbrennungsanlagen, Kraftwerke u.ä., sind hauptsächlich lufthygienische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Die klimatologischen Anforderungen an diese Nutzungsart konzentrieren sich daher in erster Linie auf die Parameter, die die



Austauschverhältnisse beschreiben (Windgeschwindigkeit, Durchlüftungsverhältnisse).

Grundsätzlich ist die Errichtung von Industrieanlagen im Bereich von Kaltluftsammegebieten zu vermeiden. Auch großflächige Gebiete mit schlechten Durchlüftungsverhältnissen eignen sich nicht als Industriestandorte. Es sollte daher überprüft werden, ob sich ein austauschgünstiger Standort außerhalb dieser Zonen finden läßt. Ist eine solche Lage nicht möglich, sollte durch eine ausreichende Schornsteinhöhe das Kaltluftsammegebiet durchstoßen werden.

Allgemein sollten Industriegebiete durch ausreichende Abstandsflächen von Wohnbereichen getrennt sein. Die Funktion dieser Abstandsflächen besteht einerseits darin, die Grundbelastung bei "normalen" Austauschbedingungen niedrig zu halten, andererseits in der Ausfilterung von Stäuben oder Aerosolen. Innerhalb dieser Abstandsflächen sollten empfindliche Nutzungen wie Altenheime, Krankenhäuser oder Sanatorien nicht realisiert werden.

## 9 Literaturverzeichnis

BAUMGARTNER, A.: Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. Berichte DWD Offenbach, 5 (1956).

Bayerischer Solar- und Windatlas, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie.

BRÜNDL, W., Mayer, H. und Baumgartner, A.: Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse bayerischen Großstädten. Stadtklima Bayern.

Deutscher Wetterdienst:

Amtliches Gutachten über das Klima der Stadt Coburg, München 1994.

Deutscher Wetterdienst:

Amtliches Gutachten über das Stadtklima von Potsdam, Potsdam 1993.

GERTH, W.-P.: Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. Berichte DWD Offenbach, 171 (1986).

GERTH, W.-P.: Anwendungsorientierte Erstellung großmaßstäbiger Klimateignungskarten für die Regionalplanung. Berichte DWD Offenbach, 173 (1987).

GERTH, W.-P. und CHRISTOFFER, J.: Windkarten von Deutschland.

Meteorol. Zeitschrift, 3, S. 67-77 (1994).

HAVLIK, D.: Großstädtische Wärmeinsel und Gewitterbildung. Geogr. Institut der RWTH Aachen, 1981.

HELBIG, A.: Analyse anthropogener Einflüsse auf das urbane Temperaturfeld. Petermanns geogr. Mitteilungen, 1988.

HESS, P. und BREZOWSKI, H.: Katalog der Großwetterlagen, DWD 1993.

JENDRITZKY, G., 1987: Mesoskalige Untersuchungen des Orographieinflusses auf die thermischen Umweltbedingungen des Menschen. Abschlußbericht Projekt ZMMF/U3, Freiburg.

JENDRITZKY, G., 1987: Untersuchungen des Wärmehaushaltes von Straßenschluchten und Innenhöfen unter Einsatz der Bioklimastationen und von Modellrechnungen. Abschlußbericht Projekt ZMMF/8, Freiburg.

KING, E.: Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefahr durch Straßenbauten). Berichte DWD Offenbach, 130 (1973).

KLIMAATLAS VON BAYERN, BayFORKLIM 1998.

KLUG, W.: Ein Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen aus synoptischen Beobachtungen. Staub-Reinhaltung Luft 29, S.143-147 (1989).

KUTTLER, W.: Städtische Klimamodifikation. VDI-Berichte Nr. 1330, 1997.

LANDSBERG, H.E.: The urban climate, New York 1981.

MANIER, G.: Vergleich zwischen Ausbreitungsklassen und Temperaturgradienten. Meteorol. Rundschau, 28, S.6-11 (1975).

MATHYS, H., MAURER, R., MESSERLI, B., WANNER, H., WINIGER, M., 1980: Klima und Lufthygiene im Raum Bern, Veröffentlichungen der geographischen Kommission 7, Bern.

MLuS-92: Merkblatt über Luftverunreinigung an Strassen der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln, 1992.

REGIONALE LUFTAUSTAUSCHPROZESSE: Schriftenreihe "Raumordnung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bad Godesberg, 1979.

SACHWEH, M., 1997: Natürl. und anthropogene Ursachen rezenter Trends der Nebelhäufigkeit in Süddeutschland. Petermanns geogr. Mitteilungen Nr. 141.

SCHIRMER, H., 1988: Meteorologische Begriffsbestimmungen in der Raumplanung. Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Band 33, Hannover.

SCHÜTZ, M., 1996: Anthropogene Niederschlagsmodifikationen im komplex urbanen Raum. Geowissenschaften Nr. 14.

SIEVERS, U. und W.G. ZDUNKOWSKY, 1986: A microscale urban climate model. Beitr. Phys. Atmosph., Nr. 59.

SIEVERS, U., 1990: Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. In: Umweltmeteorologie, Sitzung des Hauptausschusses II am 7. und 8. Juni 1990 in Lahnstein. Schriftenreihe Band 15, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf.

SIEVERS, U., 1995: Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf drei Dimensionen. Meteorologische Zeitschrift, Neue Folge 4, S. 3-15.

SWANTES, H.J., 1981: Das Waldklima und seine bioklimatische Wirkung auf den Menschen. In: Heilbad und Klima 33, 9/81.

TA-LUFT: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, 4. Auflage, 1994.

VDI-Kommission Reinhaltung der Luft: Lufthygiene und Klima, VDI-Verlag 1993.

VDI-Kommission Reinhaltung der Luft: Stadtklima und Luftreinhaltung, Springer-Verlag 1988.

WANNER, H., 1983: Das Projekt "Durchlüftungskarte der Schweiz" -Methodik und erste Ergebnisse, Informationen und Beiträge zur Klimaforschung Nr.18, Bern.

WEISE, A.: Zur bodenbedingten Differenzierung des Geländeklimas Zeitschrift für Meteorologie (Band 30, Heft 3).

WIPPERMANN, F., 1987: Die Kanalisierung von Luftströmungen in Tälern. In: PROMET 3/4'87, Offenbach.

WMO (WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION), 1983: Guide to meteorological instruments and methods of observation, WMO No.8, 5.Aufl., Genf.

## 10 Glossar

Der aktinische Wirkungskomplex umfaßt die Wirkung der von Sonne, Himmel und Umgebung ausgehenden Strahlung auf den Menschen.

Eine allochthone Wetterlage wird durch großräumige Witterung geprägt. Sie entsteht während des Durchzugs von Tiefdruckgebieten, bei denen Luftmassen mit unterschiedlichem Wärme- und Feuchtegehalt aus weit entfernten Klimagebieten herangeführt werden. Der tägliche Gang der meisten meteorologischen Elemente ist nur schwach ausgeprägt. Lokale Unterschiede bleiben gering.

Antizyklonal bezeichnet allgemein bei einer Großwetterlage das Überwiegen des Hochdruckeinflusses.

Die atmosphärische Grenzschicht ist die unterste Schicht im Aufbau der Atmosphäre, in der die Bodenrauigkeit sich auswirkt (im Mittel bis 1000 m Höhe).

Die atmosphärische Turbulenz bezeichnet die in der Atmosphäre stets und in ganz verschiedenen Größenordnungen auftretende Turbulenz (= Strömungszustand, der durch Bildung und Zerfall von Wirbeln gekennzeichnet ist).

Eine autochthone Wetterlage wird durch lokale und regionale Einflußfaktoren gestaltet. Sie entsteht bei antizyklonalen Wetterlagen und ist gekennzeichnet durch einen ausgeprägten Tagesgang der meisten meteorologischen Elemente wie z. B. Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Bewölkung und Windgeschwindigkeit. Durch lokale Temperaturunterschiede entstehen Ausgleichsströmungen mit täglicher Periode wie Hangwinde, Berg- und Talwinde. Nachts bilden sich Strahlungsinversionen und in Mulden und Tälern durch stagnierende Kaltluft Kälteseen mit Temperaturumkehr (siehe auch allochthone Wetterlage).

Bergwind: zum Talausgang gerichtete Strömung

Bodeninversion siehe Inversion

**Deposition** bezeichnet die Ablagerung atmosphärischer Spurenstoffe am Boden oder im Wasser.

An einem **Eistag** liegt das Maximum der Lufttemperatur unter 0 °C.

**Emission** ist der Ausstoß von Schadstoffen in die Außenluft.

**Frosttag:** Tag mit einer Tiefsttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes.

**Gradientschwache Wetterlage:** Wetterlage mit geringen horizontalen Luftdruckunterschieden und entsprechend schwacher Luftbewegung.

**Hangwind:** tagsüber hangaufwärts (Hangaufwind), nachts hangabwärts (Hangabwind) wehender Wind, der bei einer ruhigen Strahlungswetterlage besonders gut ausgebildet ist.

**Heiterer Tag:** Tag mit einer mittleren Bewölkung von weniger als 1,6 Achtel oder 20 %.

**Immission** bezeichnet die Einwirkung von gasförmigen, flüssigen oder festen Schadstoffen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Boden.

Als **Inversion** bezeichnet man eine Schicht in der Atmosphäre, in der die Temperatur mit der Höhe zunimmt - im Gegensatz zu der im Mittel geltenden Abnahme der Temperatur mit der Höhe. **Bodeninversionen** liegen unmittelbar auf der Erdoberfläche auf, **Höheninversionen** oder **abgehobene Inversionen** sind durch eine Schicht vertikaler Temperaturabnahme vom Boden getrennt. Die Minimumtemperaturinversionen werden mit Hilfe der täglichen Minima von Klimastationen ermittelt; aus den unterschiedlichen Höhenlagen wird ein vertikales Minimumtemperaturprofil erzeugt.

**Kaltluftabfluß** ist der nächtliche Abfluß örtlich gebildeter Kaltluft bei genügendem Gefälle, insbesondere an unbewaldeten und unverbauten Hängen sowie Tälern.

**Kaltluftproduktion** findet bei autochthonen Wetterlagen infolge nächtlicher Ausstrahlung statt. Bei diesen Vorgängen kühlen sich der Erdboden und die bodennahe Luftschicht ab, es bildet sich bodennahe Kaltluft. Ihre Bildung hängt vom Bewuchs, von der Form, der Exposition und der Albedo der Erdoberfläche ab.

