

WinKFZ Verifikation nach VDI 3945 sowie Bemerkungen zum Programm

Juni 2009

Von der Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für die Berechnung von Schadstoffimmissionen und -emissionen

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	4
2. Grundlagen	4
3. Markow-Kette	6
4. Vorgehensweise	7
5. Homogenitätsanalysen nach VDI 3945	8
5.1. Homogene Turbulenz, konstanter Zeitschritt	8
5.2. Homogene Turbulenz, variabler Zeitschritt	9
5.3. Inhomogene Turbulenz, konstanter Zeitschritt.....	10
Konstante Windgeschwindigkeit	10
5.4. Inhomogene Turbulenz, variabler Zeitschritt.....	11
5.5. Parametrisierung der Turbulenz.....	12
Homogenitätstest für verschiedene Parametrisierungen	14
Test 1	14
Test 2	15
Test 3	16
Test 4	16
Test 5	17
Test 6	18
6. Deposition und Sedimentation nach VDI 3945	19
6.1. Trockene Deposition ohne Sedimentation	20
6.2. Sedimentation ohne Deposition	21
6.3. Deposition und Sedimentation	22
6.4. Nasse Deposition	23
7. Abgasüberhöhung	23
8. Geruchsausbreitung	23
9. Ausbreitung radioaktiver Stoffe	23
10. 3D-Windfeld - Rotor	24
11. 3D-Windfeld	24
12. Validierung von WINKFZ (AIR.LAG)	30
13. Modellvergleich der VOest Alpine Linz durch die Universität Graz	31
14. Literaturverzeichnis	35

15. Verzeichnis der Abbildungen.....	37
---	-----------

1. EINFÜHRUNG

Im Folgenden werden Untersuchungen zur Homogenität der Konzentrationsverteilung, die mit dem Lagrange Modell WINKFZ berechnet wurden, in Anlehnung an VDI 3495 Blatt 3 durchgeführt.

2. GRUNDLAGEN

Literatur zu dem hier verwendeten Ansatz für ein Lagrange-Modell auf der Basis eines Markow-Prozesses ist in dem Literaturverzeichnis Kap.14 zusammengestellt worden.

Die Anregungen zu dem Rechenprogramm WINKFZ sind diesen Quellen entnommen, wobei insbesondere auf /3/ hinzuweisen ist, in dem die Driftgeschwindigkeit

$$w_{n+1} = a \cdot w_n + b \cdot \sigma_w \cdot \eta_n + (1 - a) \cdot T_L \cdot \delta \sigma_w^2 / \delta z \quad (Gl.1)$$

mit $a = \exp(-\Delta t/T_L)$ und $b = (1 - a^2)^{1/2}$ sowie η , einer Gauss-verteilten Zufallszahl, abgeleitet wurde. Die Größe a stellt die Autokorrelation dar. Je stärker $a > 1$ geht, d.h. umso kleiner der Rechenzeitschritt Δt im Verhältnis zum Lagrange'schen Zeitmaßstab gewählt wurde, umso ähnlicher ist die Driftgeschwindigkeit w_{n+1} derjenigen zum Zeitpunkt n .

Die vertikale Geschwindigkeitsvarianz σ_w ist -wie auch der Lagrange'sche Zeitmaßstab T_L - aus Experimenten zu bestimmen. Dies stellt einen Nachteil im Hinblick auf die Übertragung von experimentellen Ergebnissen auf einen beliebigen Standort dar. Dennoch erlauben Lagrange-Modelle ein breiteres Anwendungsspektrum im Vergleich zu Gauss-Modelle oder auch Euler-Modellen insbesondere im Hinblick auf die Erfüllung der den spezifischen Problemen zugrunde liegenden Randbedingungen.

Dieser Ansatz, wie er in /3/ beschrieben wurde, wurde für WINKFZ übernommen.

Ein Homogenitätstest wurde in /3/ mit folgenden Eingabedaten durchgeführt:

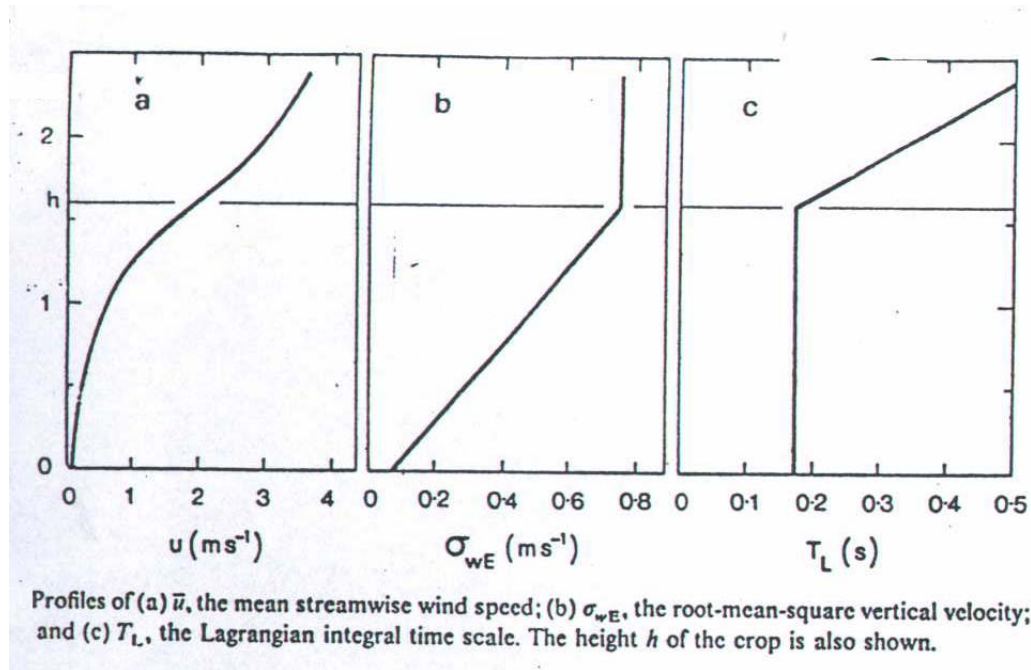


Abbildung 2-1: Eingabedaten zu dem Homogenitätstest in /3/

Das Ergebnis des Homogenitätstest ist der Abbildung 2-2 zu entnehmen. Es wird auf die Erläuterungen zu diesem Test in der Legende zu diesem Bild hingewiesen.

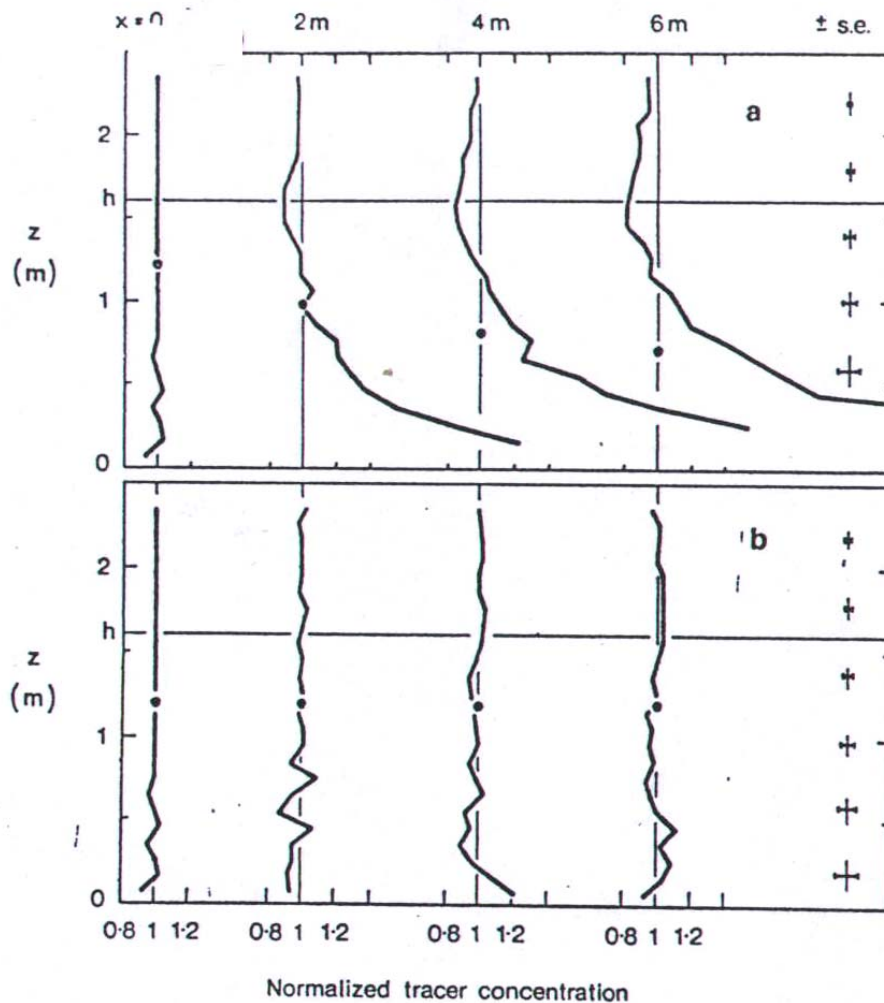


Fig. 2. Normalised profiles of tracer concentration and the height of the concentration centroid (●). Initial concentration profiles ($x = 0.0$ m) were chosen to be approximately uniform. Subsequent profiles were obtained from Markov chain simulations using (a) Equation (10); and (b) Equation (20) with the pressure term included. The symbols (—) show \pm one standard error and apply to all profiles after $x = 0.0$ m.

