

Stadtklimatische Eigenschaften von Bäumen

Falluntersuchung in Freiburg im Breisgau

A. Matzarakis, S. Streiling

1 Einführung

Anhand einer Falluntersuchung an dem mit Bäumen bestandenen „Fahnenbergplatz“ im nördlichen Stadtzentrum von Freiburg im Breisgau wurden an zwei Messtagen Untersuchungen zum qualitativen und quantitativen Einfluss von Bäumen auf das Stadtklima durchgeführt. Am konkreten Beispiel wurde der dortige thermische und lufthygienische Wirkungskomplex untersucht.

2 Standörtliche Gegebenheiten

Freiburg im Breisgau liegt im südlichen Oberrheinischen Tiefland am östlichen Rand des Oberrheingrabens in der so genannten Freiburger Bucht auf 278 m über NN (Münsterplatz). Die klimatologische Situation Freiburgs ist gekennzeichnet durch ihre geringe Seehöhe und die südliche Lage im Oberrheintal. Freiburg befindet sich in einer Bucht am Schwarzwaldrand, in die das Dreisamtal von Osten einmündet. Dies hat zur Folge, dass Freiburg ein sehr warmes Klima, mit einer mittleren Jahreslufttemperatur von 10,7 °C (Zeitraum 1961 bis 1990), aufweist.

Der genaue Untersuchungsort ist der „Fahnenbergplatz“, der im nördlichen Stadtzentrum Freiburgs liegt. Die räumliche Ausdehnung des annähernd dreieckigen Platzes beträgt ca. 1 700 m². Der Platz ist mit zwölf Rosskastanienbäumen (*Aesculus hippocastanum*) unterschiedlichen Alters und Größe bestanden. Begrenzt wird der Platz durch eine weniger stark befahrene und zwei stark befahrene Straßen. Auf den jeweils gegenüberliegenden Straßenseiten befinden sich hohe Gebäudekomplexe, die eine starke Horizonteneingengung verursachen (Bild 1).

Aktuelle Immissionsuntersuchungen für das Gebiet um den Fahnenbergplatz weisen für die Luftschadstoffe Ozon und Stickoxide mittlere bis erhöhte Belastungen auf.

3 Materialien und Methoden

Für die Untersuchungen der thermischen Komponente wurde ein speziell entwickelter mobiler Bioklima-Messwagen verwendet. Mithilfe des Messwagens wurden die Trockenlufttemperatur T_a und die Feuchtlufttemperatur T_f (Aspirationspsychrometer, PT 100 Sensoren), Windgeschwindigkeit v (Hitzdrahtanemometer der Fa. Dantec), Windrichtung dd (kurzer Bindfaden), die kurzwellige Strahlung R_k (Pyranometer, Typ CM 21, Fa. Kipp und Zonen) und die langwellige Strahlung L_w (Pyrgometer, Typ CG 1, Fa. Kipp und Zonen) ermittelt. Anhand der gemessenen Parameter wurden der Dampfdruck VP , die relative Luftfeuchtigkeit RH und die

mittlere Strahlungstemperatur¹⁾ T_{mrt} berechnet. Die meteorologischen Daten wurden zur Berechnung der wichtigen thermischen Bewertungsgröße PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) [1] verwendet. Mithilfe von PET wurde eine human-biometeorologische Bewertung der einzelnen Messpunkte vorgenommen. Die Berechnung erfolgte anhand des Strahlungs- und Bioklima-Programms RayMan 1.2, das am Meteorologischen Institut der Universität Freiburg entwickelt wurde [2]. Die mit dem Bioklima-Messwagen angefahrenen Messpunkte MP 1 bis MP 5 sind in Bild 1 dargestellt.

Zur Untersuchung der lufthygienischen Komponente wurden kommerzielle Passivsammler eingesetzt. Mit ihrer Hilfe wurden die Luftschadstoffe Stickoxide (NO_x) und Ozon (O₃) gemessen. Der Stickoxidmessung liegt die Entfärbung des blau-violetten Farbstoffs 4-Dimethylamino-anthrachinon durch Stickoxide und der Ozonmessung die Entfärbung des hellblauen Farbstoffs Indigocarmin zugrunde. Die Farbstoffe wurden zur Exposition auf Filterpapieren fixiert. Der Grad der Entfärbung zeigt die jeweilige Schadstoffkonzentration an. Die Entfärbung wurde farbmetrisch mit dem

¹⁾ T_{mrt} fasst den gesamten Strahlungseinfluss, bestehend aus solarer und terrestrischer Strahlung, der auf den Menschen wirkt, zusammen.