**Kelvin:** Die Temperaturskala, die am absoluten Nullpunkt beginnt, Temperaturdifferenzen werden im allgemeinen in K (Kelvin) angegeben.

Als **Klima** wird die Gesamtheit aller an einem Ort möglichen Wetterzustände, einschließlich ihrer typischen Aufeinanderfolge sowie ihrer tages- und jahreszeitlichen Schwankungen bezeichnet.

**Klimatische Ausgleichsräume:** Räume, die benachbarten, belasteten Räumen zugeordnet sind und in diesen Räumen bestehende klimahygienische Belastungen aufgrund von Lagebeziehungen und Luftmassenaustauschvorgängen abbauen soll.

Als **Konvektion** wird in der Meteorologie die vertikale Luftbewegung mit Aufsteigen erwärmter Luft bei gleichzeitigem Absinken kälterer Luft in der Umgebung bezeichnet.

**Lokalklima** ist das Klima, das im wesentlichen von nur lokal wirkenden Faktoren, vor allem von der Geländeform, von der Richtung und Stärke der Hangneigung (Exposition) sowie von der Beschaffenheit der Erdoberfläche (bewachsen, bebaut, flüssig, fest usw.) bestimmt wird.

**Lokalwinde:** kleinräumig auftretende Winde bzw. Windsysteme wie Hangwinde und Berg- bzw. Talwinde.

**Luftfeuchte, relative** ist das Verhältnis des vorhandenen Wasserdampfdrucks zu dem bei der herrschenden Lufttemperatur möglichen Sättigungsdampfdruck über Wasser, angegeben in %.

Der **lufthygienische Wirkungskomplex** umfaßt die Auswirkungen von Beschaffenheit und Reinheit der Luft (mit allen Bestandteilen) auf die Gesundheit des Menschen.

**Lufttemperatur** ist die meteorologische Größe, die den Wärmezustand der Luft charakterisiert, angegeben in °C.

Anmerkung: Die Lufttemperatur wird mit einem der Luft ausgesetzten Thermometer gemessen, das vor kurz- und langwelliger Strahlung sowie vor Niederschlag geschützt ist. Temperaturdifferenzen werden in Kelvin (K) angegeben.

**Nebel** besteht aus winzigen, meist mikroskopisch kleinen Wassertröpfchen, die in der Luft schweben und die Sichtweite an der Erdoberfläche herabsetzen. Gemäß den Richtlinien der WMO (World Meteorological Organization) spricht man von **Nebel**, wenn die horizontale Sichtweite weniger als 1 000 m beträgt. Man unterscheidet im wesentlichen drei Nebeltypen, die in weitere Nebelarten unterteilt werden können:

**Abkühlungsnebel:** Zu diesem Nebeltyp zählen der **Strahlungsnebel** und der **Advektionsnebel**. **Strahlungsnebel** treten u.a. im Herbst bei windstillen oder wind-schwachen Strahlungswetterlagen auf, wenn sich der Boden und die bodenna-hen Luftschichten infolge starker nächtlicher Ausstrahlung bis unter den Taupunkt abgekühlt haben (**Bodennebel**, **Talnebel**, **Hochnebel**). **Advektionsnebel** entstehen, wenn feuchtwarmluftmassen über eine kalte Unterlage geführt worden. Zu dieser Nebelart gehören **Meernebel** und **Küstennebel**, ferner winterliche Nebel, die häufig auftreten, wenn wärmere und feuchte Luftmassen (vorwiegend maritimen Ursprungs) gegen das kalte Festland strömen (in Mitteleuropa hauptsächlich im südwestlichen und westlichen Quadranten eines Hochdruckgebietes).

**Verdunstungsnebel (Dampfnebel):** Sie bilden sich durch die Erhöhung des Feuchtegehaltes einer Luftschicht (bei gleichbleibender Temperatur) bis zur Wasserdampfübersättigung infolge Verdunstung von Wasserflächen. Sie entstehen insbesondere dort, wo sehr kalte Luft über warmes Wasser strömt. **Mischungsnebel** entsteht bei gleichzeitiger Abkühlung der Luft und Erhöhung des Wasserdampfgehaltes vor allem im Bereich von Fronten. Die Erhöhung des



Feuchtegehaltes der bodennahen Luftschicht erfolgt durch Verdunstung des frontalen Niederschlages.

**Nebeltag** ist ein Tag, an dem irgendwann zwischen 00 und 24 Uhr das Nebelkriterium erfüllt ist.

Als **Niederschlag** werden Wasserteilchen bezeichnet, die in der Regel aus einer Wolke in flüssiger oder fester Form fallen.

Anmerkung: Der Niederschlag wird quantitativ u. a. mit den Größen Niederschlagshöhe, -intensität, -spende und -dauer angegeben.

Es werden folgende Niederschläge unterschieden:

- flüssiger Niederschlag: Regen, Sprühregen, unterkühlter Sprühregen
- fester Niederschlag: Schnee, Schneegriesel, Reifgraupe, Eisknollen, Hagel, Frostgraupe, Eiskörner.

Die **Niederschlagshöhe** gibt an, wie hoch der Niederschlag den Erdboden bedecken würde, wenn nichts abfließen, verdunsten oder versickern könnte, angegeben als Wasserhöhe in mm.

Anmerkung: Der Zahlenwert der Niederschlagshöhe ist dem des flächenbezogenen Niederschlagsvolumens in Litern gleich (1 mm = 1 l/m<sup>2</sup>)

Unter einem **Reduktionsverfahren** werden Methoden zum Vergleich von verschieden langen klimatologischen Beobachtungsreihen verstanden. Sie werden zur Umrechnung von kurzen Reihen (z.B. 2 Jahre) auf eine Normalperiode (30 Jahre, 1951 bis 1980) angewendet. Die zu vergleichenden Stationen müssen aus ähnlichen und geographisch nicht weit entfernten Räumen stammen.

**Schneedecke:** aus Schneeflocken und/oder Schneegriesel bestehende vollständige (geschlossene Schneedecke) oder teilweise (mindestens 50% des Erdbodens; durchbrochene Schneedecke) Bedeckung des Bodens.

**Sommertag:** Tag mit einer Höchsttemperatur von mindestens 25 °C.

Als **Sonnenscheindauer** wird die Zeitspanne für das Auftreten direkter Sonnenstrahlung, angegeben in Stunden bezeichnet.

**Sonnenstrahlung, direkte:** der Anteil der Sonnenstrahlung, der unbeeinflusst bis zum Erdboden gelangt.

Die **spezifische Feuchte** gibt an, wieviel Gramm Wasserdampf pro Kilogramm feuchter Luft enthalten ist.

**Talwind:** talaufwärts gerichtete Strömung.

Die **thermische Schichtung** der Atmosphäre wird durch den vertikalen Temperaturgradienten (siehe dort) beschrieben. Bei stabiler Schichtung bewirkt das vertikale Lufttemperaturprofil, daß ein durch eine äußere Kraft (z.B. durch Hebung beim Überströmen eines Hindernisses) vertikal aus seiner ursprünglichen Lage gebrachtes Luftquantum wieder in seine Ursprungslage zurückkehrt, weil es kälter als die umgebende Luft ist. Bei labiler Schichtung wird es dagegen weiter von seiner Ursprungslage entfernt.

Neutrale Schichtung liegt vor, wenn ein vertikal verschobenes Luftteilchen dieselbe Lufttemperatur wie seine Umgebung aufweist und deshalb in dem Niveau verharrt, in das es durch die äußere Kraft verfrachtet wurde.

Der **thermische Wirkungskomplex** umfaßt die Bedingungen der Wärmeabgabe des Menschen aufgrund von Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, kurz- und langwelliger Strahlung.

**Thermisches Windsystem:** Durch unterschiedliche Erwärmung und Abkühlung hervorgerufene Temperaturunterschiede, die ein lokales Windsystem erzeugen (z.B. Hang- oder Talwind). Unter Hangwinden versteht man das nächtliche Abfließen der über Bodenerhebungen abgekühlten Luft (Hangabwinde), bzw. das Aufsteigen der an einem Hang erwärmten Luft bei Tage (Hangaufwinde). Dabei bewegt sich die Luft in Richtung der Hangneigung, d.h. bei Hängen, die ein Tal seitlich begrenzen, senkrecht zur Talachse. Voraussetzung ihrer Entstehung sind neben der erforderlichen Reliefenergie längere ungestörte Ein- bzw. Ausstrahlung

bei geringen Luftdruckgegensätzen. Beide Lokalwindzirkulationen unterscheiden sich von der grundströmungsbedingten Komponente des bodennahen Windes durch den für sie typischen Tagesgang der Windrichtung.

Ein **Tropentag** ist die alte Bezeichnung für einen "heißen Tag", an dem das Maximum der Lufttemperatur mindestens 30 °C erreicht.

**Trüber Tag:** Tag mit einer mittleren Bewölkung von mehr als 6,4 Achtel (80 %).

**Turbulenz:** siehe atmosphärische Turbulenz.

Der **vertikale Temperaturgradient** beschreibt die Veränderung der Lufttemperatur mit der Höhe.

**Wind** ist Luftbewegung relativ zur Erdoberfläche.

Anmerkung: Wenn nicht besonders vermerkt, wird nur die Horizontalkomponente dieser Bewegung betrachtet. In offenem Gelände wird der Wind bis 10 m Höhe über der Erdoberfläche auch als Bodenwind, darüber als Höhenwind bezeichnet.

Die **Windgeschwindigkeit** ist der in einer bestimmten Zeiteinheit von der Luft zurückgelegte Weg, angegeben in m/s, Windstille wird mit C (Calma) gekennzeichnet.

### 7.3.1 Statistische Methoden zum Erhalt von Klimakarten

#### 7.3.1.1 Allgemeine Erläuterungen

Die Grundlage für statistische Untersuchungen sind meistens Stichproben einer oder mehrerer Größen. Der Begriff "Stichprobe" besagt, daß es sich um eine begrenzte Auswahl von Daten aus einer größeren - meist unbekannten - Grundgesamtheit handelt. So stellen beispielsweise die Windmessungen an den Windmeßstationen des Deutschen Wetterdienstes (s. Kap. 7.1.2) eine Stichprobe aus einem weitaus größeren Kollektiv - der unbekannten, flächendeckenden Verteilung über das gesamte Untersuchungsgebiet - dar.

