

04.03 Bodennahe Windgeschwindigkeiten (Ausgabe 1995)

Problemstellung

Windverhältnisse in Ballungsgebieten

Eine wesentliche Bedeutung für die lufthygienischen Verhältnisse und das Klima einer Region haben die bodennahen Luftaustauschprozesse. Ein Maß für den Luftaustausch stellt die Windgeschwindigkeit dar. Sie beschreibt die Strömungsgeschwindigkeit, mit der gleichzeitig zum Ausdruck kommt, daß die Atmosphäre Luftmassen heranführt bzw. abtransportiert. Innerhalb von bebauten Bereichen ist gegenüber dem freien Umland mit einer Verminderung der Windgeschwindigkeit in Bodennähe um durchschnittlich 20 – 30 % zu rechnen. Bei gleichzeitiger Erhöhung der bioklimatischen und lufthygienischen Belastung ist somit die Zufuhr unbelasteter Luftmassen auf der einen Seite sowie die Verwirbelung, Verdünnung und der Abtransport dieser belasteten Luft auf der anderen Seite häufig nicht mehr gewährleistet. In direkter Umgebung einzelner Baustrukturen und im Straßenbereich kann es jedoch zu so starken Erhöhungen der Windgeschwindigkeit durch Böen und Windkanalisierungen kommen, daß unangenehme Wirkungen auf Menschen (Windbelastung, Staubaufwirbelung, Augenreizung etc.) verursacht werden können.

Bestimmt wird der Wind als vektorielle Größe über seine **Richtung** und **Geschwindigkeit**. Die kontinuierliche Messung des Windes erfolgt nach internationaler Absprache (World Meteorological Organisation 1983) an festen, möglichst ungestörten Stationen in einer Höhe von 10 m über dem Erdboden.

Das vertikale Profil der Windgeschwindigkeit wird entscheidend von der jeweiligen Bodenrauigkeit bestimmt (vgl. Abb. 1).

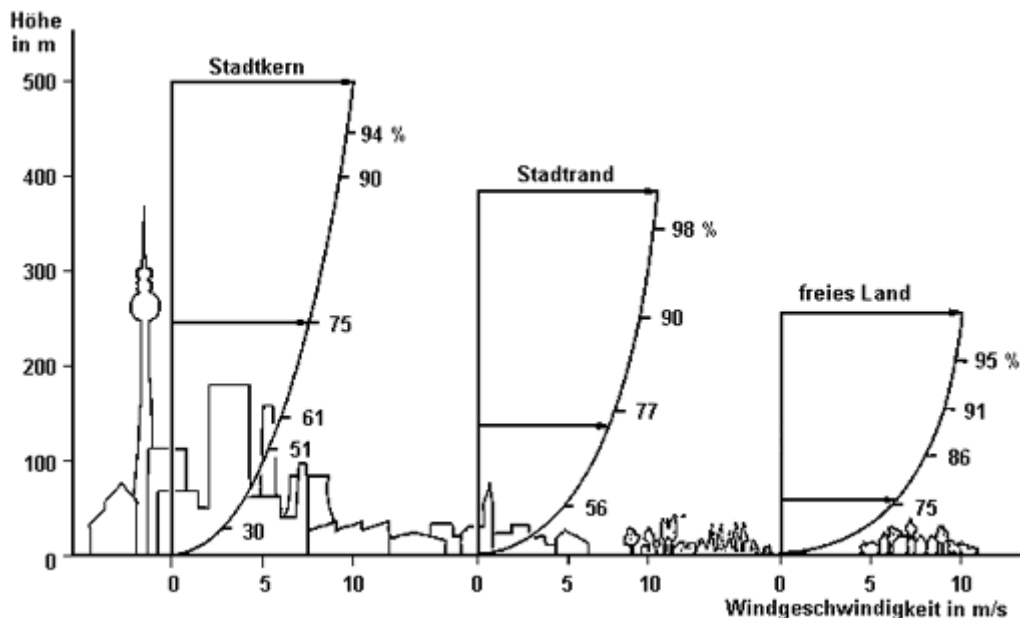


Abb. 1: Abnahme der Windgeschwindigkeit unter dem Einfluß von unterschiedlichen Bodenrauigkeiten (nach Baumbach 1991)

Als weitere Einflußfaktoren können besonders in austauscharmen Strahlungsnächten mit geringem Bewölkungsgrad durch reliefbedingte Kaltluftabflüsse oder in Stadtgebieten auch durch Flurwindeffekte eigene Windsysteme aufgebaut werden.