Abbildung 2-2: Homogenitätstest nach /3/

Die obere Abbildung 2-2 zeigt Schnitte zur Konzentrationsverteilung ohne den Beitrag der zusätzlichen Driftgeschwindigkeit, Term 3 in Gl. 1. Das untere Bild zeigt demgegenüber die Konzentrationsverteilung mit Berücksichtigung der Geschwindigkeitsvarianz. Die Profile sind dimensionslos mit dem Maximum von 1 und der Streuung zwischen 0.8 und 1.2 aufgetragen. Bei dieser Untersuchung lag das besondere Augenmerk auf die Höhe bis 2.4 m über Grund (crop canopy).

3. MARKOW-KETTE

Nach Wikipedia ist eine Markow-Kette eine spezielle Klasse eines stochastischen Prozesses. Man unterscheidet eine Markow-Kette in diskreter und Markow Prozesse in

stetiger Zeit. Derartige Prozesse erlauben, Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten zukünftiger Ereignisse anzugeben, wobei durch Kenntnis einer begrenzten Vorgeschichte ebenso gute Prognosen über die zukünftige Entwicklung möglich sind wie bei Kenntnis der gesamten Vorgeschichte des Prozesses. Im Falle einer Markow-Kette erster Ordnung heißt das: Die Zukunft des Systems hängt nur von der Gegenwart (dem aktuellen Zustand) und nicht von der Vergangenheit ab.

Im Folgenden wird die Technik von Markow-Ketten eingesetzt, um die zukünftige, stochastische Geschwindigkeitsverteilung in einem Feld auf der Basis von Anfangswerten zu bestimmen und darauf aufbauend Konzentrationsverteilungen zu berechnen.

Der stochastische Prozess lässt sich über normalverteilte Zufallszahlen abbilden. In dieser Arbeit werden mit Hilfe der Regel von Perceval aus gleichverteilten Zufallszahlen normalverteilte Zahlen generiert.

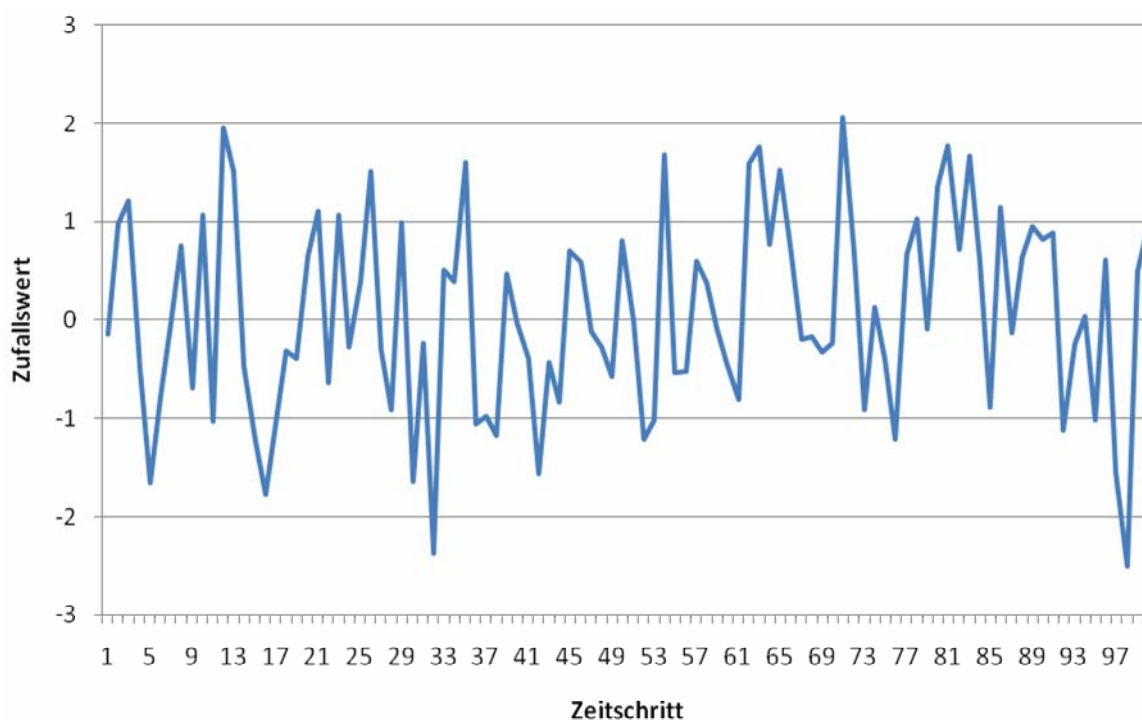


Abbildung 3-1: Markow Kette – normalverteilte Zufallszahlen

4. VORGEHENSWEISE

Es wurden für die folgenden Untersuchungen – soweit nicht anders vermerkt - in einem Rechengebiet von $x=200\text{m}$ und $z=200\text{m}$ längs der z-Achse stochastisch verteilt Punktquellen in Anlehnung an VDI 3945 definiert, von denen Teilchen mit einer Einheitsquellstärke emittiert wurden. Der obere Rand des Rechengebietes war undurchlässig, Teilchen wurden elastisch reflektiert. Der rechte Rand des Untersuchungsgebietes wurde als periodisch offen

modelliert. Die Gitterzelle in vertikaler Richtung wurde zu 5 m, die in horizontaler Richtung zu 10 m festgelegt.

Hier wie in den folgenden Beispielen wurden die in den Zellen berechneten Konzentrationen durch das berechnete Maximum dimensionslos gemacht und mit dem Faktor 100 multipliziert. Abweichungen von dem berechneten Maximum 100 weisen auf die modellinhärenten Streuungen hin. Der Bezug auf das berechnete Maximum von 100 stellt ein strenges Auswahlkriterium im Hinblick auf die Verdeutlichung der Streuung dar.

Die berechneten 20 Vertikalprofile (Feldgröße offen periodisch 200 m, Gitterweite 10m) wurden zu einem Mittelwert zusammengefasst und grafisch dargestellt.

5. HOMOGENITÄTSANALYSEN NACH VDI 3945

5.1. Homogene Turbulenz, konstanter Zeitschritt

Es wird den Berechnungen ein Geschwindigkeitsprofil der Form $u = u_0 (z/H)^m$ zugrunde gelegt, wobei z die Höhe über Grund und H die Messhöhe der Windgeschwindigkeit u_0 sowie m den Exponenten der Windgeschwindigkeit darstellt.

Die Berechnungen wurden bei homogener Turbulenz mit $\text{sig}_w=0.5$ [m/s] und $\text{tlag}_w=4$ [s] durchgeführt. Der Zeitschritt wurde zu $\Delta t=2$ s angenommen. Die Wahl von tlag_w und Δt sind im Hinblick auf den Autokorrelationskoeffizienten $R = \exp(-\Delta t / \text{tlag}_w)$ nicht günstig gewählt. Die Ergebnisse zeigen dennoch eine gute Homogenität.

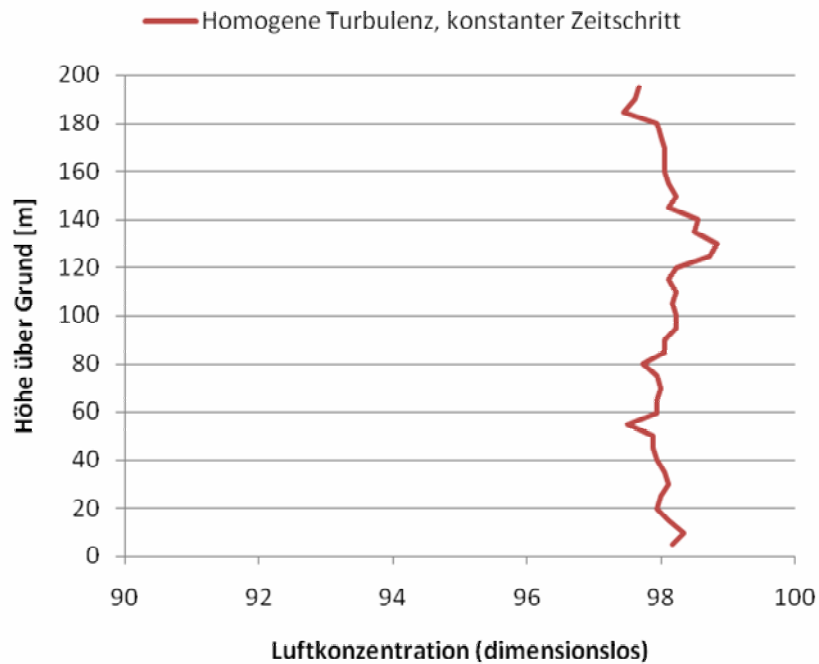


Abbildung 5-1: Homogenitätstest nach D1.1

Es ergeben sich Abweichungen vom Zielwert von bis zu 3%.

Bekanntlich lässt sich die Streuung durch eine größere Teilchenzahl reduzieren.