Das Ziel vieler statistischer Methoden besteht darin, aufgrund einer Stichprobe Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit zu ziehen. Im folgenden werden einige statistische Grundlagen kurz beschrieben, die für diese Klimauntersuchung angewandt werden. Genauere Angaben zu den jeweiligen Themen findet man in jedem statistischen Lehrbuch.

Liegen zwei Stichproben vor, z.B. die mittleren Windgeschwindigkeiten an einigen Stationen und die Höhen dieser Stationen über dem Meeresspiegel, so ist der Korrelationskoeffizient eine Maßzahl für die Strammheit des Zusammenhangs zwischen den beiden Größen. Dieser Korrelationskoeffizient kann zwischen -1 und +1 liegen. Ist er Null, so besteht kein Zusammenhang; ein Korrelationskoeffizient von +1 oder -1 deutet auf einen vollständigen bzw. inversen Zusammenhang zwischen den beiden Größen hin. Besteht ein solcher Zusammenhang, so läßt sich die Abhängigkeit einer Größe von einer bzw. von mehreren anderen in Form einer "Regressionsgleichung" darstellen, die im allgemeinen folgende Form besitzt:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (11)$$

Hierin bedeutet  $Y$  die zu berechnende Größe,  $X_1$  bis  $X_n$  sind Variable von denen  $Y$  abhängig ist, während die zu bestimmenden Koeffizienten  $a_1$  bis  $a_n$  als Regressionskoeffizienten bezeichnet werden. In der Praxis wird zunächst die zu untersuchende Klimagröße  $Y$  mit verschiedenen bekannten Variablen  $X$  - wie der Höhe, der geographischen Länge, der geographischen Breite usw. - korreliert und die Variablen bestimmt, die in einem Zusammenhang mit dem jeweiligen Klimaelement stehen. Mit diesen Einflußgrößen wird eine Regressionsrechnung durchgeführt und die Regressionskoeffizienten bestimmt. Im Fall des o.a. Beispiels könnte die Windgeschwindigkeit als eine Funktion der Höhe über NN berechnet werden, sofern zwischen beiden ein Zusammenhang besteht.

Da statistische Verfahren in der Regel nie zu absolut genauen Ergebnissen führen, sondern nur Näherungslösungen darstellen, muß die Güte der berechneten Werte angegeben werden. Hierfür bietet sich die "Streuung" an, die als ein Maß der Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Werten angesehen werden kann.

Diese Streuung ist auch für die Wahl der Klassenbreite bei der kartographischen Darstellung des berechneten Klimaelements von Bedeutung: Auf keinen Fall dürfen Klassenbreiten gewählt werden, die kleiner sind als der Betrag der Streuung, da dann der dargestellte Wertebereich statistisch nicht abgesichert ist und sowohl in die nächsthöhere wie auch nächsttiefere Klasse fallen kann. Werden z.B. mit einer Regressionsgleichung Windgeschwindigkeiten berechnet, die um  $\pm 0,6$  m/s von den gemessenen Werten abweichen, so können in der Kartendarstellung keine Klassenbreiten von 0,1 m/s gewählt werden. In diesem Fall würde die Karte eine Genauigkeit widerspiegeln, die in Wirklichkeit gar nicht gegeben ist.

Aus diesem Grund wird bei der graphischen Darstellung immer eine Klassenbreite gewählt, die mindestens dem zweifachen Betrag der Streuung entspricht.

Ein weiteres Kriterium für die Wahl der Klassenbreite ist die relative Häufigkeit, mit der die Klasse befügt ist. Es wäre ebenso sinnlos, Klassen zu bilden, in denen nur sehr wenige Werte - in Bezug auf den gesamten Wertebereich - vorkommen, wie Klassenbreiten zu wählen, die einen Großteil aller vorkommenden Werte des darzustellenden Klimaelements enthalten.

### 7.3.1.2 Das statistische Windfeldmodell

Da das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit neben der Höhenlage auch von großräumigen Lageparametern wie der geographischen Breite und der geographischen Länge abhängig ist, wurden die Daten von insgesamt 225 Windmeßstationen des Deutschen Wetterdienstes bei der statistischen Untersuchung (s.d. Abschnitt 7.1.2) herangezogen. Diese Stationen unterscheiden sich bezüglich der Landnutzung in der näheren Stationsumgebung beträchtlich voneinander; Einige Windmeßstationen liegen im Innenstadtbereich mit meist hoher Bebauungsdichte. Die meisten verwendeten Stationen liegen jedoch entweder in Stadtrandlagen und sind somit repräsentativ für die Windverhältnisse im siedlungsnahen Bereich oder sie befinden sich in meist völlig freier, ungestörter Lage (Flughafenstationen (oft militärisch)). Neben den o.a. großräumigen (regionalen) Abhängigkeiten, können daher auch lokale Effekte wie Bebauungs- oder Bewaldungsdichte (als ein Maß für die Bodenrauigkeit) berücksichtigt und statistisch erfaßt werden.

Nur wenige Stationen spiegeln den Einfluß von topographischen Formen, z.B. Tal- oder Kuppenlagen, wider. Da die Topographie jedoch einen starken Einfluß auf das Windfeld ausübt, wurden zusätzlich noch 30 temporäre Windmeßstationen in die Untersuchung mit einbezogen um die Wirkung von topographischen Formen auf die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit quantitativ zu erfassen und abzusichern.

Die folgenden statistischen Auswertungen beziehen sich auf den langjährigen Zeitraum 1980 bis 1989 und eine Geberhöhe von 10 m über Grund. Stationen mit geringerer Meßdauer (z.B. die verwendeten Temporärstationen) wurden mit Hilfe einer geeigneten Bezugsstation auf diesen Zeitraum hochgerechnet.

Die großräumige, regionale Verteilung der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit läßt sich durch folgenden nichtlinearen, multiplen Regressionsansatz beschreiben:

$$\begin{aligned} WGR = & a_0 + a_1 \cdot H + a_2 \cdot H^2 + a_3 \cdot H^3 + a_4 \cdot H^4 \\ & + a_5 \cdot GBR + a_6 \cdot GBR^2 + a_7 \cdot GBR^3 \\ & + a_8 \cdot GLA + a_9 \cdot GLA^2 + a_{10} \cdot GLA^3 \end{aligned} \quad (2)$$

mit: WGR = mittlere Windgeschwindigkeit in m/s (gültig für den Bezugszeitraum 1980 bis 1989) bei 50% Hindernisanteil;  
 GBR = geographische Breite in Grad;  
 GLA = geographische Länge in Grad;  
 H = Geländehöhe in Meter über NN;  
 $a_0 \dots a_{10}$  = Regressionskoeffizienten.

Die Einbeziehung lokaler Effekte erfolgt durch:

$$WG = WGR + f(\text{proz}) + f(\text{topo}) \quad (3)$$

mit: WG = mittlere Windgeschwindigkeit im Bezugszeitraum unter Einbezug aller Einflußgrößen;  
 $f(\text{proz})$  = Regressionsfunktion, die den prozentualen Hindernisanteil (Bebauung/Bewaldung) berücksichtigt;  
 $f(\text{topo})$  = Regressionsfunktion, die über die Geländeneigung topographische Formen berücksichtigt.

Auf eine ausführliche Diskussion der einzelnen Einflußparameter auf das Windfeld in 10 m Höhe über Grund soll an dieser Stelle verzichtet werden. Der interessierte Leser sei auf GERTH und CHRISTOFFER (1994) verwiesen, wo

neben einer detaillierten Beschreibung der Ergebnisse auch farbige Karten in unterschiedlichen Maßstäben veröffentlicht sind. Statt dessen soll in kurzen Stichworten auf die jeweiligen Abhängigkeiten eingegangen werden:

Allgemein gesehen nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu. In Höhenlagen bis 500 m über NN ist diese Zunahme der Windgeschwindigkeit jedoch gering. Oberhalb 500 m über NN wird die Höhenabhängigkeit ausgeprägter.

- Die Abhängigkeit von der geographischen Lage ergibt eine Abnahme des Windes nach Süden und Osten hin.
- Der Hindernisanteil (= prozentualer Anteil an bebauten oder bewaldeten Flächen) im Umkreis von 500 m um die Station führt zu starken Änderungen der Windgeschwindigkeit auf engstem Raum und überdeckt in der Regel den Einfluß von Geländehöhe und geographischer Lage.
- Topographische Formen (parametrisiert über die mittlere prozentuale Geländesteigung in den 8 Hauptwindrichtungen) bewirken eine mehr oder weniger ausgeprägte Verringerung des Jahresmittels der Windgeschwindigkeit in Tal- oder Muldenlagen und eine Überhöhung über Kuppen- oder Kammlagen.

Unter Berücksichtigung aller hier beschriebenen Einflußgrößen erhält man folgende Gütemaße zwischen den gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten und den mit der Regressionsgleichung berechneten Werten: Der Korrelationskoeffizient ist mit 0.993 sehr hoch; die Streuung beträgt 0.13 m/s. D.h., daß die Abweichungen zwischen den gemessenen und den berechneten Windgeschwindigkeiten im Mittel kleiner als  $\pm 0.13$  m/s sind. Die lokalen Effekte der Reduktion oder Überhöhung aufgrund unterschiedlicher topographischer Formen und Landnutzungen sind auf der Grundlage des vorliegenden Datenmaterials als statistisch hoch signifikant einzustufen. Eine gesonderte Untersuchung zeigte,



daß bereits 150 Stationen ausreichen, um die o.a. Genauigkeit zu erzielen. Desweiteren wurde die Regressionsgleichung auch auf einige Stationen angewandt, die nicht zu den 255 Untersuchungsstationen gehören. Auch diese Kontrollrechnungen zeigen gute Übereinstimmungen im Rahmen der o.a. Werte.

### 7.3.1.3 Das statistische Modell zur Berechnung der "Minimumtemperaturinversionshäufigkeit"

Gemäß den Erläuterungen in Abschnitt 6.1 benötigt man zur Bestimmung der Inversionshäufigkeit den Temperaturverlauf mit der Höhe (vertikales Temperaturprofil). In der Bundesrepublik Deutschland werden nur an wenigen Orten Radiosondenaufstiege durchgeführt, die jedoch keine Übertragung auf den Mittelgebirgsbereich zulassen. Zur Zeit der größten Inversionshäufigkeit (früh morgens) liegen an den Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes tägliche Minima der Lufttemperatur vor. Da dieses Stationsnetz einerseits relativ dicht ist, andererseits genügend Stationen in unterschiedlicher Höhe vorhanden sind, kann für jeden Tag des Jahres ein vertikales "Minimumtemperaturprofil" erstellt werden. Gegenüber den Radiosondenaufstiegen unterscheidet sich dieses Vertikalprofil nur dadurch, daß die Messungen am Boden, jedoch in verschiedenen Höhenlagen über NN, erfolgen und nicht in der freien Atmosphäre. Ähnliche Untersuchungen findet man auch bei WANNER (1983) in dem Projekt "Durchlüftungskarte der Schweiz".