Die durch die starke Erwärmung der Stadt aufsteigenden Luftmassen bewirken ein Nachströmen kühlerer Luft aus dem Umland. Flurwindeffekte können aber nur dann innerstädtisch wirksam werden,

wenn vom Stadtzentrum ausgehend Luftleitbahnen oder zumindest durchlässige Baustrukturen bis an die städtische Peripherie vorhanden sind. Für sehr große Ballungsgebiete wie Berlin spielen die Flurwindeffekte vor allem eine Rolle im Nahbereich geeigneter Kaltluftproduzierender Flächen an der Stadtperipherie, aber auch bei Grünflächen in innerstädtischer Lage. Der Nachweis solcher Flurwinde ist sehr aufwendig und für Berlin bisher lediglich im Modell simuliert worden (vgl. Wagner 1993 und Karte 04.07, SenStadtUm 1993).

Windrichtung und Geschwindigkeit

In Berlin liegen für verschiedene Wind-Meßstationen z. T. langjährige Meßreihen der horizontalen Windverhältnisse vor. Die meteorologische Station auf dem Flughafen Tempelhof gibt im Vergleich aller Stationen die ungestörtesten und für den regionalen Maßstab repräsentativsten Windgeschwindigkeiten wieder (vgl. SenStadtUm 1994).

Im regionalen Maßstab werden die Windverhältnisse Berlins durch die Lage im Übergangsbereich zwischen kontinental und mehr ozeanisch geprägtem Klima bestimmt – West- bis Nordwestwinde entsprechen der ozeanischen Komponente mit zumeist wenig schadstoffbelasteter Meeresluft, Ost- bis Südostwinde der kontinentalen Komponente mit geringeren Windgeschwindigkeiten und vor allem im Winter erhöhter Schadstoffkonzentration (vgl. Abb. 2 und 3). Innerhalb des Stadtgebietes jedoch beeinflussen auch kleinräumige Faktoren, wie Temperatur- und Druckunterschiede zwischen verschiedenen Stadtstrukturen, die Windströmungen.

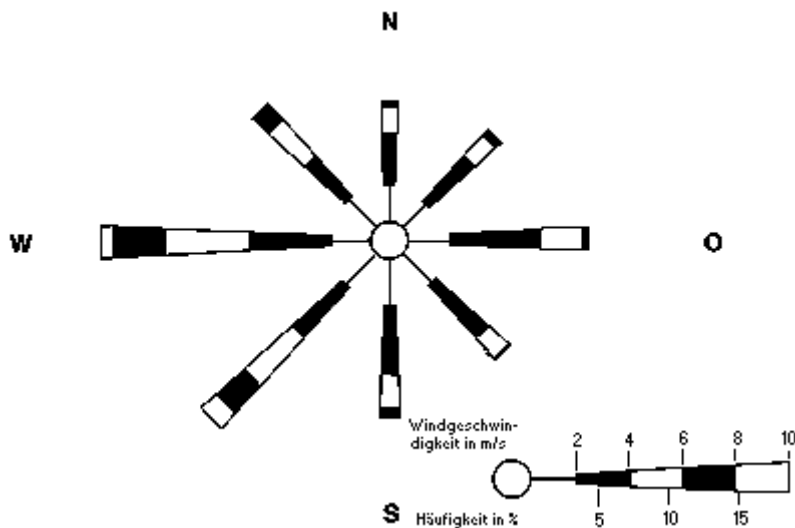


Abb. 2: Relative Häufigkeit der Stundenmittel der Windrichtung und -geschwindigkeit an der Station Flughafen Tempelhof 1975 – 1990, Meßhöhe 10 m (Institut für Industrieaerodynamik 1993)

Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen für den Berliner Raum ist sowohl für Tages- als auch für Nachtstunden repräsentativ (vgl. Abb. 2). Die häufigste Windrichtung ist West mit 21 % aller Stunden, gefolgt von Südwest mit 16 %. Bei beiden Windrichtungen treten Windgeschwindigkeiten > 4 m/s am häufigsten auf. Nord und Nordost sind als Windrichtungen am wenigsten vertreten.