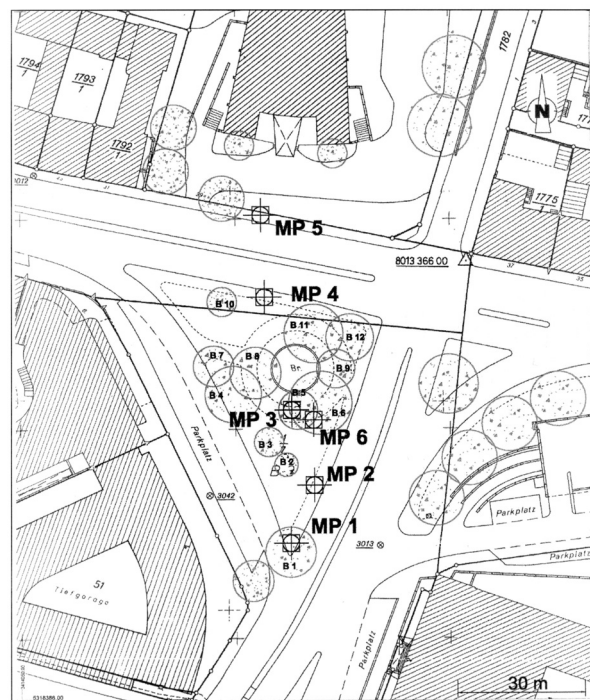


Bild 1. Lage der Messpunkte (MP) und der Bäume (B 1 bis B 12) auf dem Fahnenbergplatz.

Auszug der Liegenschaftskarte (FK 5) der Stadt Freiburg, Flurstücks-Nr.: 1/7, Stand: 6. Oktober 2000

PD Dr. Andreas Matzarakis, Stefan Streiling,
Meteorologisches Institut, Universität Freiburg.

„Color Pen“ der Firma Dr. Lange ermittelt. Mittels dieser Methoden wurden MP 2 bis MP 6 untersucht. Diese Messpunkte sind ebenfalls in Bild 1 dargestellt.

Alle Messungen wurden in einer Höhe zwischen 1,1 m (Schwerpunkt des Menschen) und 1,5 m (Atemhöhe) durchgeführt. Eine Sonderstellung hatte Messpunkt MP 6. Dieser Messpunkt befand sich innerhalb einer Baumkrone in ca. 6,0 m Höhe und ist als zusätzlicher vertikaler Messpunkt über MP 5 anzusehen. Ziel war ein Vertikalvergleich zwischen MP 3 und MP 6 bezüglich der untersuchten Luftschadstoffe NO_x und O_3 .

Die Untersuchungen wurden am 19. und 29. September 2000 (lufthygienische Messungen nur am 29. September 2000) durchgeführt. Sie hatten eine Dauer von elf bzw. zwölf Stunden und begannen um ca. 6:00 Uhr MEZ bei Sonnenaufgang und endeten nach Sonnenuntergang um ca. 21:00 Uhr MEZ.

Um einen Eindruck über die allgemeine meteorologische Situation an den beiden Messtagen in Freiburg zu gewinnen, wurden die Daten der Meteorologischen Stadtstation der Universität Freiburg herangezogen, die etwa 300 m in nördlicher Richtung des Fahnenbergplatzes auf dem Dach des Hochhauses der Chemischen Fakultät in 51 m Höhe über Grund liegt. Das Lufttemperaturmaximum betrug an der Stadtstation am 19. September 2000 26,6 °C, das Maximum der Windgeschwindigkeit 6,6 m/s, das Maximum des Dampfdrucks 16,3 hPa, das Maximum der relativen Luftfeuchtigkeit 81 % und das Maximum der Globalstrahlung 683 W/m². Am 29. September 2000 betrug das Lufttemperaturmaximum 24,0 °C, das Maximum der Windgeschwindigkeit 6,5 m/s, das Maximum des Dampfdrucks 17,9 hPa, das Maximum der relativen Luftfeuchte 78 % und das Maximum der Globalstrahlung 610 W/m².