5.2. Homogene Turbulenz, variabler Zeitschritt

Es wird den Berechnungen wiederum ein Geschwindigkeitsprofil der Form $u = u_0 (z/H)^m$ zugrunde gelegt, wobei z die Höhe über Grund und H die Meßhöhe der Windgeschwindigkeit u_0 sowie m den Exponenten der Windgeschwindigkeit darstellt.

Die Berechnungen wurden bei homogener Turbulenz mit $\text{sigw}=0.5$ [m/s] und $t_{\text{lagw}}=4$ [s] durchgeführt. Der Zeitschritt wurde $\Delta t = 2+z/z_{\text{end}}*3$ vorgegeben, wobei z_{end} die obere Begrenzung des Rechengebiets mit $z_{\text{end}}=200$ [m] darstellt. Auch hier gilt das im Hinblick auf den Autokorrelationskoeffizienten oben Gesagte.

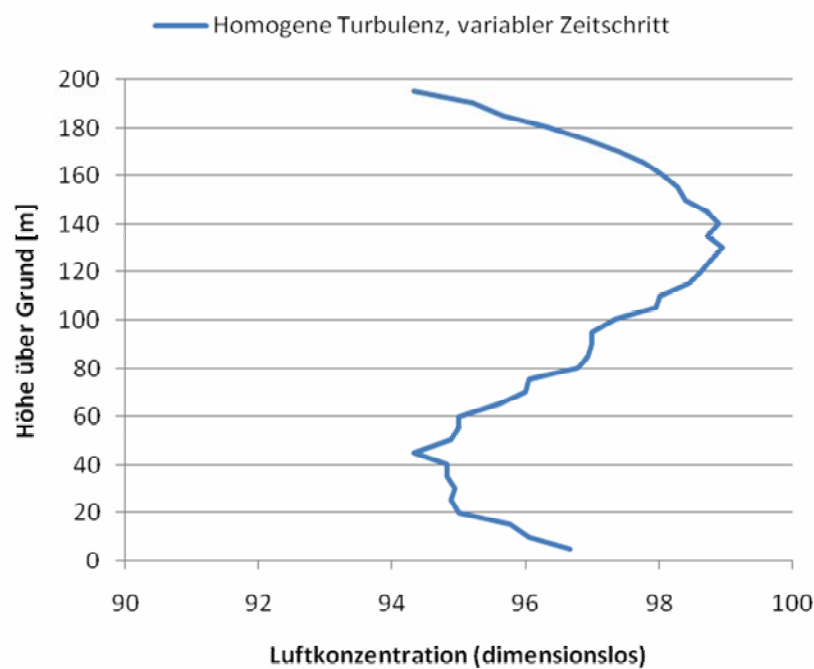


Abbildung 5-2: Homogenitätstest nach D1.2

Es ergeben sich Abweichungen vom Zielwert von bis zu 6%.

5.3. Inhomogene Turbulenz, konstanter Zeitschritt

Konstante Windgeschwindigkeit

Die inhomogene Turbulenz $\sigma_{gw} = \sigma_{gw}(z)$ und $\tau_{lagw} = \tau_{lagw}(z)$ wurde gemäß VDI 3495, Seite 47 implementiert. Der Rechenzeitschritt wurde durch $\Delta t = \text{const}$ bestimmt. Das Geschwindigkeitsprofil wurde zu $u = u_0 (z/H)^m$ definiert.

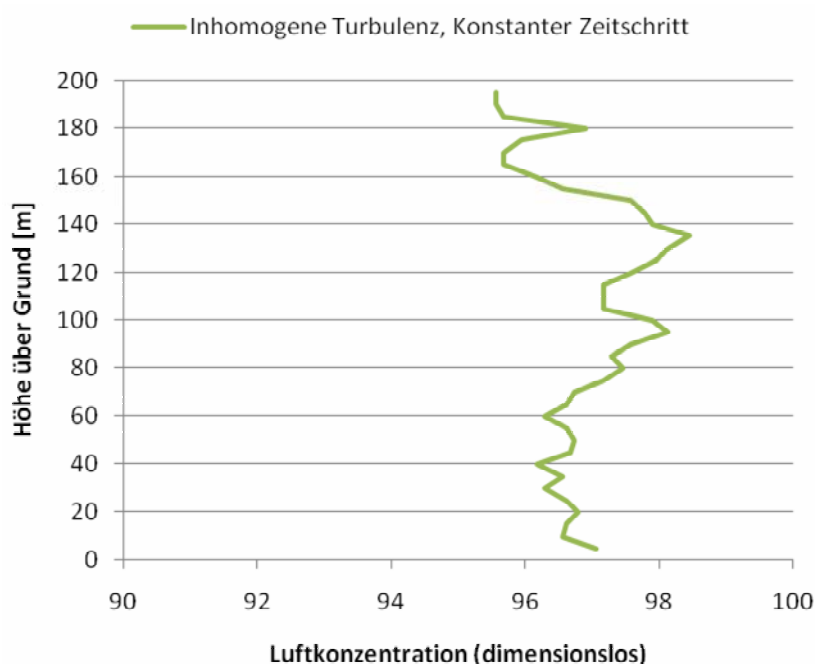


Abbildung 5-3: Homogenitätstest nach D1.3

Es ergeben sich Abweichungen vom Zielwert von bis zu 5 %.

5.4. Inhomogene Turbulenz, variabler Zeitschritt

Die inhomogene Turbulenz $\text{sig}_w = \text{sig}_w(z)$ und $\text{flag}_w = \text{flag}_w(z)$ wurde gemäß VDI 3495, Seite 47 implementiert. Der Rechenzeitschritt Δt wurde variable - am unteren Rand $\Delta t = 2$ s bis zum oberen Rand $\Delta t = 20$ s – gehalten. Das Geschwindigkeitsprofil wurde über $u = u_0 (z/H)^m$ ermittelt.

Die Rechnungen ergaben eine unbefriedigende Homogenität, die durch eine zu hohe Teilchenzahl am oberen Rand geprägt war. Nachdem die Größe $\delta \sigma_w^2 / \delta z$ (vgl. Term 3 der Gl. 1) gemäß der vorliegenden Parametrisierung im Untersuchungsgebiet grundsätzlich negativ war, wurde eine größere Homogenität durch eine (willkürliche) Verdoppelung dieses Parameters erzielt.

Im VDI Referenzmodell ist die Driftgeschwindigkeit gemäß der Fokker-Planck Gleichung durch

$$\overline{w}(t) = \delta (T_L \cdot \sigma_w^2) / \delta z = T_L \cdot \delta (\sigma_w^2) / \delta z + \sigma_w^2 \cdot \delta T_L / \delta z \quad (\text{Gl.2})$$

definiert worden. Diese unterscheidet sich aber in den einzelnen Termen von Gleichung (Gl. 1) des Ansatzes nach Legg&Raupach, so dass eine unmittelbare Zuordnung der einzelnen Terme nicht gegeben ist. Die Gleichungen (D1) – D(3) der VDI Richtlinie erfüllen

offensichtlich nicht den Ansatz (Gl.1), da der Rechenzeitschritt alle Terme von Gleichung (Gl.1) substantiell beeinflusst.

Deshalb ist auch von einer Unterscheidung der Lösungen bei veränderlichem Zeitschritt auszugehen.

Um die Homogenität des Modells WINKFZ trotz der bestehenden Unterschiede zu demonstrieren, wurden deshalb die Parametrisierungen, wie sie auch in dem Modell tatsächlich benutzt werden und die aus Experimenten resultieren, einer Überprüfung unterzogen.

5.5. Parametrisierung der Turbulenz

Im Folgenden soll die Homogenität der Konzentrationsverteilung auf der Basis von aus Experimenten abgeleiteten Parametrisierungen der Geschwindigkeitsvarianzen und Zeitmaßstäbe überprüft werden. Dabei werden Parametrisierungen herangezogen, die aus den Experimenten Ashchurch und Minnesota entwickelt und u.a. in /13/ veröffentlicht wurden. Grafische Darstellungen zu diesen Parametrisierungen sind in Abbildung 5-4 und Abbildung 5-5 bis zu der Höhe von $H=200$ m entsprechend der Größe des hier gewählten Untersuchungsraumes enthalten. Knicke des Kurvenverlaufes resultieren aus dem matching verschiedener Lösungen für die Bereiche z/H_{misch} , wobei z die vertikale Partikelposition und H_{misch} die Mischungs- bzw. Inversionshöhe bedeutet.

Diese Parametrisierungen werden in WINKFZ herangezogen.