Die mittlere Windgeschwindigkeit (über das Jahr gemittelt) ist bei den häufigsten Windrichtungen (West und Südwest) am größten (vgl. Abb. 3). Winde aus Südosten weisen im Mittel die geringsten Windgeschwindigkeiten auf. Der Jahresgang der Windgeschwindigkeit hat ein Maximum im Winterhalbjahr und ein Minimum in den Sommermonaten.

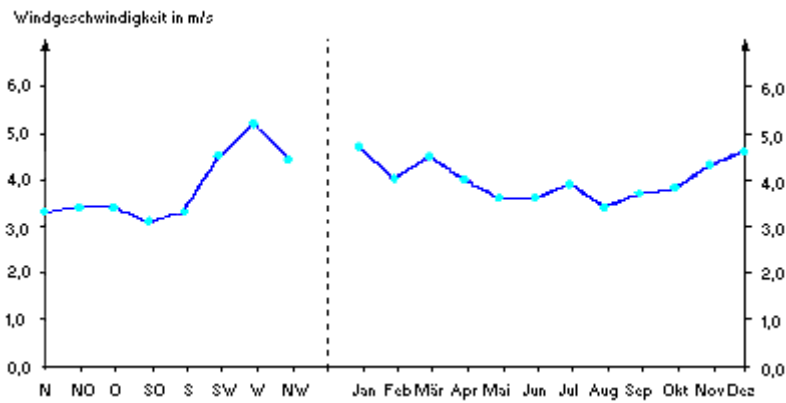


Abb. 3: Mittlere Windgeschwindigkeit im Jahresgang und in Abhängigkeit von der Windrichtung an der Station Flughafen Tempelhof 1975 – 1990, Meßhöhe 10 m (Deutscher Wetterdienst 1993)

Immissionsklimatologisch ungünstige Wetterlagen mit Windgeschwindigkeiten < 2 m/s bzw. Windstillen werden mit einem Anteil von 18 % registriert. Im Winter ist die Häufigkeitsverteilung wie erwähnt zu höheren Geschwindigkeitswerten hin verschoben.

Danach ist der offene Meßstandort Flughafen Tempelhof weder insgesamt noch während der Wintermonate als immissionsklimatologisch ungünstiger Standort einzustufen.

Verteilung der Windrichtung

Ein Vergleich langjähriger Meßreihen von vier Stationen in Berlin (Ostkreuz, Buch), Potsdam und Schönefeld zur **Windrichtungsverteilung** zeigt für alle Meßorte ebenfalls ein ausgeprägtes Vorkommen von West- bis Südwest-Winden (vgl. Abb. 4). Für die langjährige Berliner Bezugsstation Dahlem werden Windrosen zusätzlich für die Halbjahreszeiträume Sommer (Mai – Oktober) und Winter (November – April) dargestellt (vgl. Abb. 5).