Die folgenden statistischen Auswertungen beziehen sich auf den langjährigen Zeitraum 1980 bis 1989. Insgesamt wurden die täglichen Minima der Lufttemperatur von ca. 100 sorgfältig ausgewählten Stationen in unterschiedlichen geographischen Lagen verwendet.

Um lokale Besonderheiten an einigen Stationen auszuschalten oder abzumildern, werden die täglichen Minima benachbarter Stationen in ähnlicher Höhenlage gemittelt und dieser Mittelwert als repräsentativ für die jeweilige Höhe angese-

han. Zwischen den Höhenlagen wird dann interpoliert und ein vertikales "Minimumtemperaturprofil" erzeugt. Anschließend wird für jeden Höhenpunkt geprüft, ob die Temperatur in einem 100 m höher liegenden Punkt größer oder gleich (auch Isothermien werden berücksichtigt) ist. Ist dies der Fall, so wird an diesem Tag und in dieser Höhenlage eine Minimumtemperaturinversion von mindestens 100 m Mächtigkeit gezählt. Dieses Vorgehen wird für jeden Tag des 10-jährigen Bezugszeitraumes wiederholt, so daß schließlich eine vollständige Inversionsstatistik in Abhängigkeit von der Höhe und der geographischen Lage vorliegt.

Ähnlich dem statistischen Windfeldmodell läßt sich die mittlere Minimumtemperaturinversionshäufigkeit durch einen nichtlinearen, multiplen Regressionsansatz beschreiben:

$$IHF = IHFO \cdot f(HGND) \quad (4)$$

wobei

$$IHFO = a_0 + a_1 \cdot HO + a_2 \cdot HO^2 + a_3 \cdot GBR^3 \quad (4a)$$

und

$$f(HGND) = a_4 + a_5 \cdot HGND + a_6 \cdot HGND^2 + a_7 \cdot HGND^3 \quad (4b)$$

mit:

IHF = mittlere Minimumtemperaturinversionshäufigkeit in Anzahl der Tage pro Jahr (Bezugszeitraum 1980 bis 1989)

GBR = geographische Breite in Grad

HO = tiefste natürliche Geländehöhe im Umkreis von jeweils einem halben Grad geographischer Breite/Länge in Meter über NN

HGND = Höhe über dem tiefsten Punkt in Meter über HO

$a_0 - a_7$  = Regressionskoeffizienten

Die Funktion II FO gibt die maximal mögliche Inversionshäufigkeit in Abhängigkeit von der geographischen Lage und dem tiefsten Geländepunkt in größerem Umkreis wieder.

Die Funktion  $f(\text{HGND})$  ist ein Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von der Höhe über dem tiefsten Punkt. Bei einer Geländehöhe von  $H_0$ , ist HGND gleich null und  $f(\text{HGND})$  gleich eins.

Großräumig betrachtet liefert das Modell folgendes Ergebnis: Von Norddeutschland aus (etwa 210 Inversionstage/Jahr) nimmt die Inversionshäufigkeit zu und kann im äußersten Süden mehr als 250 Tage/Jahr erreichen. Diese Werte gelten jedoch nur für die tiefsten Geländepunkte. Oberhalb der Tallagen nimmt die Inversionshäufigkeit zunächst langsam, ab einer Höhe von etwa 70 m über Talgrund dagegen rasch ab. In noch größeren Höhen ist die Abnahme der Inversionshäufigkeit weniger stark ausgeprägt. Das Minimum (ungefähr 60 Tage/Jahr) wird bei ca. 400 m über Grund erreicht.

## Tabellen

Tab. 1 Vergleich Stadt - Umland (nach LANDSBERG)

Tab. 2 Angaben zu Lufttemperaturen, Station Reth

Tab. 3 Angaben zu Lufttemperaturen, Station Amberg

Tab. 4 Angaben zum Niederschlag und zur Schneedecke,  
Station Neumarkt-Woffenbach

Tab. 5 Angaben zum Niederschlag und zur Schneedecke,  
Station Pilsach-Leaber

Tab. 6 Angaben zur relativen Luftfeuchte und zum Nebel

Tab. 7 Angaben zur Sonnenscheindauer

Tab. 8 Angaben zur Windgeschwindigkeit, Station Neumarkt-Höhenberg

Tab. 9 Berechnungsbeispiel der Schadstoffkonzentration (Jahresmittelwerte)

Tab. 10 Berechnungsbeispiel der Schadstoffkonzentration (98-Perzentil-Werte)

Tab. 11 Berechnungsbeispiel der Schadstoffkonzentration (Jahresmittelwerte)

Tab. 12 Berechnungsbeispiel der Schadstoffkonzentration (98-Perzentil-Werte)

Tab. 13 Berechnungsbeispiel der Schadstoffkonzentration (Jahresmittelwerte)

Tab. 14 Berechnungsbeispiel der Schadstoffkonzentration (98-Perzentil-Werte)

Tab. 15 Kriterien zur Konstruktion der Karte "Durchlüftungsverhältnisse"

Tab. 16 Häufigkeit nächtlicher autochthoner Wetterlagen im Raum Neumarkt

Tab. 17 Zahl der Tage mit Minimumtemperaturinversionen

Tab. 18 Mittl. jährl. Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe

## Abbildungen

- Abb. 1 Großräumiger Überblick über die Lage der Stadt
- Abb. 2 Überblick über das Stadtgebiet und die nähere Umgebung
- Abb. 3 Windrichtungsverteilung von Neumarkt-Höhenberg
- Abb. 4 Windrichtungsverteilung für stabile und labile Fälle
- Abb. 5 Abklingfunktion in Abhängigkeit vom Abstand zum Fahrbahnrand
- Abb. 6 Einfluß einer Lärmschutzwand auf die  $\text{NO}_x$ -Konzentration
- Abb. 7 Einfluß von Bepflanzung auf den Bleigehalt von Moosproben
- Abb. 8 Schadstoffkonzentrationen an Stadtstraßen
- Abb. 9 Kriterien zur Konstruktion der Karte "Freiflächensicherung"
- Abb. 10 Karte der lokalklimatisch bedeutsamen Flächen (IST-Zustand)
- Abb. 11 Karte der lokalklimatisch bedeutsamen Flächen (SOLL-Zustand)
- Abb. 12 Karte der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse (IST-Zustand)
- Abb. 13 Karte der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse (SOLL-Zustand)
- Abb. 14 Karte der Freiflächensicherung (IST-Zustand)
- Abb. 15 Karte der Freiflächensicherung (SOLL-Zustand)

Tabelle 1:

Vergleich Stadt-Umland (H. E. LANDSBERG, 1981)



Element	Maßzahl	Änderung gegenüber dem Umland
Strahlung	Globahlstrahlung	bis 20 % weniger
	Ultraviolettstrahlung	Sommer: bis 5 % weniger Winter: bis 30 % weniger
	Sonnenscheindauer	bis 15 % weniger
Temperatur	Jahresmittel	bis 1,5 K höher
	nächtliches Minimum	bis 12 K höher
	Heiztage	bis 10 % weniger
	Dauer der Frostperiode	bis 25 % kürzer
	Bodeninversion	kaum vorhanden im Stadtbereich
Feuchte	Jahresmittel (rel. Feuchte)	Sommer: bis 10 % weniger Winter: bis 2 % weniger
Verdunstung	Mittelwert	bis 60 % weniger
Windgeschwindigkeit	Jahresmittel	bis 30 % niedriger
	Böen	bis 20 % weniger
	Windstills (Calmen)	bis 20 % häufiger
Bewölkung	Bedeckungsgrad	bis 10 % höher
Sichtweite	Nebelhäufigkeit Sicht bis 5 km	etwas geringer deutlich schlechter
Niederschlag	Niederschlagshöhe	bis 10 % größer
	Tage mit mehr als 5 mm	bis 10 % häufiger
	Tage mit Schneefall	bis 5 % weniger
	Tau	bis 65 % weniger
Luftbeimengungen		stark erhöht

Tabelle 2:

# Daten der Klimastation Roth

## Zeitraum 1961/90



Angaben zur Lufttemperatur (in °C)											
JAN.	FEB.	MÄR.	APR.	MAI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEZ.
Mittlere monatliche- und Jahresmittel											
1,2	0,1	3,7	7,9	12,7	16,1	17,9	17,0	13,4	8,4	3,3	0,3
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesminimum $\leq 0,0$ °C (Frosttage)											
23,4	20,1	16,3	8,4	1,2	0,0	.	.	0,8	5,2	13,8	19,6
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmaximum $\geq 0,0$ °C (Nistage)											
8,8	4,3	0,5	.	.	.	.	.	.	.	1,7	6,8
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmaximum $\geq 25,0$ °C (Sommerstage)											
.	.	.	0,4	3,6	9,7	12,6	11,7	4,7	0,4	.	.
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesminimum $\geq 30,0$ °C (Tropentage)											
.	.	.	.	6,2	11,2	3,9	3,6	11,6	.	.	8,5

Angaben zur Lufttemperatur (in °C)												
JAN.	FEB.	MÄR.	APR.	MAI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEZ.	JAHR
Mittlere Monats- und Jahresmittel												
-2,0	0,4	3,3	7,6	12,4	15,5	17,1	16,5	13,4	8,2	2,9	0,5	7,8
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesminimum $\leq 0,0$ °C (Frosttage)												
24,4	20,8	15,9	7,1	0,5				0,3	4,7	13,3	21,8	108,9
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmaximum $\geq 0,0$ °C (Eistage)												
11,8	5,7	2,2								7,0	9,8	29,5
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmaximum $\geq 25,0$ °C (Sommertage)												
			0,1	3,2	8,2	11,9	10,8	3,5	0,2			28,0
Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmaximum $\geq 30,0$ °C (Tropentage)												
				0,1	0,9	2,9	2,0	0,2				6,2



Tabelle 4:

# Daten der Niederschlagsstation Neumarkt-Woffenbach Zeitraum 1961/90

Angaben zur Niederschlagshöhe (in mm)											
JAN.	FEB.	MÄR.	APR.	MAI	JUN.	JUL.	AUG.	SEPT.	OKT.	NOV.	DEZ. JAHR
Mittlere Monats- und Jahressumme											
69	54	57	58	80	84	94	80	51	44	52	76 759
Größte Monats- und Jahressumme											
131	277	183	225	166	149	182	133	121	184	112	174 1153
Kleinste Monats- und Jahressumme											
25	11	6	15	12	19	20	24	21	0	7	7 596
Zahl der Tage mit mindestens 0,1 mm Niederschlag (1951-1990)											
16,4	14,7	13,7	14,2	14,7	14,3	13,7	14,0	12,0	20,6	24,9	16,3 165,8
Zahl der Tage mit mindestens 1,0 mm Niederschlag (1951-1980)											
1,4	1,0	1,3	1,3	1,7	2,5	2,8	2,4	1,7	1,6	1,2	1,9 20,7

Tabelle 5:

# Daten der Niederschlagsstation Pilsach/Laab Zeitraum 1961/90



Angaben zur Niederschlagshöhe (in mm)											
JAN.	FEB.	MÄR.	APR.	MAI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEZ. JAHR
Mittlere Monats- und Jahressumme											
85	68	65	67	84	94	95	83	70	77	75	82 956
Größte Monats- und Jahressumme											
193	196	273	144	179	161	215	147	145	236	128	250 1477
Kleinste Monats- und Jahressumme											
24	8	9	14	19	34	8	33	17	4	3	4 692
Zahl der Tage mit mindestens 0,1 mm Niederschlag (1951-1980)											
15,1	13,9	13,2	13,4	12,8	14,2	15,8	13,7	11,4	10,2	13,5	15,4 152,0
Zahl der Tage mit mindestens 10 mm Niederschlag (1951-1980)											
1,9	1,2	1,8	1,7	2,2	3,3	2,9	2,6	2,0	2,4	2,7	2,6 37,0

Tabella 6:

# Daten der Klimastationen Roth und Amberg Zeitraum 1961/90



Angaben zur relativen Luftfeuchte (in %) und zum Nebel												
JAN.	FEB.	MÄR.	APR.	MAI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEZ.	JAHR
Mittleres Monats- und Jahresmittel der relativen Luftfeuchte (Roth)												
85	81	75	72	70	70	69	73	77	83	84	85	77
Mittlere Anzahl der Tage mit Nebel (Roth)												
3,4	3,3	3,6	2,0	1,6	2,3	1,1	2,6	5,5	7,4	4,9	3,4	41,2
Mittlere Anzahl der Tage mit Nebel (Amberg)												
4,8	4,7	3,6	2,7	1,5	1,0	0,3	2,4	5,9	9,7	5,0	4,1	44,9

Tabelle 7:

# Klimadaten der Stationen Weißenburg und Amberg

## Zeitraum 1961/90



Angaben zur Sonnenscheindauer (in Stunden)												
JAN.	FEB.	MÄR.	APR.	MAI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEZ.	JAHR
Mittlere Monats- und Jahressumme (Station Weidenburg)												
52	80	124	150	203	212	234	212	171	124	82	45	1680
Mittlere Monats- und Jahressumme (Station Amberg)												
44	76	117	159	198	210	228	206	159	108	46	40	1550

Tabelle 8:                      Daten der Windmeßstation Neumarkt-Höhenberg  
    Zeitraum 03/1981 - 02/1987

Angaben zum Wind												
JAN.	FEB.	MÄR.	APR.	MAI	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEZ.	JAHR
Mittleres Monats- und Jahresmittel der Mittgeschwindigkeit (in m/s)												
4,1	4,1	3,9	3,9	4,4	3,2	2,8	2,8	3,2	3,4	3,9	4,0	3,0
Auf die Höhe des Stadtzentrums von Neumarkt umgerechnete Mittelwerte in m/s (Faktor 0,55)												
2,4	2,3	2,2	2,2	1,8	1,9	1,5	1,5	1,8	1,9	2,2	2,2	2,0

Tabelle 9:



## BERECHNUNG DER SCHADSTOFFKONZENTRATION NACH JAHRESMITTELWERT

BEZUGSJAHR 2000

DTV-Wert 15000 Kfz/Tag

Lkw-Anteil: 10%

Mittlere Pkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Mittlere Lkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Windgeschwindigkeit: 2,0 m/sec

Stundenmittelwerte: Schwachwindanteil größer als 50 %

CO-Kohlenmonoxid

NOx-Stickstoffmonoxid Pb-Blei C6H6-Benzol

HC-Kohlenwasserstoffe

NO2-Stickstoffdioxid SO2-Schwefeldioxid PM-Russ

Entf. in m kg(s) in mg/m<sup>3</sup>

Entf.	CO	HC	NOx	NO2	Pb	SO2	PM	C6H6
0	0,082	0,020	0,057	0,014	0,000	0,004	0,001	0,001
10	0,050	0,012	0,034	0,011	0,000	0,002	0,000	0,001
20	0,041	0,010	0,026	0,010	0,000	0,002	0,000	0,001
30	0,035	0,009	0,024	0,010	0,000	0,002	0,000	0,000
40	0,032	0,008	0,022	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000
50	0,029	0,007	0,020	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000
60	0,026	0,007	0,018	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000
70	0,024	0,006	0,017	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000
80	0,022	0,006	0,015	0,008	0,000	0,001	0,000	0,000
90	0,021	0,005	0,014	0,008	0,000	0,001	0,000	0,000
100	0,019	0,005	0,013	0,008	0,000	0,001	0,000	0,000

Tabelle 10:



## BERECHNUNG DER SCHADSTOFFKONZENTRATION NACH 98 PERZENTILE

BEZUGSJAHR 2000

DTV-Wert: 15000 Kfz/Tag

Lkw-Anteil: 10%

Mittlere Pkw Geschwindigkeit: 51 km/h.

Mittlere Lkw Geschwindigkeit: 51 km/h.

Windgeschwindigkeit: 2,0 m/sec.

Stundenmittelwerte: Schwachwindanteil größer als 50 %

CO-Kohlenmonoxid NOx-Stickstoffmonoxid Pb-Blei C6H6-Benzol  
 HC-Kohlenwasserstoffe NO2-Stickstoffdioxid SO2-Schwefeldioxid PM-Russ

Entf. in m K(s) in mg/m<sup>3</sup>

Entf.	CO	HC	NOx	NO2	Pb	SO2	PM	C6H6
0	0,319	0,069	0,172	0,029	0,000	0,014	0,003	0,004
10	0,192	0,041	0,104	0,023	0,000	0,009	0,002	0,002
20	0,158	0,034	0,085	0,021	0,000	0,007	0,001	0,002
30	0,137	0,029	0,074	0,020	0,000	0,006	0,001	0,002
40	0,123	0,026	0,066	0,020	0,000	0,005	0,001	0,001
50	0,111	0,024	0,060	0,019	0,000	0,005	0,001	0,001
60	0,101	0,022	0,056	0,019	0,000	0,004	0,001	0,001
70	0,093	0,020	0,050	0,018	0,000	0,004	0,001	0,001
80	0,086	0,019	0,047	0,018	0,000	0,004	0,001	0,001
90	0,080	0,017	0,043	0,018	0,000	0,004	0,001	0,001
100	0,075	0,016	0,040	0,017	0,000	0,003	0,001	0,001

Tabelle 11:



## BERECHNUNG DER SCHADSTOFFKONZENTRATION NACH JAHRESMITTELWERT

BEZUGSJAHR 2000

DTV-Wert: 24000 Kfz/Tag

Lkw-Anteil: 10%

Mittlere Pkw Geschwindigkeit: 61 km/h

Mittlere Lkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Windgeschwindigkeit: 2,0 m/sec

Stundenmittelwerte: Schwachwindanteil größer als 50 %

CO-Kohlenmonoxid

NOx-Stickstoffmonoxid Ph-Blei C6H6-Benzol

HC-Kohlenwasserstoffe

NO2-Stickstoffdioxid SO2-Schwefeldioxid PM-Russ

Entf. in m

K(s) in mg/m3

Entf.	CO	HC	NOx	NO2	Pb	SO2	PM	C6H6
0	0,132	0,033	0,091	0,017	0,000	0,006	0,001	0,002
10	0,079	0,020	0,055	0,013	0,000	0,004	0,001	0,001
20	0,065	0,016	0,045	0,012	0,000	0,003	0,001	0,001
30	0,057	0,014	0,039	0,012	0,000	0,003	0,001	0,001
40	0,051	0,013	0,035	0,011	0,000	0,002	0,000	0,001
50	0,046	0,011	0,032	0,011	0,000	0,002	0,000	0,001
60	0,042	0,010	0,029	0,011	0,000	0,002	0,000	0,001
70	0,030	0,010	0,027	0,011	0,000	0,002	0,000	0,001
80	0,036	0,009	0,025	0,010	0,000	0,002	0,000	0,000
90	0,033	0,008	0,023	0,010	0,000	0,001	0,000	0,000
100	0,031	0,008	0,021	0,010	0,000	0,001	0,000	0,000



Tabelle 12:



## BERECHNUNG DER SCHADSTOFFKONZENTRATION NACH 98 PERZENTILE

BEZUGSJAHR 2000

DTV-Wert: 24000 Kfz/Tag

Lkw-Anteil: 10%

Mittlere Pkw Geschwindigkeit: 61 km/h

Mittlere Lkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Windgeschwindigkeit: 2,0 m/sec

Stundenmittelwerte: Schwachwindanteil größer als 50 %

CO-Kohlenmonoxid NOx-Stickstoffmonoxid Pb-Blei C6H6-Benzol  
 HC-Kohlenwasserstoffe NO2-Stickstoffdioxid SO2-Schwefeldioxid PM-Russ