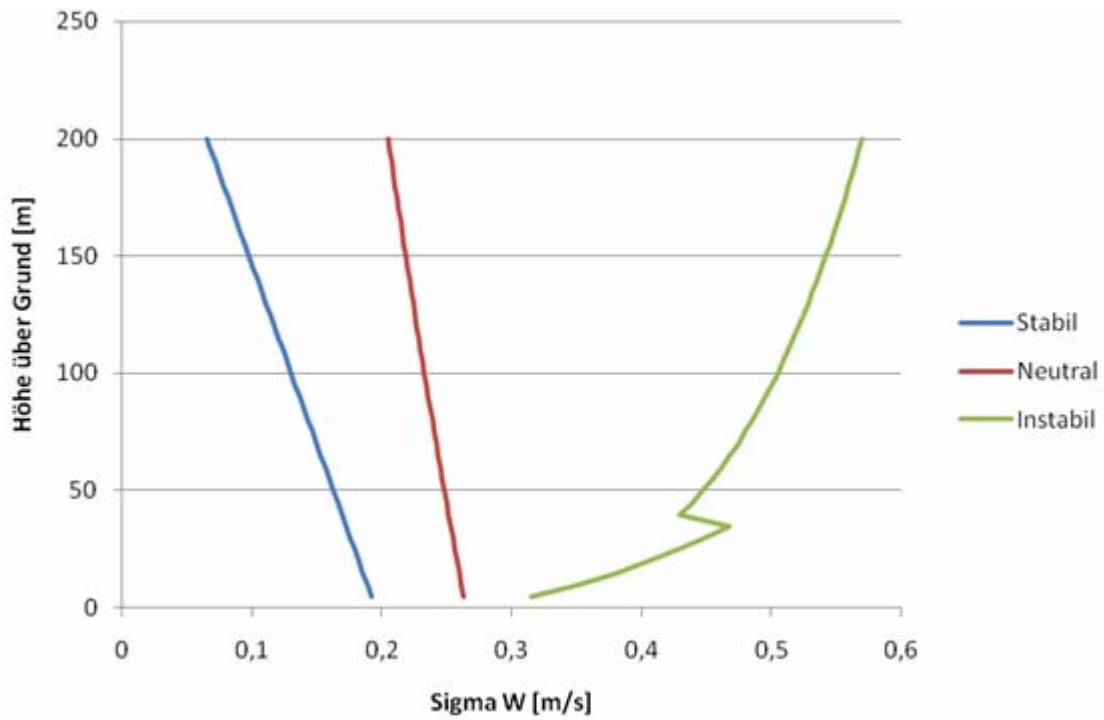


Abbildung 5-4: Parametrisierung der Geschwindigkeitsfluktuation nach /13/

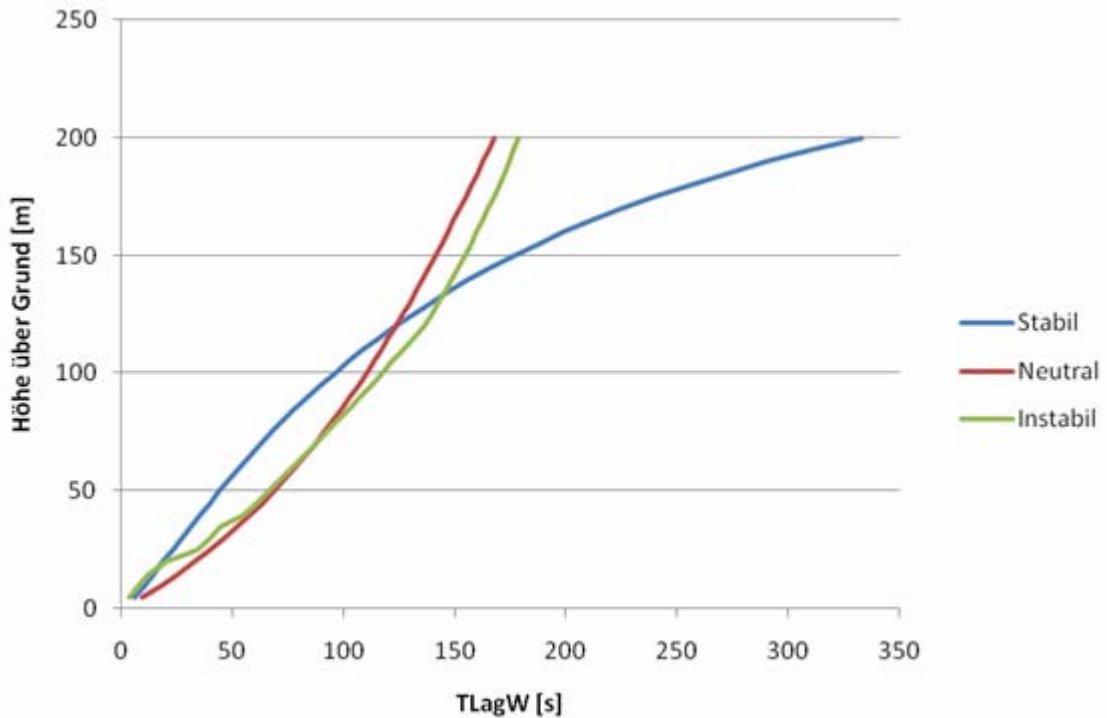


Abbildung 5-5: Parametrisierung des Lagrange Zeitmaßstabes nach /13/

Homogenitätstest für verschiedene Parametrisierungen

Die im Folgenden herangezogenen Parametrisierungen für den vertikalen Lagrange'schen Zeitmaßstab T_L und die Geschwindigkeitsvarianz σ_w sind der Praxis entnommen und beinhalten Parameter wie u^* , w^* , der Monin-Obukhov Länge oder der Mischungsschichthöhe, die die Meteorologie der unteren Atmosphäre beschreiben. Es sind somit keine „synthetischen“ Parametrisierungen. Es ist deshalb auch zu erwarten, dass die daraus abgeleiteten Kurvenverläufe einen unruhigeren Verlauf aufweisen als die der VDI Richtlinie.

Die in /13/ veröffentlichten Parametrisierungen für die Geschwindigkeitsvarianzen und die Lagrange'schen Zeitmaßstäbe wurden für den folgenden, ersten Homogenitätstest herangezogen. Diese Parametrisierungen wurden – wie bereits erwähnt – aus den Experimenten von Ashchurch und Minnesota abgeleitet.

Im Hinblick auf die Darstellung wurden die in den Zellen ermittelten Konzentrationswerte durch das Maximum dimensionslos gemacht und auf den Wert von 100 bezogen. Nachdem 20 Vertikalprofile im Bereich 0-200 m bei einer Gittergröße von $\Delta x=10$ m berechnet wurden, wurde der Mittelwert aller Profile berechnet und aufgetragen.

Allen folgenden Berechnungen wurde ein Windprofil der Form $u = u_0 (z/H)^m$ und ein Zeitschritt von $\Delta t=0.2 \cdot t_{lag_w}$ zugrunde gelegt. Damit ist ein konstanter Autokorrelationskoeffizient von $R=0.818$ den Berechnungen zugrunde gelegt.

Test 1

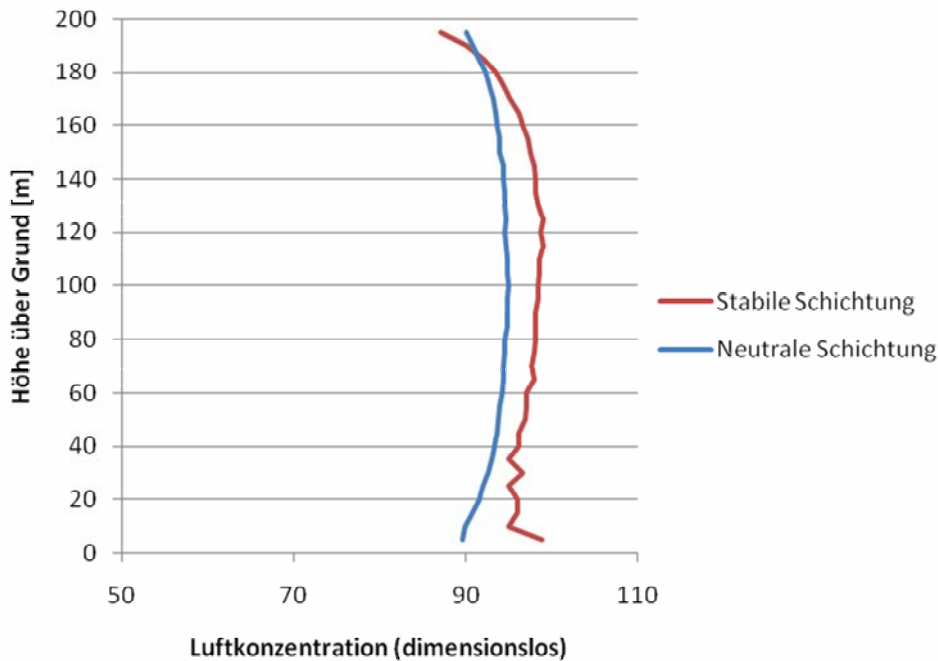


Abbildung 5-6: Homogenitätstest für verschiedene Schichtungen

Die Berechnungen wurden gemäß /13/ mit Annahmen der Form $\sigma_w = \sigma_w(z)$ und $T_L = T_L(z)$ durchgeführt.

Bei der stabilen Schichtung wurde der Zielwert von 100 mit einer Abweichung von weniger als 5% erreicht, bei der neutralen Schichtung lag die Abweichung vom Zielwert an den Rändern bei bis zu 10%.

Test 2

In einem weiteren Test wurden Parametrisierungen der Form $\sigma_w = \sigma_w(z)$ und $T_L = \text{const}$ den Berechnungen zugrunde gelegt:

Die Berechnungen wurden mit Berücksichtigung und ohne Berücksichtigung der Zusatzdrift – vgl. Term 3 der Gl. 1 – durchgeführt.