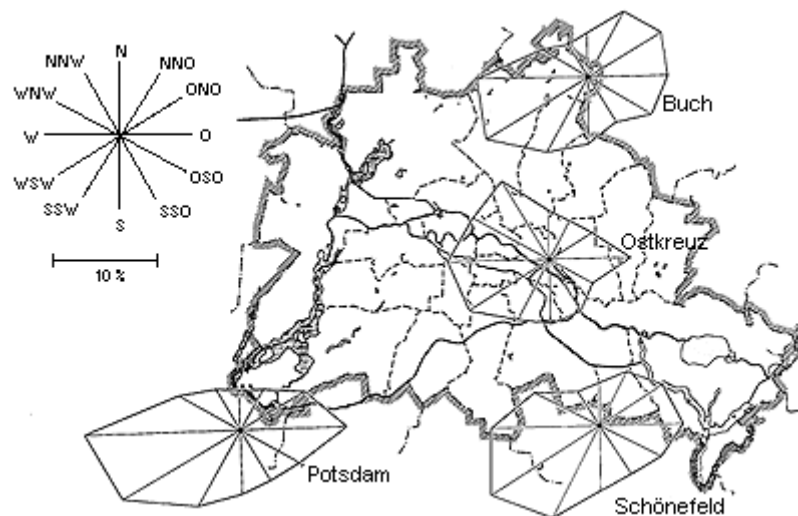


Abb. 4: Relative Häufigkeiten der Windrichtungen an den Stationen Berlin-Buch, Berlin-Ostkreuz, Schönefeld und Potsdam 1962 - 1976 (nach Hupfer et al. 1990)

Die Windrosen in Abbildung 5 zeigen ebenfalls, allerdings jahreszeitlich unterschiedlich stark ausgeprägt, die genannten Verteilungen. Dabei fällt auf, daß besonders die übrigen Windrichtungen bei allen Stationen unterschiedlich stark vertreten sind. Die Ursache für diese Abweichungen liegt in der jeweils spezifischen Umgebung der Meßstationen. Eine ähnliche Heterogenität der Meßergebnisse zeigen auch Karten der bodennahen Windrichtung (Karten 04.03.3 und 04.03.4, SenStadtUm 1985). Danach gelten die dargestellten Windrichtungen nur für den jeweiligen Meßort, anders als bei den Windgeschwindigkeiten sind die Aussagen innerhalb vergleichbarer Stadtstrukturen nicht übertragbar.

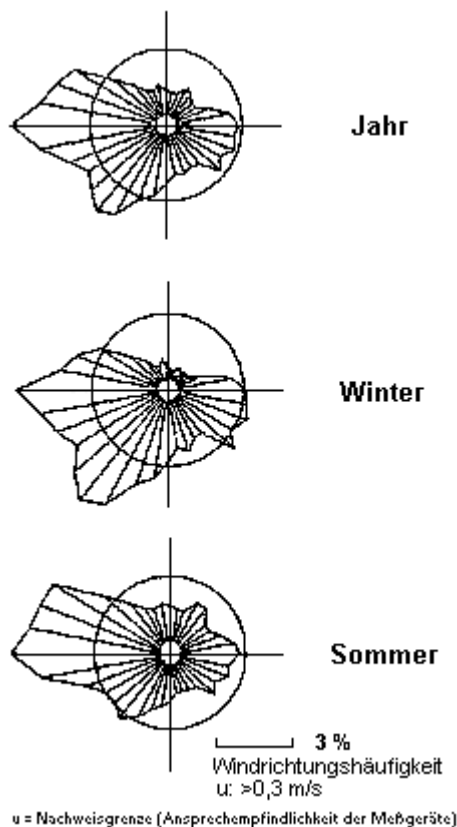


Abb. 5: Relative Häufigkeit der Windrichtungen an der Station Berlin-Dahlem im Gesamtjahr, Sommer (Mai – Oktober) und Winter (November – April) 1971 – 1990 (SenStadtUm 1994)

Datengrundlage

Für die Datenerfassung wurde der Klimameßwagen des Fachgebietes Bioklimatologie der Technischen Universität Berlin eingesetzt. Die Datengrundlagen für die vorliegenden Karten waren 29 Tages- und 70 Nachtmeßfahrten der Jahre 1980 bis 1984 im Bereich der westlichen Bezirke von Berlin sowie 21 Tages- und 42 Nachtmeßfahrten im Jahr 1991 mit dem Schwerpunkt im östlichen Bereich der Stadt (vgl. Karte 04.04.4, SenStadtUm 1994). An insgesamt 770 Meßpunkten wurde die Windgeschwindigkeit mit einem Schalenkreuzanemometer in 2,70 m Höhe gemessen, womit Aussagen zum Windkomfort der Fußgänger oder auch zum bodennahen Windfeld abgeleitet werden können. Die Angaben der Windgeschwindigkeit an der weitgehend ungestörten Station Flughafen Tempelhof zu den Zeiten der Meßfahrten wurden vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt (vgl. Deutscher Wetterdienst 1992). Außerdem wurden Forschungsarbeiten über Blockinnenhöfe und Forststandorte ausgewertet (vgl. Horbert et al. 1992 und Horbert et al. 1993).