4 Ergebnisse und Diskussion

In der Gesamtbetrachtung zeigten die meteorologischen Parameter einen messbaren positiven Einfluss auf das sie umgebende Stadtklima. Die meteorologischen Daten der thermischen Komponente des Stadtklimas sind in etwa vergleichbar mit denen einer Messkampagne, die an denselben Messpunkten ein Jahr zuvor stattgefunden hat [3].

T_a lässt die Unterschiede zwischen baumbeeinflussten und nicht baumbeeinflussten Messstandorten erkennen. Zwischen den zwei Extremstandorten MP 3 und MP 5 konnten im Mittel Unterschiede von 1,0 °C und 0,9 °C gemessen werden. Diese Unterschiede sind vergleichbar mit anderen Untersuchungen [4 bis 7]. Die absoluten Lufttemperaturmaxima befanden sich mit 25,2 °C (16:20 Uhr, MEZ) und 23,1 °C (15:19 Uhr, MEZ) an beiden Messtagen an MP 5. Das absolute Tagesminimum konnte an beiden Tagen am Messpunkt „östlich der Baumkronengruppe“ (MP 2) mit 13,8 °C (8:10 Uhr, MEZ) und 14,8 °C (8:05 Uhr, MEZ) ermittelt werden. An beiden Messtagen konnte ein maximaler Lufttemperaturunterschied zwischen zwei Messpunkten von 2,2 °C festgestellt werden. Ein interessantes Ergebnis ergab sich bei einem Vergleich der Messstandorte „unter einer Baumkrone“ (MP 1), bei dem es sich um einen Einzelbaum handelt, mit MP 3. Das mittlere Lufttemperaturgefälle betrug an beiden Tagen zwischen dem Einzelbaum und der Baumgruppe 0,1 °C. Somit wird sichtbar, wie die Baumgruppe gegenüber dem Einzelbaum weiter zu einer Erniedrigung der Lufttemperatur beitrug. Hinsichtlich *VP* und *RH* konnten nur geringe bis keine Unterschiede festgestellt werden.

T_{mrt} stellt eine wichtige Eingangsgröße bei der Ermittlung von PET dar. Über den gesamten Tagesverlauf gesehen wies T_{mrt} im Mittel an MP 3 die geringste thermische Belastung auf. MP 5 wies mit 51,4 °C (19. September 2000) bzw. 45,5 °C (29. September 2000) die höchsten Werte auf. Die niedrigsten Werte zeigte MP 3 mit 32,1 °C (19. September 2000) bzw. 24,5 °C (29. September 2000). Hier machte sich der Einfluss der südlich von MP 3 postierten Baumgruppe deutlich bemerkbar. Sehr markante Unterschiede zu den genannten zwei Messpunkten zeigten sich an MP 2 und an MP 5. Diese beiden Messpunkte wiesen auch die höchste mittlere kurzweilige Strahlung aus dem oberen Halbraum auf. Das Tagesmaximum von T_{mrt} lag an beiden Tagen an Messpunkt MP 5, es betrug in beiden Fällen knapp 60 °C und wurde in den frühen Nachmittagsstunden erreicht. Die Minima wurden in den frühen Morgenstunden an MP 3 und MP 4 ermittelt. Die maximalen Unterschiede von T_{mrt} wurden am 19. September 2000 mit 30,8 °C zwischen MP 5 und MP 4 ermittelt. Am 29. September 2000 betrug der maximale Unterschied von T_{mrt} 34,1 °C zwischen MP 5 und MP 4.