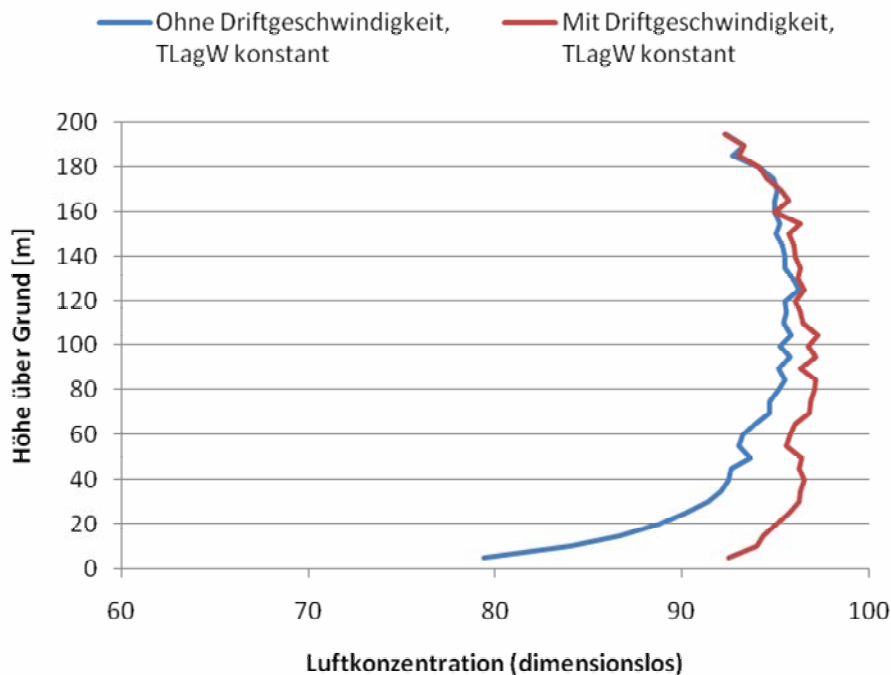


Abbildung 5-7: Parametrisierung - Inhomogene Turbulenz

$$\sigma_w = \sigma_w(z), \quad T_{lagw} = \text{const}$$

Die Abweichungen vom Zielwert liegen –wenn man korrekterweise die Zusatzdrift berücksichtigt - bei bis zu ca. 6%. Durch eine höhere Teilchenzahl ließe sich eine Glättung der Kurven erzielen.

Test 3

In einem weiteren Test wurden Parametrisierungen der Form $\sigma_w = \sigma_w(z)$ und $T_L = T_L(z)$ den Berechnungen zugrunde gelegt. Die Berechnungen wurden mit Berücksichtigung und ohne Berücksichtigung der Zusatzdrift – vgl. Term 3 der Gl. 1 – durchgeführt.

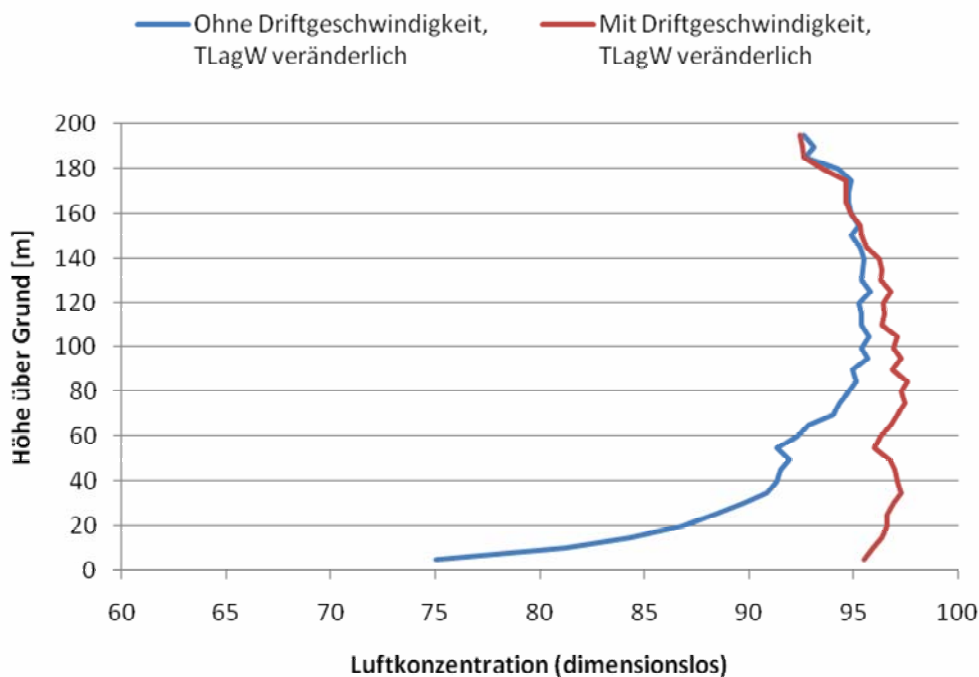


Abbildung 5-8: Parametrisierung - Inhomogene Turbulenz

$$\sigma_w = \sigma_w(z), \quad T_{lag_w} = T_{lag_w}(z)$$

Unter Berücksichtigung der Zusatzdrift liegen die Abweichungen vom Zielwert bei bis zu 6%.

Test 4

Der Berechnung lag der Ansatz $\sigma_w = a \cdot (1 - z/h_{mix})^\alpha$, $T_L = b \cdot h_{mix}/\sigma_w$, mit a , α und b Konstanten und h_{mix} der Mischungsschichthöhe zugrunde.

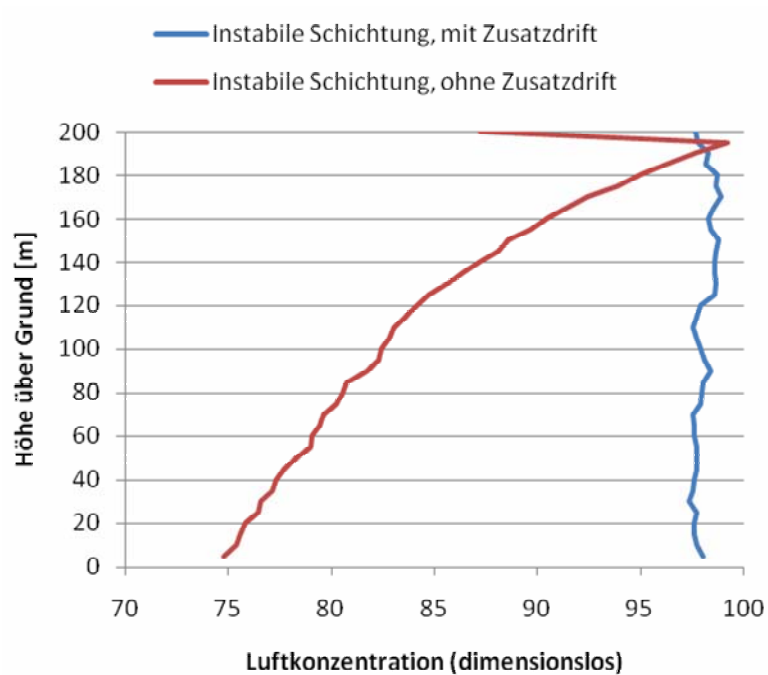


Abbildung 5-9: Parametrisierung - Instabile Schichtung und inhomogene Turbulenz

$$\sigma_w = \sigma_w(z), \quad T_{lag_w} = T_{lag_w}(z)$$

Die Abweichungen vom Zielwert liegen bei bis zu 3%.

Test 5

Der Berechnung lag der Ansatz $\sigma_w = a \cdot \exp(-z / h_{mix})$, $T_L = b \cdot z / \sigma_w$, mit a und b Konstanten und h_{mix} der Mischungsschichthöhe zugrunde.

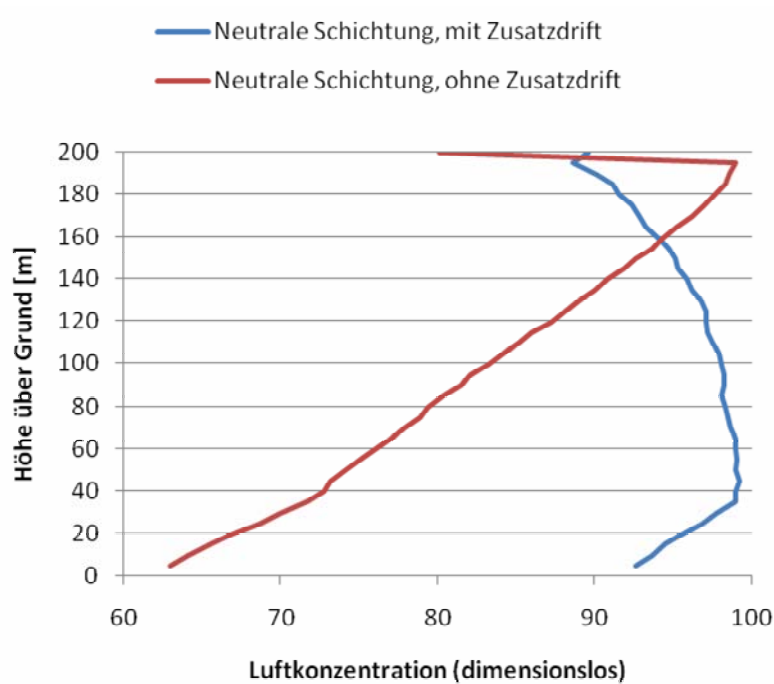


Abbildung 5-10: Parametrisierung - Neutrale Schichtung und inhomogene Turbulenz

$$\sigma_w = \sigma_w(z), \quad T_{lag_w} = T_{lag_w}(z)$$

Die Abweichungen vom Zielwert liegen an den Rändern bei bis zu 10%, im Mittel bei ca. 5%.