Methode

Windklimatische Fragestellungen spielen auf der Ebene objektbezogener Untersuchungen zur Auswirkung geplanter Bauungen seit langem eine Rolle und können unter Zuhilfenahme entsprechender technischer Hilfsmittel (Windkanalstudien) auch ohne eigene Messungen ‚vor Ort‘ zufriedenstellend gelöst werden. Für ein großstädtisches Gebiet ist dieser Ansatz jedoch kaum durchführbar. Aus diesem Grunde wurden in die klimatischen Untersuchungen zum vorliegenden Umweltatlas Windmessungen eingebunden. Hierüber wurden Windgeschwindigkeiten ausgewählter Baustrukturen ermittelt, die mit den entsprechenden Werten der als ungestört eingestuften Referenzstation Flughafen Tempelhof in Beziehung gesetzt wurden.

Da grundsätzlich beim Tagesgang der Windgeschwindigkeit das Maximum in den Mittagsstunden bzw. am frühen Nachmittag und das Minimum in der Nacht liegen, wurden Tag- und Nachtmessungen getrennt ausgewertet. Die somit an den einzelnen Meßpunkten vorliegenden zwei Mittelwerte wurden den im Umweltinformationssystem (UIS) Berlin der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz enthaltenen Stadtstrukturtypen zugeordnet (vgl. Karte 06.07, SenStadtUm 1995).

Die Stadtstrukturtypen konnten zu 14 Gruppen zusammengefaßt werden, in denen sich die Windgeschwindigkeitsverhältnisse jeweils gleichen. Für jede dieser Gruppen wurde wiederum nach den Tageszeiten getrennt ein Mittelwert der Meßfahrtergebnisse errechnet. Als Ergebnis lagen somit **mittlere Werte der Windgeschwindigkeit am Tage und in der Nacht** in 2,70 m Höhe und bezogen auf 14 Strukturtypen-Gruppen vor.

Als Vergleichswerte für relativ unbeeinflusste Windverhältnisse wurden – bezogen auf die Zeitpunkte der Tag- und Nachtmeßfahrten – die mittleren Windgeschwindigkeiten an der Station Flughafen Tempelhof herangezogen (vgl. Deutscher Wetterdienst 1992). Da die Werte in Tempelhof in 10 m über Grund gemessen werden, erfolgte hier unter Berücksichtigung der Bodenrauigkeit eine Umrechnung auf die für die übrigen Messungen benutzte Meßhöhe von 2,70 m. Als Berechnungsergebnis lag das Mittel der Zeiträume aller Tagfahrten für die Station Tempelhof in 2,70 m Höhe bei 3,6 m/s bzw. das der Nachtfahrten bei 2,3 m/s.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die mittleren Werte der Windgeschwindigkeiten der einzelnen Strukturtypen-Gruppen prozentual zu den Werten vom Flughafen Tempelhof in Beziehung gesetzt, wobei die Tages- und Nachtwerte von Tempelhof jeweils 100 % gesetzt wurden. Die Windgeschwindigkeiten in Blockinnenhöfen und in Waldgebieten konnten aus den oben genannten Forschungsarbeiten in Verbindung mit den Meßfahrten ermittelt werden (vgl. Abb. 6). Für den Bereich der Gewässer wurde aufgrund allgemeiner Kenntnisse normativ die jeweils geringste Abweichung gegenüber der Referenzstation festgesetzt.