PET zeigte sehr deutliche Unterschiede zwischen den stark baumbeeinflussten und den eher schwach baumbeeinflussten Standorten. So wies MP 3 an beiden Messtagen die günstigsten Bedingungen für PET auf. Die Mittelwerte für PET betragen 19,5 °C und 22 °C, was thermophysiologisch „keine thermische Belastung“ bedeutet. Der sehr stark durch urbane Strukturen geprägte Messpunkt MP 5 wies für den gleichen Zeitraum PET-Werte von 29 °C und 29,5 °C auf. Dies entspricht einer „mäßigen Wärmebelastung“. Die absolut gesehen höchsten PET-Werte innerhalb des Messverlaufs wurden an MP 5 mit 40,5 °C und 36,6 °C errechnet. Die absolut geringsten PET-Werte konnten innerhalb der frühen Morgenstunden (ca. 8:00 Uhr MEZ) an MP 1 mit 16 °C und mit 12 °C an MP 2 ermittelt werden. Die höchsten Unterschiede wurden am 19. September 2000 mit einem Wert von 17,6 °C zwischen MP 3 und MP 2 gemessen. Am 29. September 2000 zeigten sich die größten Unterschiede zwischen MP 3 und MP 5 (s. a. Tabelle). Beispielhaft hierfür sind die Ergebnisse vom 29. September 2000 in Bild 2 dargestellt. Die Tagesgänge von PET sind an beiden Messtagen in ähnlich. Die Konzentration der Stickoxide von MP 6 war gegenüber MP 4 um 19 µg/m³ verringert. Führt man denselben Vergleich für Ozon durch, so ergibt sich eine Differenz von 37 µg/m³. Dies entspricht im Mittel einer Reduzierung der Stickoxidbelastung um 45 % und der Ozonbelastung um 55 %. In Bild 3 werden die jeweiligen mittleren Stickoxid- und Ozonkonzentrationen für den 29. September 2000 dargestellt. Die Ergebnisse sind ein deutlicher Hinweis auf die schadstoffminimierende Funktion von Bäumen, wie sie auch bei [8] für Stickoxide und bei [9] für Ozon genannt wird. Welcher Anteil der Schadstoffreduktion innerhalb der

Gesamtübersicht der maximalen Unterschiede zwischen baumbeeinflussten und nicht baumbeeinflussten Messpunkten.

	19.9.2000	29.9.2000
max. ΔT_a (°C)	2,2	2,2
max. ΔRH (%)	8,2	24,0
max. ΔT_{mrt} (°C)	30,8	34,1
max. ΔPET (°C)	17,6	16,6
max. ΔNO_x (µg/m ³)	–	19
max. ΔO_3 (µg/m ³)	–	37

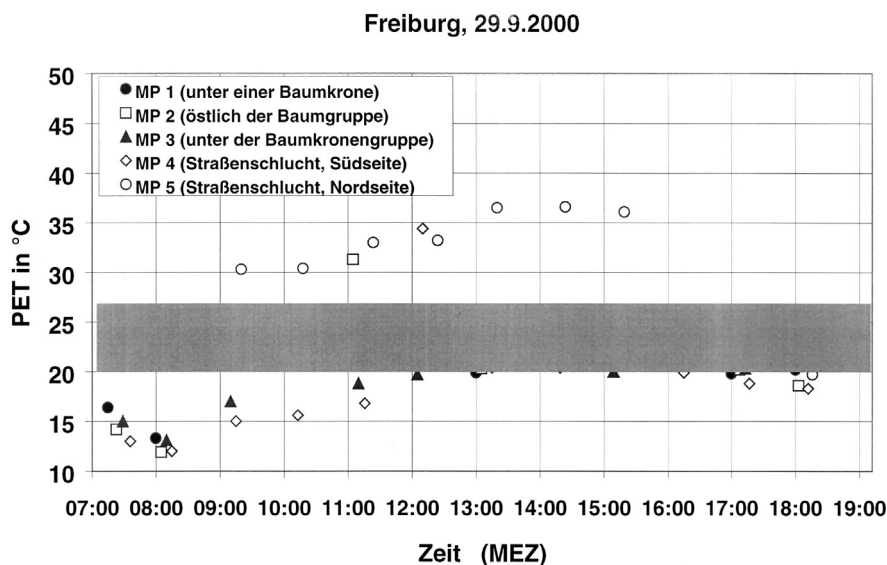


Bild 2. Tagesgänge der PET-Werte an den fünf Messpunkten am Fahnenbergplatz/Freiburg während des 29. September 2000 („thermische Behaglichkeit“).