Test 6

Der Berechnung lag der Ansatz $\sigma_w = a \cdot (1 - z/h_{mix})$, $T_L = b \cdot z / \sigma_w$, mit a und b Konstanten und h_{mix} der Mischungsschichthöhe zugrunde.

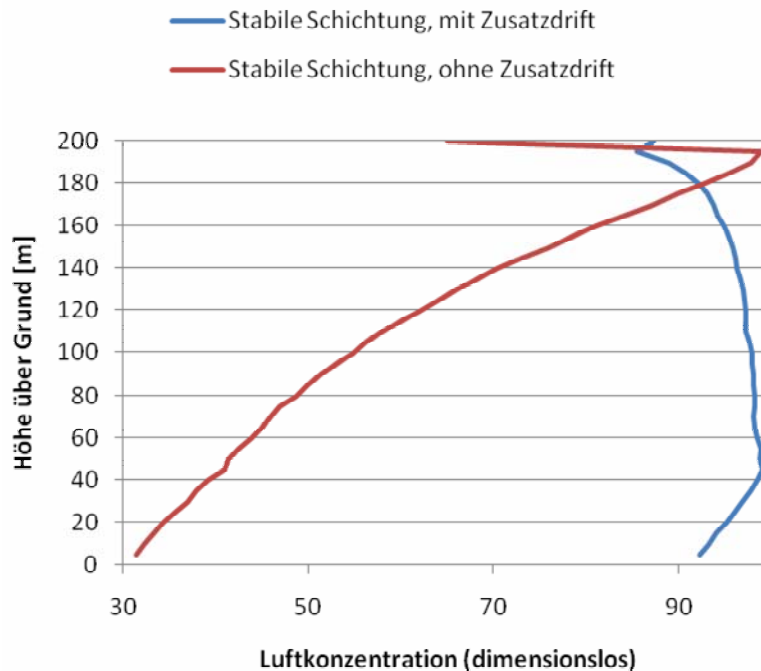


Abbildung 5-11: Parametrisierung - Stabile Schichtung und inhomogene Turbulenz

$$\sigma_w = \sigma_w(z), \quad Tlag_w = Tlag_w(z)$$

Die Abweichungen vom Zielwert liegen an den Rändern bei bis zu 10%, im Mittel bei ca. 4%.

Bei allen Darstellungen ist der Einfluss der Zusatzdrift auf die Homogenität der Konzentrationsverteilung, vgl. Term 3 der Gleichung (Gl.1), dominant.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die gewählten Parametrisierungen, die aus Experimenten bzw. der Praxis abgeleitet wurden, eine befriedigende Homogenität der Konzentrationsverteilung liefern.

6. DEPOSITION UND SEDIMENTATION NACH VDI 3945

Die Sedimentationsgeschwindigkeit wird der Driftgeschwindigkeit unmittelbar überlagert. Sie ist eine Stoff-spezifische Größe und hängt u.a. von der Form, Größe und dem spezifischen Gewicht der Schadstoffensembles ab.

Die Deposition hängt von meteorologischen Parametern, der Form und Struktur des Untergrundes (Bewuchs, Belaubung) sowie auch von der Form, Größe und dem spezifischen Gewicht des sich ablagernden Stoffes ab.

Der in der VDI Richtlinie erläuterte Ansatz zur Deposition (Gleichung 28) enthält als Eingangsgrößen die Sedimentationsgeschwindigkeit, die vertikale Streuung in Bodennähe und die Depositionsgeschwindigkeit, jedoch nicht die Zeit z.B. in der Form des Rechenzeitschrittes. Die Annahme gemäß Gl. 21 der VDI Richtlinie hat zur Folge, dass Teilchen unbeschadet ihrer Verweildauer in Bodennähe ein durch ein Exponentialgesetz definiertes Maß an Masse verlieren.

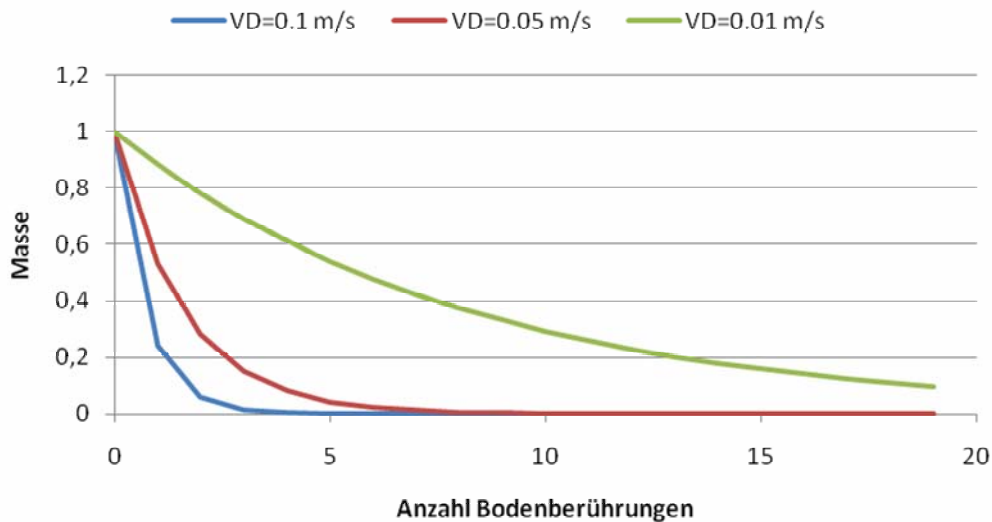


Abbildung 6-1: Deposition - Abnahme der Masse nach VDI 3945 Gl. 28

Die Grafik zeigt, dass für den Fall $vd=0.05$ m/s ein Teilchen bei der ersten Bodenberührung bereits ca. 50 % an Masse verloren hat. Dies wirkt sich sehr ungünstig im Falle einer in Bezug zum Emissionsmassenstrom geringen Teilchenzahl aus. Es werden dadurch sogenannte "hot spots" mit hoher Bodenbelastung simuliert. Eine bei allen Bodenberührungen gleich große Reduzierung der Teilchenmasse wäre ein überlegenswerter Ansatz.

6.1. Trockene Deposition ohne Sedimentation

Es wurde der in der VDI Richtlinie definierte Ansatz zur Sedimentation und Deposition den Berechnungen zugrunde gelegt.

Es wurde die Ausbreitung bei homogener Turbulenz mit konstantem Zeitschritt und im Feld konstanter Windgeschwindigkeit berechnet, wobei die Quelle am oberen Rand des Untersuchungsgebietes vorgegeben wurde.

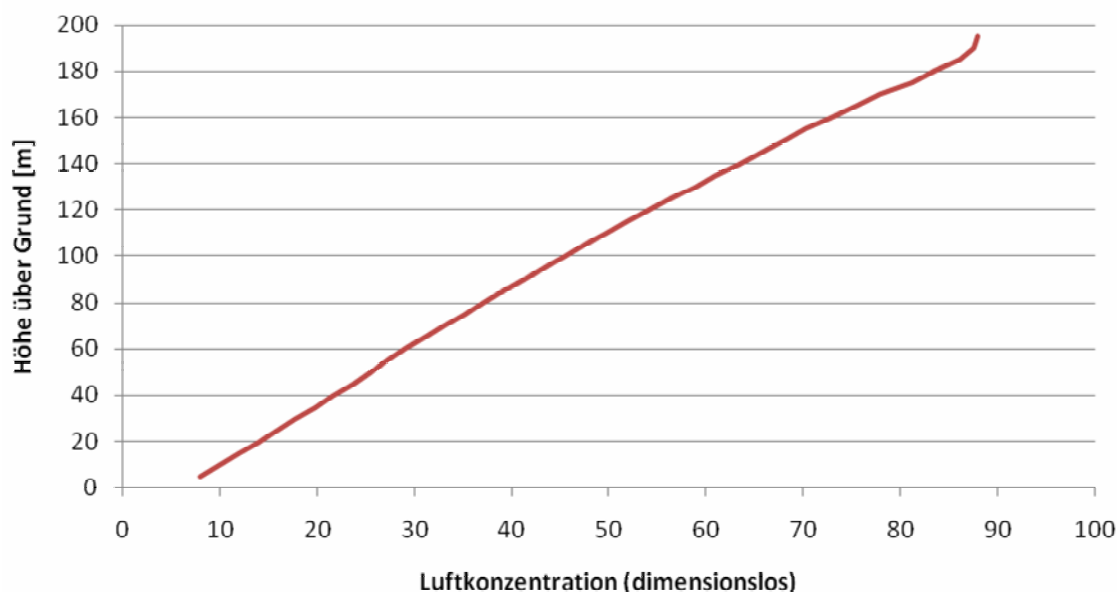


Abbildung 6-2: Deposition ohne Sedimentation - Ausdünnung der Fahne durch Deposition

Bei der Berechnung der Deposition ohne Sedimentation wurde die die Fahne ausdünnende Konzentration gesondert ausgewiesen. Die Summe aus Boden- und Luftkonzentration entsprach dem emittierten Emissionsmassenstrom.