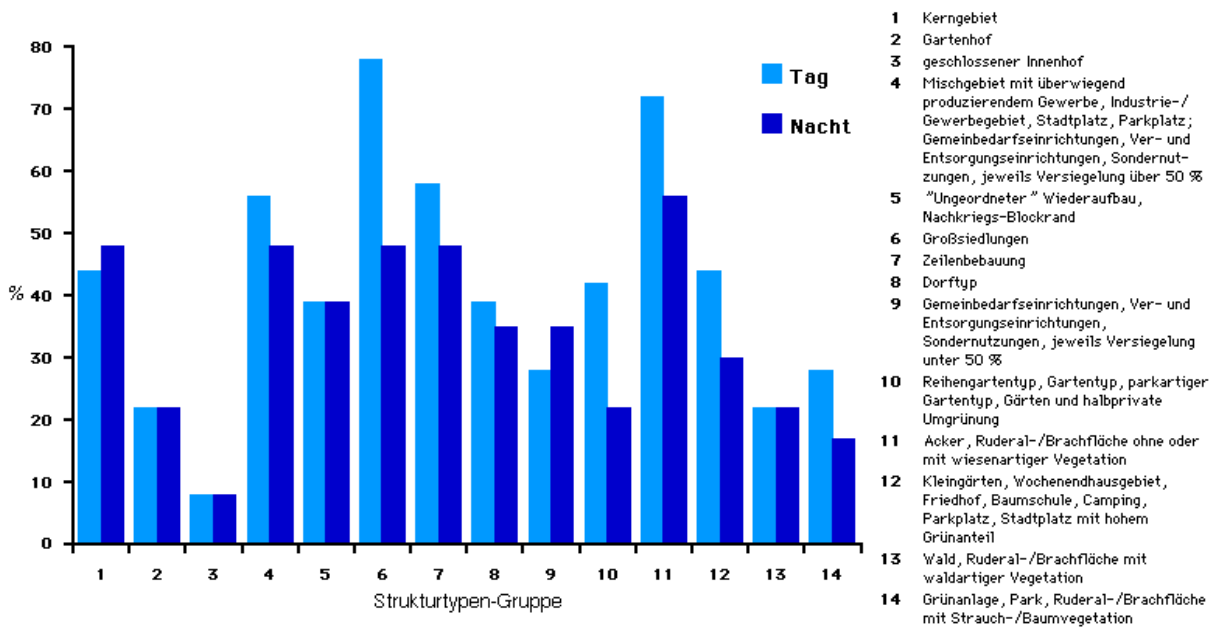


Abb. 6: Mittel der Windgeschwindigkeit der Strukturtypen-Gruppen in 2,70 m Höhe über dem Erdboden in Abhängigkeit von der Referenzstation Flughafen Tempelhof in % (Tempelhof = 100 % tagsüber und nachts)

Die gewählte methodische Vorgehensweise stellt für jede Gruppe der Stadtstrukturtypen mittlere Windgeschwindigkeiten für repräsentativ ausgewählte Tag- und Nachtsituationen dar. Dabei können lokale Eigenheiten einzelner Flächen innerhalb jeder Gruppe aufgrund des jeweiligen Flächenzuschnittes, der besonderen Vegetationsstruktur, der Lage im Stadtgebiet etc. nur teilweise Berücksichtigung finden. Hier sind gezielte Untersuchungen im Einzelfall notwendig. So können die Windgeschwindigkeiten innerhalb der Strukturgruppe Acker, Ruderal-/Brachfläche ohne oder mit wiesenartiger Vegetation sehr unterschiedlich sein. Sehr hohe Werte weisen tagsüber in der Regel die großen Ackerflächen am Stadtrand auf, während zur selben Tageszeit für innerstädtische zumeist kleinere Flächen ähnlicher Struktur reduzierte Geschwindigkeiten typisch sind. Nachts spielt dieser Flächengrößen- und Lageunterschied ebenfalls eine wesentliche Rolle. Stadtrandlagen und Großflächigkeit fördern den Aufbau stabiler bodennaher Luftschichten und bewirken damit eine hohe Windgeschwindigkeitsreduzierung. Innerstädtische kleinere Flächen unterliegen diesem Effekt weit weniger stark. Die hier weitgehend labile Luftschichtung fördert eher höhere Windwerte auch in der Nacht. Eine ähnliche Situation ist auch bei Gewässern zu beobachten. Die großen seenartigen Ausbuchtungen der Havel und Spree lassen im Vergleich zur Stadtspreewälder und zu den Kanälen höhere Geschwindigkeiten zu. Um diese Schwankungen innerhalb einer Strukturgruppe zu berücksichtigen, wurden die Windgeschwindigkeiten für die Darstellung klassifiziert.