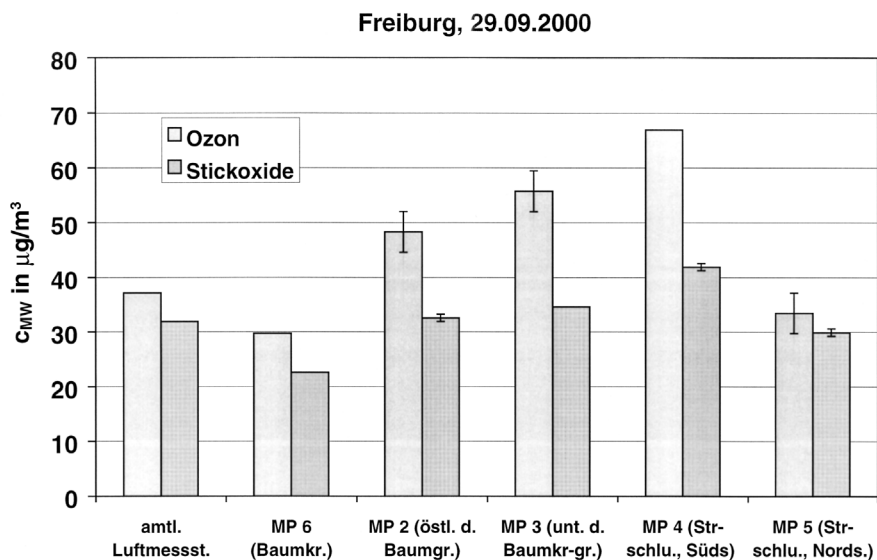


Bild 3. Mittlere Stickoxidkonzentrationen und mittlere Ozonkonzentrationen an den fünf Messpunkten am Fahnenbergplatz/Freiburg während des 29. September 2000. Die Fehlerindikatoren zeigen die einfache Standardabweichung; für die „amtliche Luftmessstation“ und für MP 6 liegen keine Fehlerangaben vor.

Baumkrone (MP 6) auf eine Filterwirkung durch Absorption von Stickoxiden und Ozon oder auf die erhöhte Oberflächenrauigkeit des Blattwerks gegenüber Windbewegungen zurückzuführen ist, kann durch die Untersuchungsergebnisse nicht geklärt werden.

5 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zeigten am Beispiel des mit Rosskastanien bestandenen Fahnenbergplatzes im nördlichen Stadtzentrum von Freiburg i. Br., welche positiven Effekte Bäume auf das Mikroklima in Städten haben. Messbare positive Effekte konnten sowohl im Bereich der thermischen als auch der lufthygienischen Komponente des Stadtklimas festgestellt werden. Deutlich nachweisbar ist ein positiver Effekt, der sich mit zunehmender Baumzahl erhöht. Die Untersuchungen der Luftschadstoffe Ozon und Stickoxide haben ebenfalls gezeigt, dass eine deutliche Ernied-

rigung der gemessenen Luftschadstoffe gegenüber der Umgebung nur innerhalb einer Baumkrone und nicht unter einem Baum zu finden sind. Baumkronenähnliche Areale könnten durch die Pflanzung von Sträuchern, deren filterndes Blattwerk sich auf unmittelbarer Höhe zum Menschen befindet und um entsprechende Areale gepflanzt wird, geschaffen werden.

Zukünftige Untersuchungen über den Einfluss von Bäumen auf das Stadtklima sollten ein besonderes Augenmerk darauf legen, die einzelnen meteorologischen Parameter, insbesondere die chemischen Parameter, noch genauer zu untersuchen, um das Wechselspiel zwischen Baum und der ihn umgebenden innerstädtischen Atmosphäre noch besser zu verstehen. Auf dieser Grundlage könnte dann eine Gesamtabschätzung der positiven Effekte von Bäumen auf das Stadtklima erfolgen, die in eine umweltökonomische Bewertung von Bäumen münden sollte.

Literatur

- [1] VDI 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie – Methoden zur human-bio-meteorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima. Berlin: Beuth 1998.
- [2] *Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H.*: Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: *de Dear, R. J.; Kalma, J. D.; Oke, T. R.; Auliciems, A.* (Hrsg.) *Biometeorology an urban climatology at the turn of the millenium: selected papers from the conference ICB-ICUC '99 WCASP-50, WMO/TD Nr. 1026 (2000)*, S. 273-278.
- [3] *Matzarakis, A.; Mayer, H.*: Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas. In: 11th Seminar on Environmental Protection „Environment and Health“. 20.-23. November 2000, Thessaloniki, Greece (2000), S. 155-166.
- [4] *Heisler, G. M.*: Trees modify metropolitan climate and noise. *J. Arboricult.* 3 (1977), S. 201-207.
- [5] *Bernatzky, A.*: Grünflächen und Klima. *DBZ – Forschung und Praxis*, 080 DBZ 8 (1979), S. 1205-1209.
- [6] *Kiese, O.*: Die bioklimatische Funktion innerstädtischer, insbesondere baumbestandener Grünflächen. *Verhandl. Ges. Ökol.* 24 (1985), S. 395-401.
- [7] *Klima-Messungen im Plangebiet Stuttgart 21 – Eine Analyse thermisch induzierter Ausgleichsströmungen an innerstädtischen Grünanlagen.* Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abt. Stadtklimatologie, Stadtklima Stuttgart (1999), www.stadtklima.de/stuttgart/websk21/Heft12/kap1.HTM, (Kap. 1-7).
- [8] *Heggstad, H. E.*: How plants fight „man made“ pollution. *Sci. Teacher* (1972) Nr. 4, S. 21-24.
- [9] *DeSanto, R. S.; Glaser, R. A.; McMillen, W. P.; MacGregor, K. A.; Miller, J. A.*: Open space as an air resource management measure. Vol. II: design criteria. EPA – 450/3–76–0286. Hrsg.: U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 1976.