Entf. in m K(s) in µg/m<sup>3</sup>

Entf.	CO	HC	NOx	NO2	Pb	SO2	PM	C6H6
0	0,511	0,110	0,276	0,066	0,000	0,022	0,005	0,006
10	0,308	0,066	0,186	0,028	0,000	0,013	0,003	0,004
20	0,253	0,054	0,136	0,026	0,000	0,011	0,002	0,003
30	0,220	0,047	0,119	0,025	0,000	0,010	0,002	0,003
40	0,196	0,042	0,106	0,024	0,000	0,009	0,002	0,002
50	0,177	0,038	0,086	0,023	0,000	0,008	0,002	0,002
60	0,162	0,035	0,088	0,023	0,000	0,007	0,001	0,002
70	0,149	0,032	0,061	0,022	0,000	0,007	0,001	0,002
80	0,138	0,030	0,075	0,022	0,000	0,006	0,001	0,002
90	0,126	0,028	0,069	0,022	0,000	0,006	0,001	0,002
100	0,120	0,026	0,066	0,021	0,000	0,005	0,001	0,001

Tabelle 13:



# BERECHNUNG DER SCHADSTOFFKONZENTRATION NACH JAHRESMITTELWERT

BEZUGSJAHR 2000

DTV-Wert: 24000 Kfz/Tag

Lkw-Anteil: 20%

Mittlere Pkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Mittlere Lkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Windgeschwindigkeit: 2,0 m/sec

Stundenmittelwerte: Schwachwindanteil größer als 60 %

CO-Kohlenmonoxid NOx-Stickstoffmonoxid Pb-Blei C6H6-Benzol  
 HC-Kohlenwasserstoffe NO2-Stickstoffdioxid SO2-Schwefeldioxid PM-Russ

Entf. in m Kfz(s) in mg/m<sup>3</sup>

Entf.	CO	HC	NOx	NO2	Pb	SO2	PM	C6H6
0	0,153	0,056	0,163	0,017	0,003	0,010	0,002	0,003
10	0,092	0,034	0,098	0,013	0,003	0,006	0,001	0,002
20	0,076	0,026	0,081	0,012	0,003	0,005	0,001	0,001
30	0,066	0,024	0,070	0,012	0,003	0,004	0,001	0,001
40	0,059	0,021	0,062	0,011	0,003	0,004	0,001	0,001
50	0,053	0,019	0,057	0,011	0,003	0,003	0,001	0,001
60	0,049	0,018	0,052	0,011	0,003	0,003	0,001	0,001
70	0,045	0,016	0,046	0,011	0,003	0,003	0,001	0,001
80	0,041	0,015	0,044	0,010	0,003	0,003	0,001	0,001
90	0,039	0,014	0,041	0,010	0,003	0,002	0,001	0,001
100	0,036	0,013	0,038	0,010	0,003	0,002	0,001	0,001

Tabelle 14:



## BERECHNUNG DER SCHADSTOFFKONZENTRATION NACH 98 PERZENTILE

BEZUGSJAHR 2000

DTV-Wert: 24000 Kfz/Tag

Lkw-Anteil: 20%

Mittlere Pkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Mittlere Lkw Geschwindigkeit: 51 km/h

Windgeschwindigkeit: 2,0 m/sec

Stundenmittelwerte: Schwachwindanteil größer als 50 %

CO-Kohlenmonoxid NOx-Stickstoffmonoxid Pb-Blei C6H6-Benzol  
 HC-Kohlenwasserstoffe NO2-Stickstoffdioxid SO2-Schwefeldioxid PM-Russ

Entf. in m Ki(a) in mg/m³

Entf.	CO	HC	NOx	NO2	Pb	SO2	PM	C6H6
0	0,536	0,136	0,493	0,036	0,000	0,037	0,009	0,010
10	0,358	0,112	0,297	0,028	0,000	0,022	0,008	0,008
20	0,294	0,092	0,244	0,026	0,000	0,018	0,005	0,005
30	0,256	0,080	0,212	0,025	0,000	0,016	0,004	0,004
40	0,228	0,072	0,189	0,024	0,000	0,014	0,004	0,004
50	0,207	0,065	0,171	0,023	0,000	0,013	0,003	0,003
60	0,189	0,059	0,157	0,023	0,000	0,012	0,003	0,003
70	0,174	0,055	0,144	0,022	0,000	0,011	0,003	0,003
80	0,161	0,050	0,133	0,022	0,000	0,010	0,003	0,003
90	0,149	0,047	0,124	0,022	0,000	0,009	0,002	0,002
100	0,139	0,044	0,115	0,021	0,000	0,009	0,002	0,002

**Tabelle 15:**

**Kriterien zur Konstruktion der Karte "Bodennahe Durchlüftungsverhältnisse"**

**Raum Neumarkt**

	Durchlüftung		
	geringe	mäßige	gute
Windgeschwindigkeit (WG) gewichtete Inversionshäufigkeit (I · W)	< 3 m/s ≥ 220 Tage	alle anderen Kombinationsmöglichkeiten	≥ 3 m/s < 220 Tage

Tabelle 16:

Relative und absolute Häufigkeit der nächtlichen autochthonen Wetterlagen  
im Raum Neumarkt bei verschiedenen Großwetterlagen

Vergleich der Zeiträume Januar 1995 bis Dezember 1995 und 1951 bis 1980



GWL	Häufigkeit (%) der GWL im Zeitraum 1995	Zahl der autochthonen Wetterlagen in 1995	Häufigkeit (%) der GWL im Zeitraum 1951-1980	mittlere reduzierte Zahl der autochthonen Wetterlagen im Zeitraum 1951-1980
W	22,7	16	25,7	18
SW	13,5	10	6,5	5
NW	4,1	8	6,9	13
HM	16,5	24	15,1	22
TM		-	2,2	
N	18,9	17	15,8	14
E	18,2	26	17,1	24
S	6,3	11	9,9	17
Ü	-	-	1,1	
Summe	100	112	100	113

**Tabelle 17:**

**Zahl der Tage mit Minimumtemperaturinversionen von  
mindestens 100 m Mächtigkeit in Abhängigkeit von der Höhe,  
Raum Neumarkt**

**Bezugszeitraum: 1980 bis 1989**

Höhenbereich	Zahl der Tage
401 m - 450 m	226/Jahr
451 m - 500 m	195/Jahr
501 m - 550 m	127/Jahr
551 m - 600 m	102/Jahr
601 m - 650 m	88/Jahr
651 m - 700 m	76/Jahr

**Tabelle 18:**

**Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe,  
Hindernisanteil 35%, Raum Neumarkt**

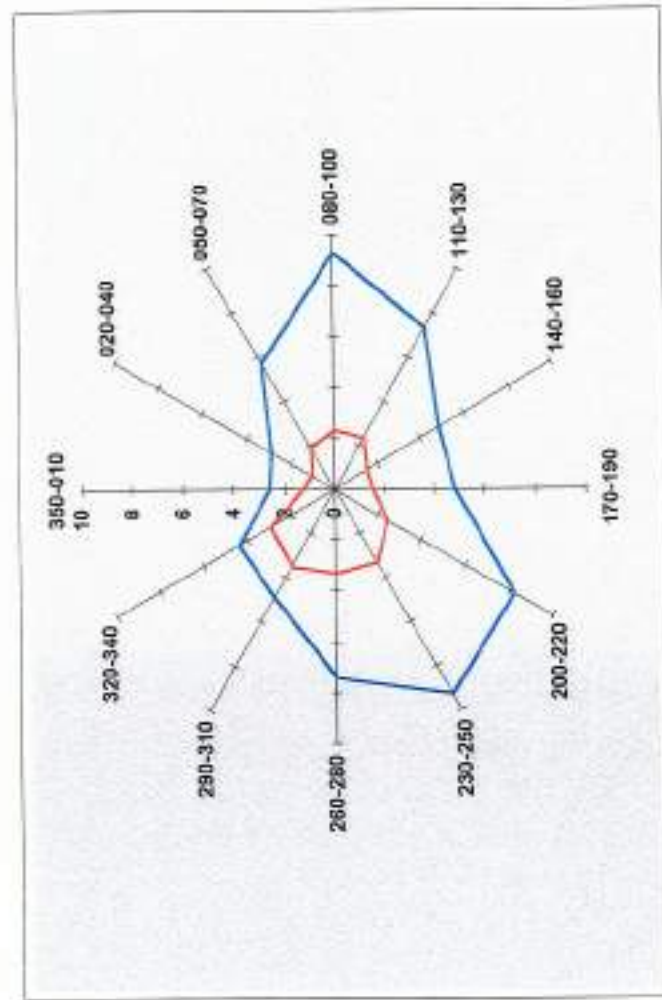
**Bezugszeitraum: 1980 bis 1989**

Höhenbereich	Windgeschwindigkeit
401 m - 450 m	2,40 m/s
451 m - 500 m	2,50 m/s
501 m - 550 m	2,62 m/s
551 m - 600 m	2,74 m/s
601 m - 650 m	2,87 m/s
651 m - 700 m	3,01 m/s



**Abb. 4** Relative Häufigkeiten der Windrichtung in % für stabile (blau) und labile (rot) Fälle Neumarkt, 1986/91

Richtungssektor in Grad	Jahr												Summe
	350-010	020-040	050-070	080-100	110-130	140-160	170-190	200-220	230-250	260-280	290-310	320-340	
	2,6	2,9	5,7	9,3	7,3	4,8	4,8	8,2	9,3	7,4	4,9	4,4	71,6
	1,3	1,1	1,9	2,3	2,3	1,5	1,5	2,4	3,3	3,3	3,5	3,0	27,4