Kartenbeschreibung

Aufgrund der in den meisten Fällen größeren aerodynamisch wirksamen Rauigkeit der Umgebungsstrukturen werden in allen Stadtstrukturtypen-Gruppen sowohl am Tage als auch in der Nacht Reduzierungen der Windgeschwindigkeit gegenüber der Referenzstation Flughafen Tempelhof festgestellt.

Karte 04.03.1 Bodennahe Windgeschwindigkeiten am Tag

Die geringsten Windgeschwindigkeiten weisen die kleinen **geschlossenen Innenhöfe** der Innenstadtbezirke Kreuzberg, Schöneberg und Prenzlauer Berg auf. Gebiete mit **Gartenhofstruktur** und **Wäldern** erreichen zwar eine bessere, aber immer noch sehr geringe Belüftung mit Reduzierungen von etwa 80 % gegenüber dem Referenzwert. In Wäldern verhindert die Struktur des Bestandes ein Eindringen des Windes in den Stammraum, vielmehr wird er zumeist über die Kronen hinwegelenkt. Daher ist in diesen Gebieten die Immissionsgefährdung hoch. **Innerstädtische Grünanlagen** und **Ruderalflächen mit lockerer Strauch- und Baumvegetation** sind mit einer Windgeschwindigkeit von bis zu 30 % der in Tempelhof gemessenen Windgeschwindigkeit besser belüftet. Jedoch besteht auch hier, besonders bei Straßenkreuzungen, aufgrund der abschirmenden Wirkung der Vegetation erhöhte Immissionsgefährdung. Günstigere Belüftungsverhältnisse weisen die **Außenbereiche** mit geringer Bebauungsdichte und -höhe sowie lockeren Vegetationsstrukturen und **Gewerbegebiete** auf. **Ackerflächen, offene Ruderalgebiete und Grünland** sind mit bis zu 80 % der in Tempelhof gemessenen Windgeschwindigkeit sehr gut belüftet.

Die höchsten Windgeschwindigkeiten der bebauten Bereiche wurden in **Hochhausiedlungen** gemessen. Durch ungünstige Stellung sehr hoher Gebäudekörper werden Turbulenzen, Düseneffekte und Windkanalisierungen erzeugt. Zeitweise kann durch derartige Effekte der Aufenthalt im Freien stark beeinträchtigt werden, u. U. sind auch zusätzlich lufthygienische Belastungen durch Staubaufwirbelungen zu erwarten.

Karte 04.03.2 Bodennahe Windgeschwindigkeiten in der Nacht

Gegenüber der Tagessituation sind die Unterschiede der einzelnen Stadtstrukturen im Vergleich zur Bezugsstation nachts weniger stark ausgeprägt. Der Grund für diese Angleichung ist die allgemeine Abschwächung der Windgeschwindigkeit in der Nacht. So hat sich für die Referenzstation Tempelhof die Windgeschwindigkeit, berechnet auf 2,70 m Höhe, um 35 % verringert und entspricht damit der Reduzierung im langjährigen mittleren Tagesgang 1974 – 1990 (vgl. Deutscher Wetterdienst 1993). Innerhalb der Bebauungsstrukturen zeigen sich dagegen z. T. gegenläufige Tendenzen. Überhaupt keine Veränderung zum Tagesgang der Windgeschwindigkeit zeigen **Gebiete mit geschlossenen Innenhöfen**; sie sind in der Nacht wie auch tagsüber am schlechtesten belüftet. Die Windgeschwindigkeiten in **Gebieten mit Gartenhöfen** und in den **Wäldern** sind in der Nacht ebenfalls wie am Tage sehr gering. Am stärksten reduziert gegenüber der Einstufung am Tage sind die vorwiegend unversiegelten Freiflächen wie **Äcker, Grünland, Kleingärten**, aber auch die **Parkanlagen** und ähnlich strukturierte **Brachflächen**. Hier wirkt sich anders als in den überwiegend bebauten Bereichen durch bodennahe Kaltluftbildung eine zusätzliche Stabilisierung der aufliegenden Luftschicht aus. Aufgrund der damit gegebenen schlechten Belüftungsverhältnisse sind diese Gebiete als stark immissionsgefährdet einzustufen.