Herausgebermitteilungen

Aus der Arbeit der KRdL

VDI 4252 Blatt 2: Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Aktive Probenahme von Bioaerosolen – Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine/ Polycarbonat-Filtern.

VDI 4253 Blatt 2: Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft – Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft – Indirektes Verfahren nach Probenahme auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern. Juni 2004. Die Ausgaben erscheinen in deutsch/englischer Fassung. VDI 4252 Blatt 2: € 55,20, VDI 4253 Blatt 2: € 59,20.

Die Standardisierung in der Mikrobiologie wurde lange Zeit vehement gefordert, um die zahlreichen Messergebnisse für Bioaerosolkonzentrationen in der Außenluft vergleichbar zu machen. Mit den Richtlinien VDI 4252 Blatt 2 „Probenahme von Schimmelpilzen“ und VDI 4253 Blatt 2 „Kultureller Nachweis von Schimmelpilzen“ werden jetzt erstmals standardisierte Vorschriften für die Messung von Schimmelpilzkonzentrationen in der Außenluft vorgelegt.

Die Richtlinie VDI 4252 Blatt 2 beschreibt die aktive Probenahme von Bioaerosolen in der Außenluft mit bewährten und standardisierten Probenahme-Filterverfahren und die Abscheidung der Partikeln auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern. Darauf aufbauend beschreibt die Richtlinie VDI 4253 Blatt 2 ein Verfahren zur Kultivierung der nach VDI 4252 Blatt 2 gesammelten Schimmelpilzsporen und der anschließenden Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Außenluft. Die beiden Richtlinien leisten somit einen wichtigen Beitrag, die Lücke bei der Standardisierung der Messverfahren mikrobieller Luftverunreinigungen zu schließen.

VDI 4203 Blatt 4 (Entwurf): Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen – Prüfprozeduren für optische Fernmesseinrichtungen zur Messung von gasförmigen Immissionen. März 2004. Einsprüche bis 30. Juni 2004. € 50,80.

Die Richtlinie VDI 4203 Blatt 4 legt die Verfahren fest, nach denen die Leistungsfähigkeit von optischen Fernmesseinrichtungen, die zur Überwachung von Immissionen eingesetzt werden sollen, zu prüfen ist. Die entsprechenden Mindestanforderungen an diese Messeinrichtungen sind in der Richtlinie VDI 4202 Blatt 2 festgelegt. Denn um sicherzustellen, dass die Luftqualität einheitlich und zuverlässig überwacht werden kann, wird in den Richtlinien des Rates der Europäischen Union zur Luftqualität und in den das Bundes-Immissionsschutzgesetz konkretisierenden Verordnungen und Verwaltungsvorschriften der Einsatz geeigneter Messeinrichtungen gefordert.

Die Richtlinie VDI 4203 Blatt 4 gilt für alle Eignungsprüfungen optischer Fernmesseinrichtungen, die zur Überwachung der Luftqualität im geregelten Bereich vorgesehen sind. Diese Richtlinie ist nicht anwendbar auf einzelne Komponenten von Messeinrichtungen, weil die Eignungsprüfung sich stets auf vollständige Messeinrichtungen bezieht. Diese Richtlinie darf nur in Verbindung mit den Richtlinien VDI 4202 Blatt 2 und VDI 4203 Blatt 1 angewendet werden

VDI 3782 Blatt 5 (Entwurf): Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle -Depositionsparameter. Mai 2004. Einsprüche bis 31. August 2004. Erscheint in deutscher Fassung. € 55,20.

Die vorliegende Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 enthält theoretische Bestimmungsmethoden und aus Messungen abgeleitete Werte für die Depositionsgeschwindigkeit und die Auswaschraten von Aerosolen und Spurengasen. Diese Para-