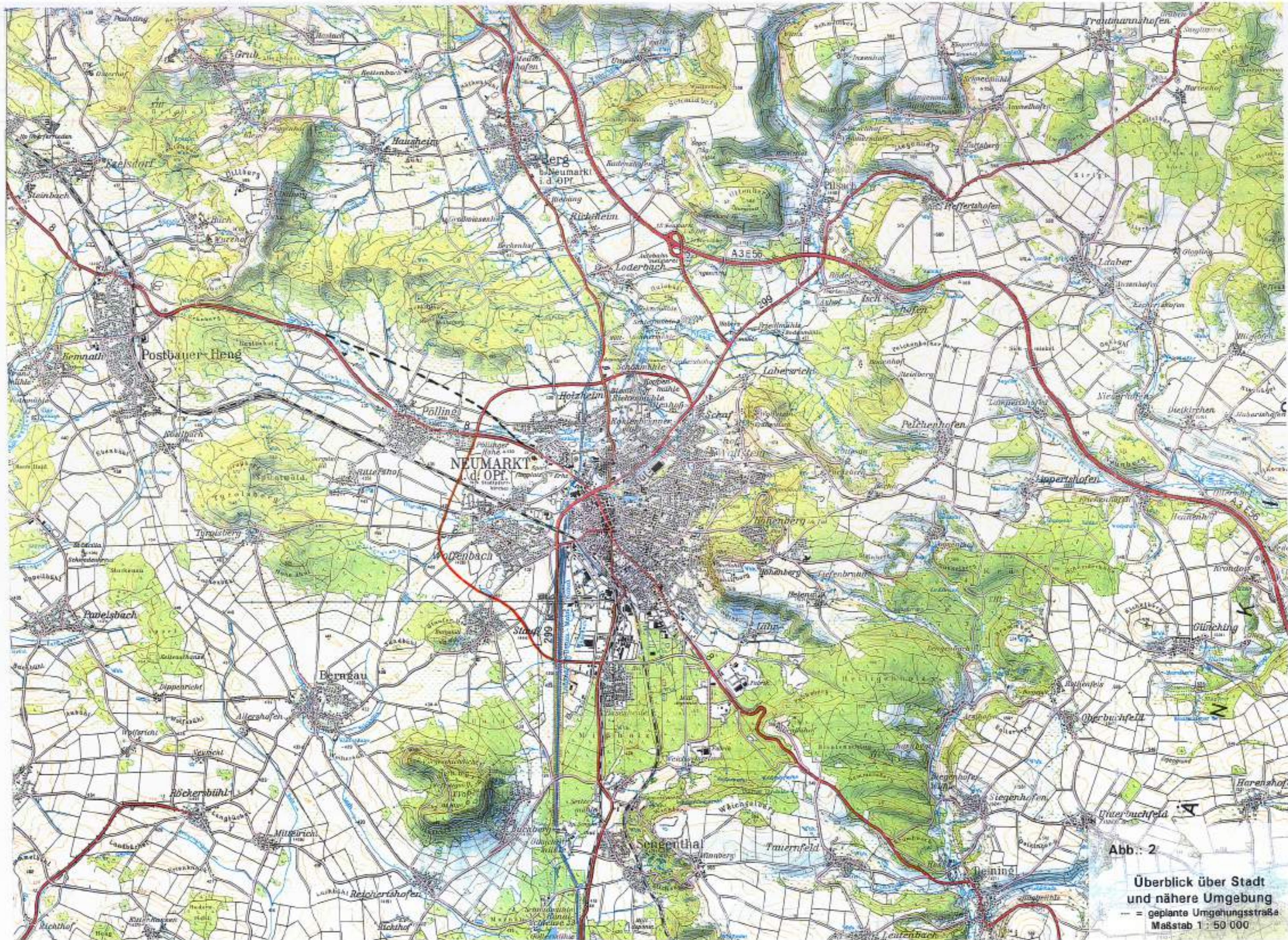


Abb.: 2  
Überblick über Stadt  
und nähere Umgebung  
— = geplante Umgehungsstraße  
Maßstab 1 : 50 000



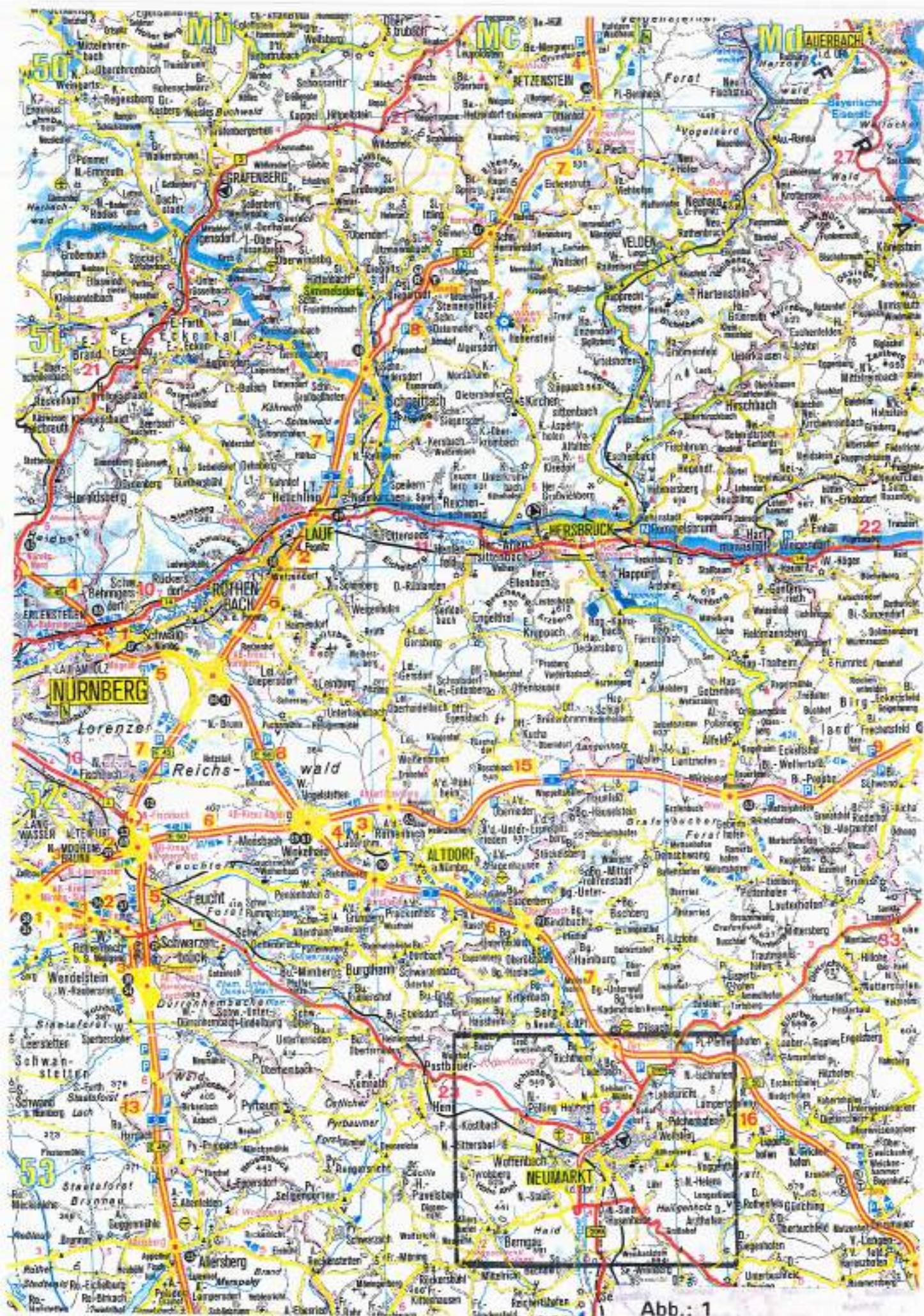
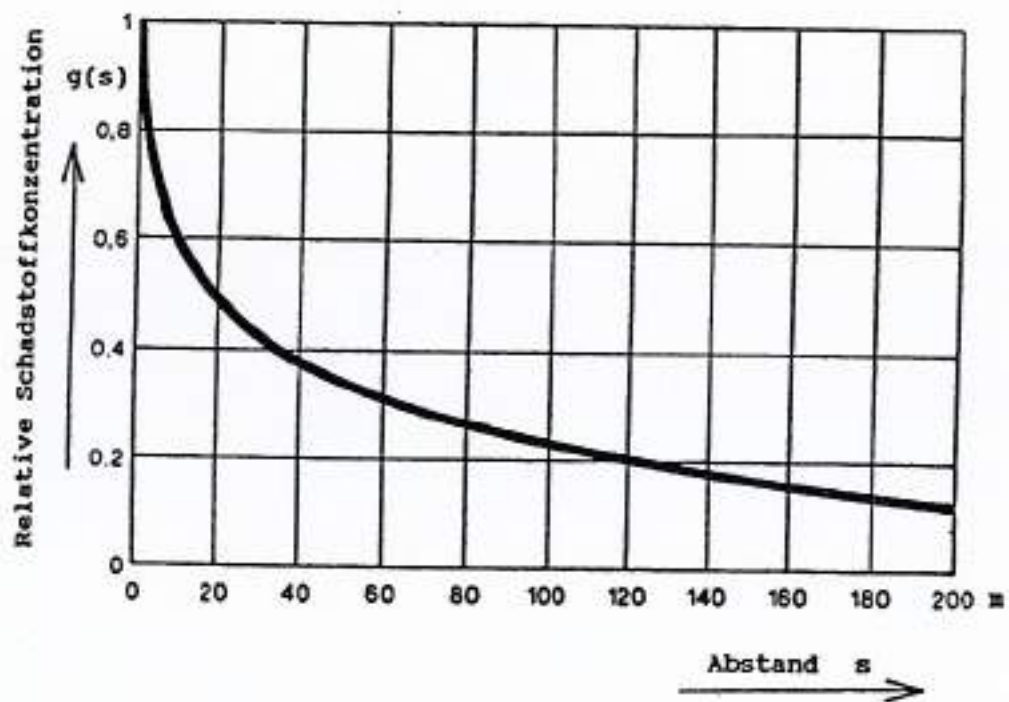


Abb.: 1

Großräumiger Überblick

□ = Untersuchungsgebiet





**Abbildung 5:** Abklingfunktion für die Jahresmittelwerte als Funktion des Abstandes  $s$  vom Fahrbahnrand für die Schadstoffe CO, NO, HC, Pb und Dieselruß (MLuS-92)