6.2. Sedimentation ohne Deposition

In Anlehnung an Punkt D2.2 der VDI Richtlinie wurde die Sedimentation ohne Deposition gerechnet. Dabei wurde von einer Quelle am oberen Rand des Untersuchungsgebietes eine konstante Emission modelliert und die Ausbreitung unter der Randbedingung einer homogenen Turbulenz berechnet.

Es wurde ein Windprofil der Form $u = u_0 (z/H)^m$ mit $u_0 = 2 \text{ m/s}$ und ein Zeitschritt von $\Delta t = 2 \text{ s}$ angenommen. Die Sedimentationsgeschwindigkeit wurde mit $v_s = 0.01 \text{ m/s}$ vorgegeben.

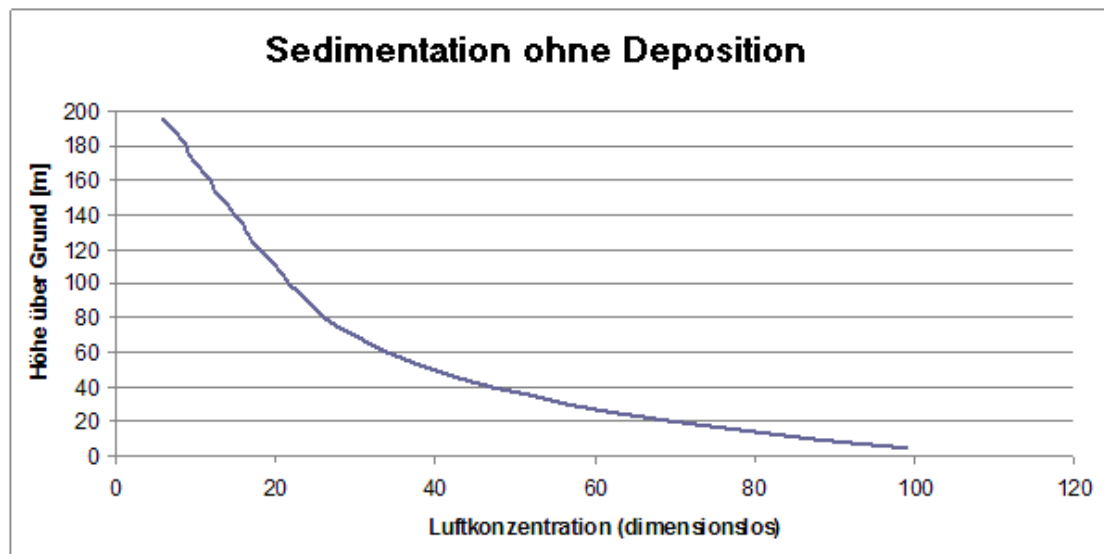


Abbildung 6-3: Sedimentation ohne Deposition - konstante Turbulenz

Die Konzentration aller Rechenzellen wurde ermittelt. Die Auswertung des Konzentrationsfeldes ergab, dass der emittierte Massenstrom der Summe der Konzentrationen in allen Rechenzellen entspricht.

6.3. Deposition und Sedimentation

In Anlehnung an das Bild D11 der VDI Richtlinie wurde aus einer Quelle am oberen Rand des Untersuchungsgebietes ($x=0$, $z=200$ m) kontinuierlich Masse emittiert und die Ausbreitung in einem homogenen Turbulenzfeld ($\sigma_w = 0.5$ m/s und $T_L = 4$ s) bei einem konstanten Rechenzeitschritt $\Delta t=1$ s berechnet. Es wurde die Sedimentationsgeschwindigkeit von $v_s=0.05$ m/s und die Depositionsgeschwindigkeit von $v_d = 0.05$ m/s den Berechnungen zugrunde gelegt. Es stellte sich ein konstantes Konzentrationsprofil ein, vgl. Abbildung 6-4.

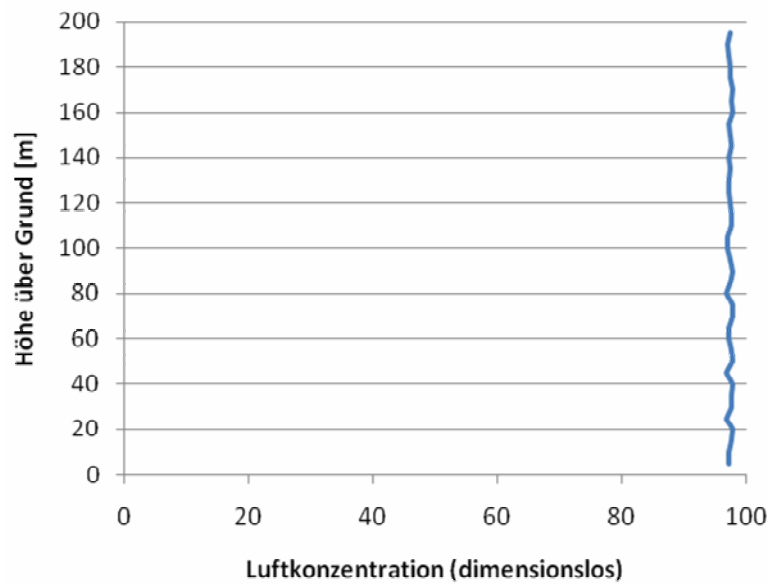


Abbildung 6-4: Sedimentation mit Deposition

6.4. Nasse Deposition

Die nasse Deposition (wet removal) ist gegenwärtig nicht in WINKFZ implementiert..

7. ABGASÜBERHÖHUNG

Zur Berechnung der Abgasüberhöhung von Kaminableitungen werden die Formeln gemäß TA Luft herangezogen.

Darüber hinaus besteht eine Option, die Abgasüberhöhung von Kaminableitungen nach ÖNORM M 9440 sowie die von Kühlturmschwaden in Anlehnung an VDI 3784 durchzuführen.

8. GERUCHSAUSBREITUNG

Die Option Geruchsausbreitung ist nicht implementiert.

9. AUSBREITUNG RADIOAKTIVER STOFFE

Die Option Ausbreitung radioaktiver Stoffe ist nicht im Modell WINKFZ implementiert. Wir weisen jedoch auf unsere mehrjährige Tätigkeit bei der Überwachung von kerntechnischen Anlagen in Bayern für das Bayerische Staatsministerium hin.

10. 3D-WINDFELD - ROTOR

Eigene Testrechnungen bestätigen die Grafik D17. Durch Reduzierung des Rechenzeitschrittes lässt sich jedoch die vertikale Drift bis auf Null verringern. Dies ist aus Rechenzeitgründen nicht notwendigerweise opportun.

11. 3D-WINDFELD

Es wird ein 3-D Windfeld in Form eines Preprozessors vor dem Lagrange-Ausbreitungsmodell eingesetzt, dass die Geländeform, Gebäude sowie beliebig viele meteorologische Informationen zu verarbeiten vermag. Das Windfeldprogramm ist somit ein diagnostisches Windfeldprogramm und stellt ein Derivat von CALMET /19/ dar. Das Programm löst nicht die Navier Stokes Gleichung und stellt nur eine intelligente Inter- und Extrapolation der gegebenen Windfeldinformationen unter Berücksichtigung der Gelände- und Gebäudestrukturen dar. Es werden die Massenerhaltung sowie meteorologische Grundsätze beachtet. Es wird selbstverständlich kein „exaktes“ 3-D Windfeld berechnet.

Obgleich die Verifikation eines Windfeldprogramms nur durch Experimente erfolgen kann, sollen die nachfolgenden grafischen Darstellungen zumindest die Plausibilität der Berechnungen aufzeigen.

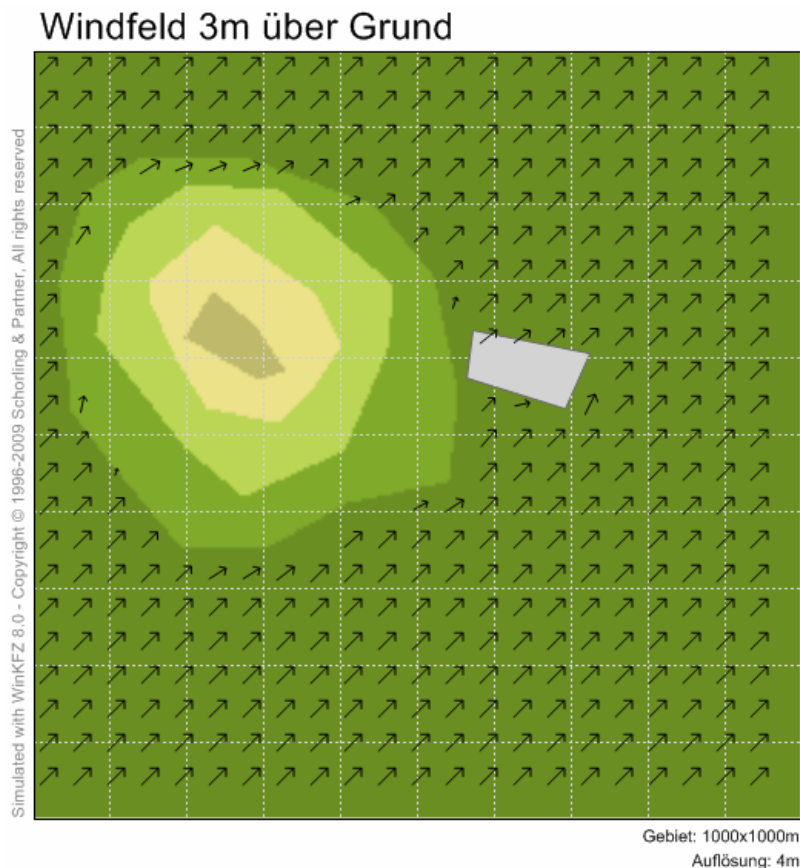


Abbildung 11-1: Beispielsrechnung Windfeldmodell - Hügel und Gebäude

Abbildung 11-1 zeigt einen Schnitt in Bodennähe und weist das Windfeld mit der Umströmung eines Hügels sowie einer großen Gebäudestruktur aus. Im Ausbreitungsmodell wird entschieden, inwieweit der jeweilige Windvektor mit dem Gelände bzw. den Gebäuden verträglich ist, um eine Umströmung bzw. eine Überströmung zu gewährleisten.