Auffallend ist außerdem die um zwei Klassen schlechtere Einstufung der **Großsiedlungen** gegenüber den Referenzwerten. Da hier aufgrund der großen Baumassen nicht mit einer Stabilisierung der bodennahen Luftschicht zu rechnen ist, kann angenommen werden, daß die in der Nacht herangeführten Winde zu schwach sind, um die am Tage auffälligen Verwirbelungen zu erzeugen. So verringert sich die Windgeschwindigkeit in den Hochhausgebieten gegenüber dem Tag um mehr als 60 %. Hohe Reduzierungen gegenüber der frei angeströmten Station Tempelhof sowie im direkten Vergleich mit ihren Tagwerten weisen auch die **durchgrüntem Bebauungsbereiche** auf. Neben der Abkühlung der Vegetationsflächen wirken sich zusätzlich wie am Tage auch die Abschirmungseffekte der Baumstrukturen aus.

Geringere Veränderungen gegenüber dem Bezugswert sowie ihrem Tagwert zeigen die dicht bebauten, versiegelten Gebiete der **Gemeinbedarfs-, Ver- und Entsorgungseinrichtungen und Sondernutzungen**. Auch die **Kerngebiete** verhalten sich ähnlich, die Wärmeabstrahlung der Baumassen verhindert eine wirkungsvolle Stabilisierung der bodennahen Luftschichten.

Literatur

- [1] **Baumbach, G. 1991:**
Luftreinhaltung, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [2] **Deutscher Wetterdienst 1992:**
Zusammenstellung der Windmeßdaten an der Station Flughafen Tempelhof zu ausgewählten Zeitpunkten, unveröffentlicht.
- [3] **Deutscher Wetterdienst 1993:**
Gutachten zur Abschätzung der klimarelevanten Auswirkungen des Bauvorhabens Potsdamer/Leipziger Platz in Berlin, im Auftrag des Büros für Kommunal- und Regionalplanung Aachen, unveröffentlicht.
- [4] **Flemming, G. 1990:**
Klima – Umwelt – Mensch, Fischer Verlag, Jena.
- [5] **Horbert, M., Jaekel, A., Scheit, C. 1992:**
Klimatologische Untersuchungen im Rahmen der stadtökologischen Begleitforschung im Block 103 in Berlin-Kreuzberg, Gutachten im Auftrag der IBA Berlin, unveröffentlicht.
- [6] **Horbert, M., Linse, A., Schäpel, C. 1993:**
Abschlußbericht Ballungsraumnahe Waldökosysteme, Teilprojekt Geländeklimatologie, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, unveröffentlicht.
- [7] **Hupfer, P., Chmielewski, F.-M. 1990:**
Das Klima von Berlin, Akademie Verlag, Berlin.
- [8] **Institut für Industriaerodynamik GmbH 1993:**
Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Bebauungsplanung Potsdamer/Leipziger Platz, Fachbeitrag Windklima / Immissionsfeld, Teilgutachten Windfeld, im Auftrag des Büros für Kommunal- und Regionalplanung Aachen, unveröffentlicht.
- [9] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994:**
Luftreinhalteplan für die Jahre 1994 bis 2000, Entwurf.
- [10] **Wagner, D. 1993:**
F&E-Vorhaben "Wirkung regionaler Klimaänderungen in urbanen Ballungsräumen am Beispiel Berlin", gefördert durch den Bundesminister für Forschung und Technologie, 4. Zwischenbericht, unveröffentlicht.
- [11] **World Meteorological Organisation (Hrsg.) 1983:**
Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO-No. 8, 5. Auflage, Genf.

Karten

- [12] **SenStadtUm (Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1985:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1985, Karte 04.03 Bodennahe Windverhältnisse, 1:125 500, Berlin.
- [13] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1993:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1993, Karte 04.07 Klimafunktionen, 1:50 000, Berlin.
- [14] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1994, Karte 04.04 Temperatur- und Feuchteverhältnisse in mäßig austauscharmen Strahlungsnächten, 1:125 000, Berlin.
- [15] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1995:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1994, Karte 06.07 Stadtstrukturtypen, 1:50 000, Berlin.