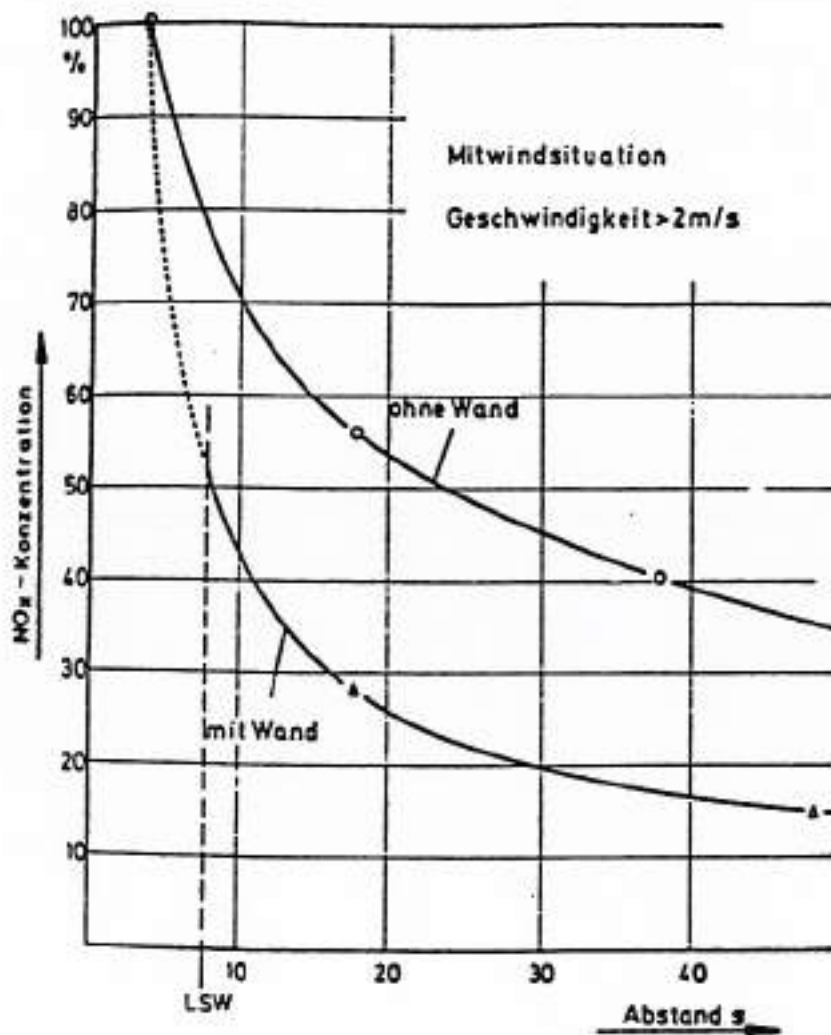


Abbildung 6: Beispiel für den Einfluß einer Lärmschutzwand auf die NO<sub>x</sub>-Konzentration (aus "Stadtklima und Luftreinhaltung", VDI 1988)

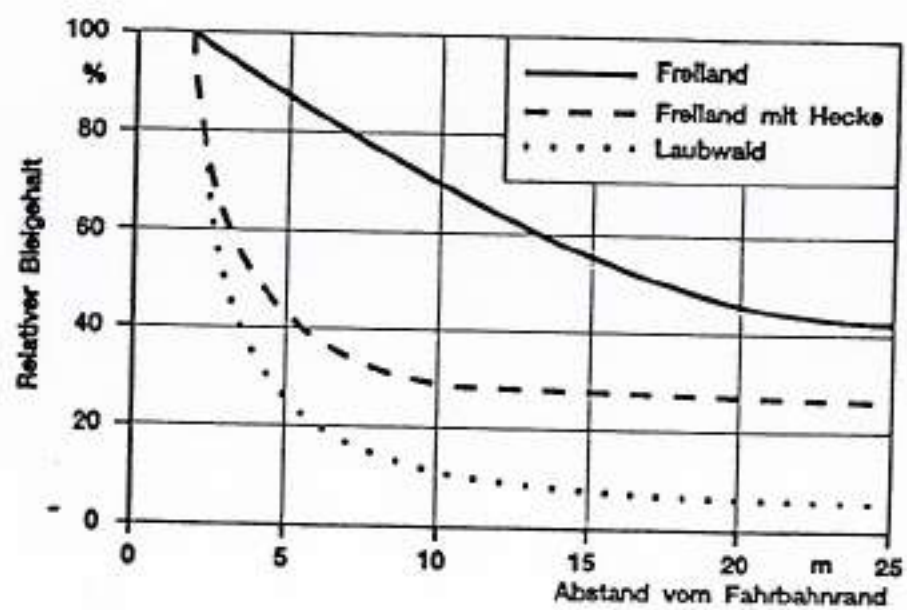
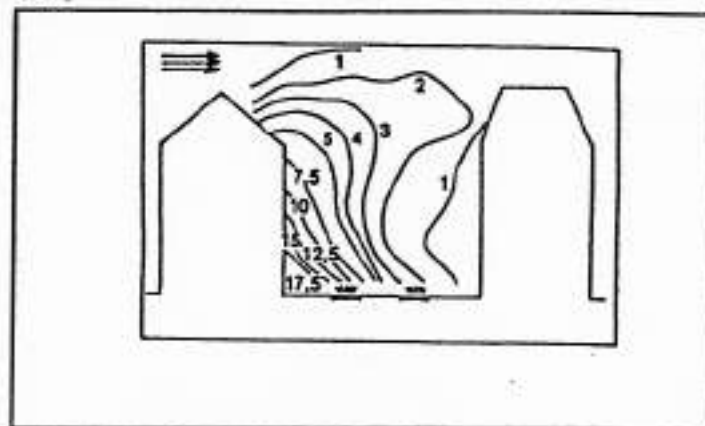


Abbildung 7: Beispiel für den Einfluß von Hecken und Laubwald auf den relativen Bleigehalt von Moosproben (100 % = Bleigehalt am Fahrbahnrand) (aus MLuS-92)

a) Anströmung quer zur Straße



Isolinien gleicher Konzentration in Straßenschluchten  
(LEISEN 1978)

b) straßenparallele Anströmung

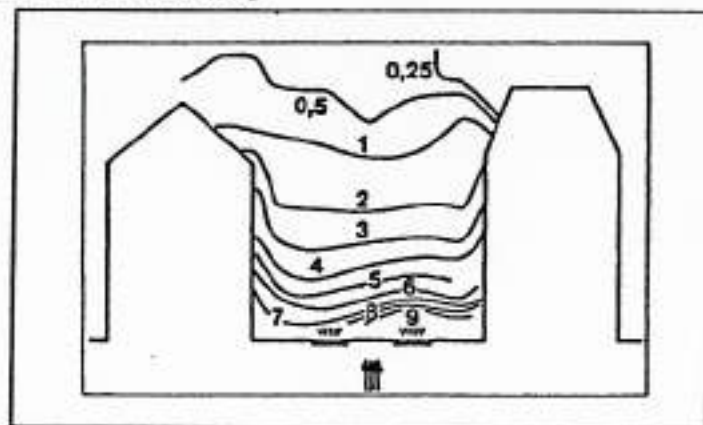
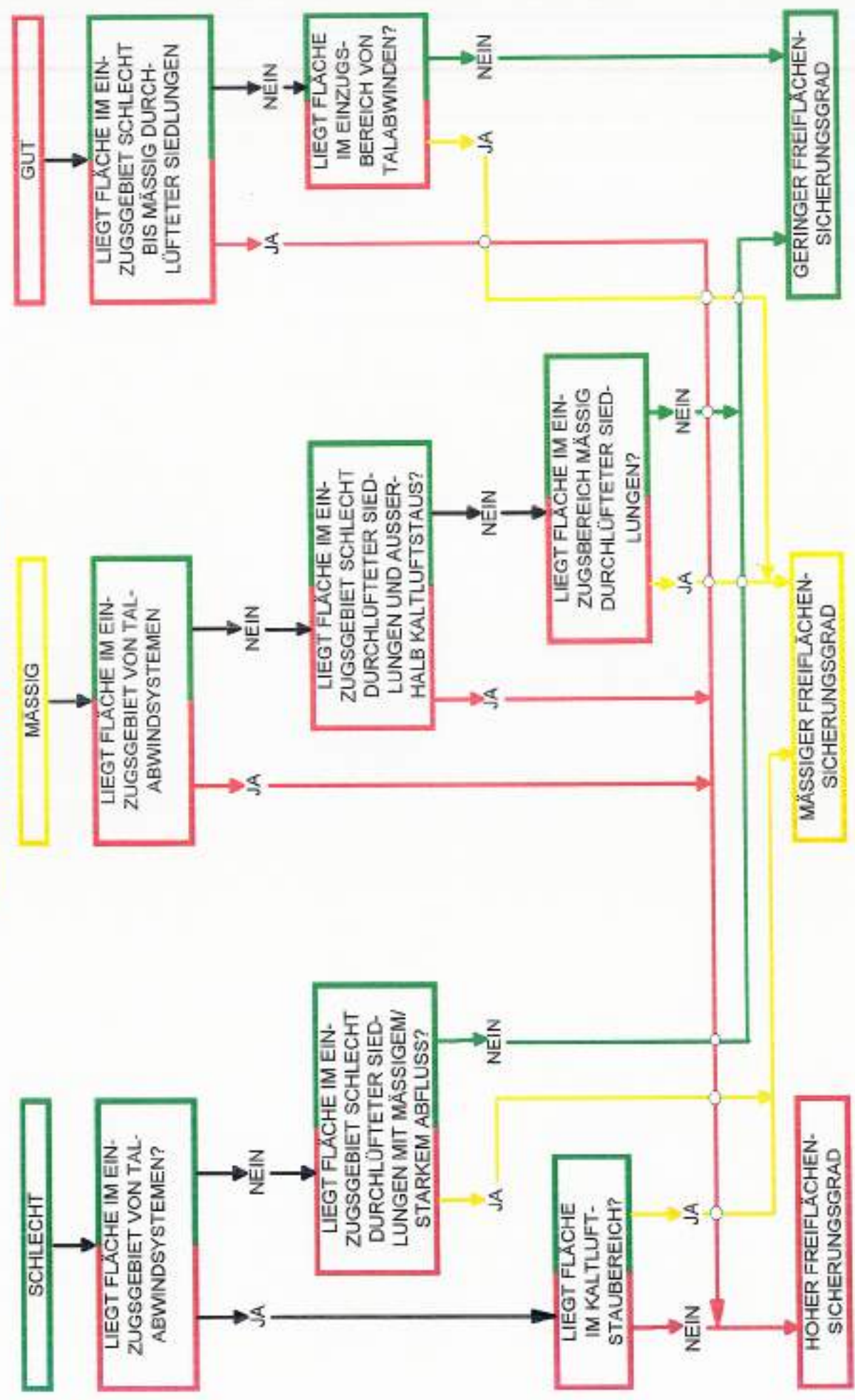


Abbildung 8: Beispiel für Isolinien gleicher Konzentration in Straßenschluchten bei unterschiedlicher Anströmung (aus "Lufthygiene und Klima", VDI 1993)

Überlagerungskriterien zur Erstellung der Karte "Freiflächensicherung"

Abb.: 9

### Durchlüftungsverhältnisse







LOKALISIERUNG BEDROHTER FLÄCHEN IN KLIMA REGIONAL (STUDIUM)  
AUTUMN 2019  
STUDIUM 1: 1. STADIUM