Die folgenden Darstellungen zeigen das Zusammenwirken von Windfeldprogramm und Lagrange-Ausbreitungsmodell.

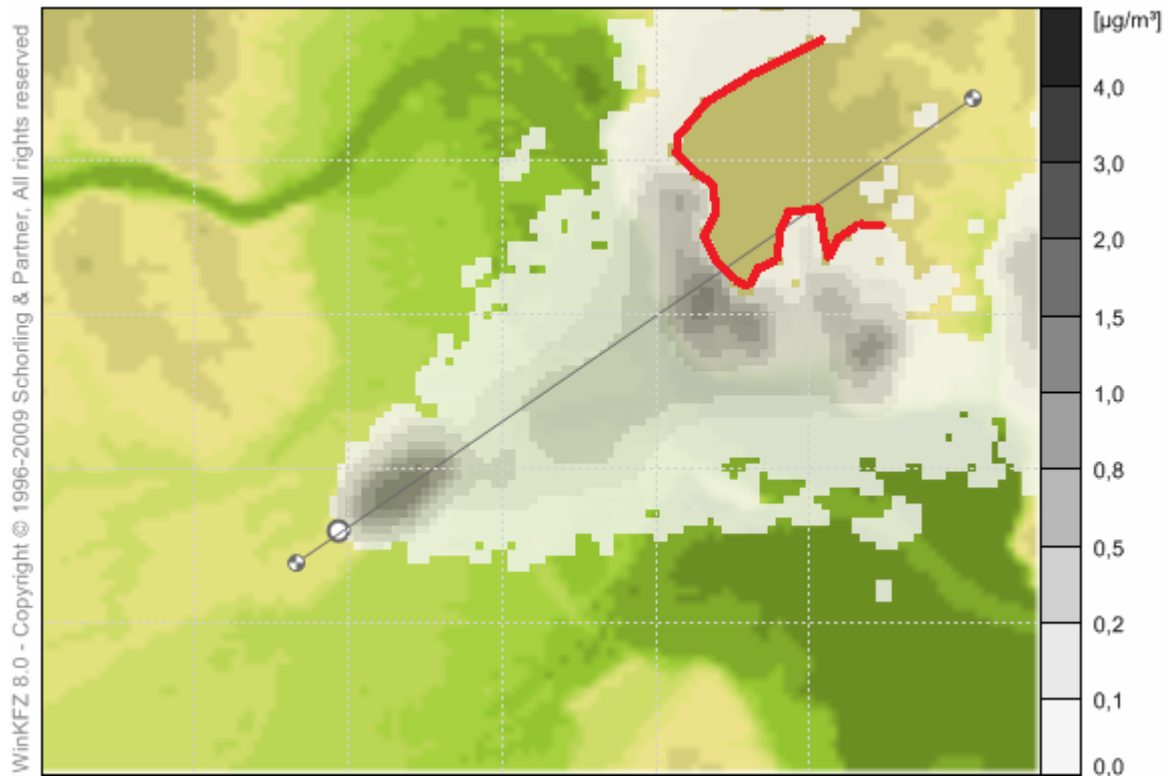


Abbildung 11-2 : Umströmung eines Hanges bei Windrichtung um 225 Grad

Die Hangstruktur ist in Abbildung 11-2 rot nachgezeichnet. Die Emission erfolgt aus einem Kamin von 30 m Höhe. Das Konzentrationsfeld ist durch die Hangstruktur geprägt.

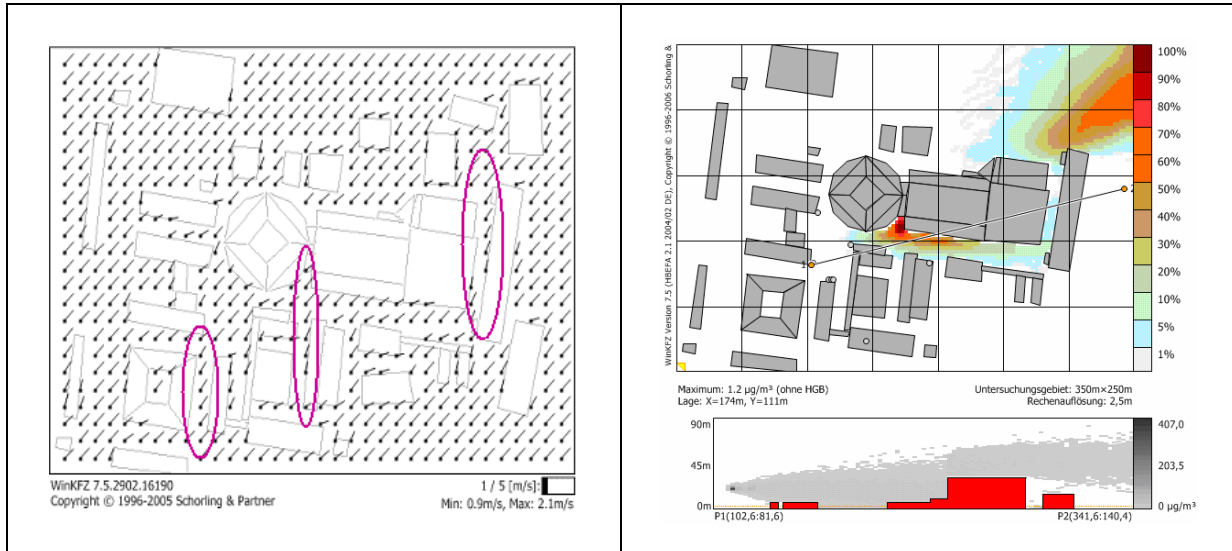


Abbildung 11-3: Kanalisierung der Strömung (links),

Konzentrationsfelder (x-y und x-z Schnitt) in bebautem Gelände (rechts)

Die obige Abbildung 11-3 zeigt die simulierte Strömung in bebautem Gelände, die aufgrund der Modellstruktur des eingesetzten Windfeldprogramms keine Lee-Wirbel aufweist. Es zeigen sich jedoch hinsichtlich der Konzentrationsverteilung beruhigte Zonen hinter Gebäuden.

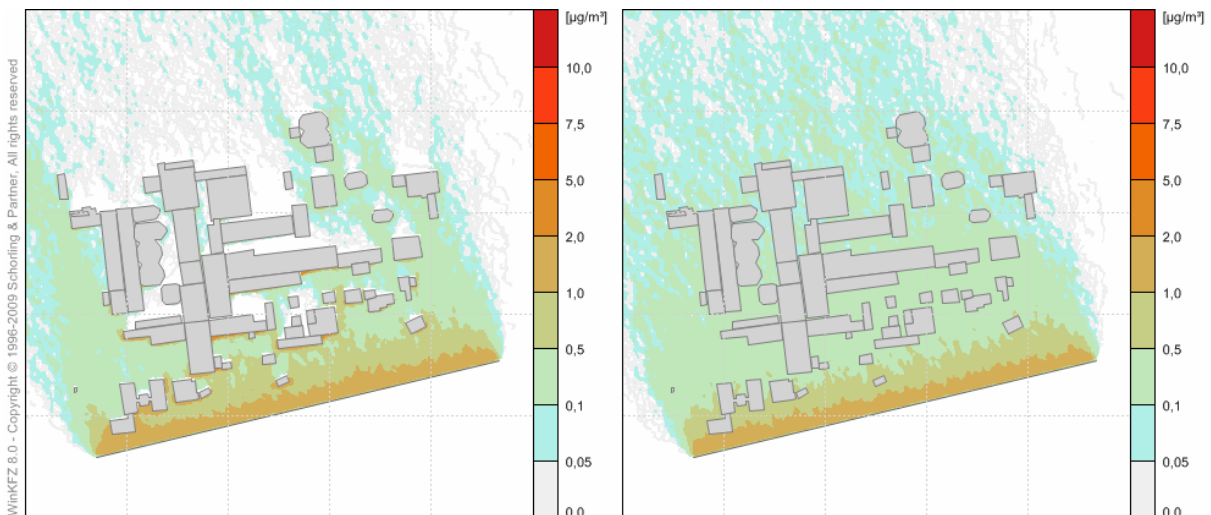


Abbildung 11-4: Konzentrationsverteilung hinter einer Linienquelle,

mit (links) und ohne(rechts) Berücksichtigung der Bebauung

Die Konzentrationsverteilung in Abbildung 11-4 (links) zeigt die beruhigten Zonen hinter Gebäuden.

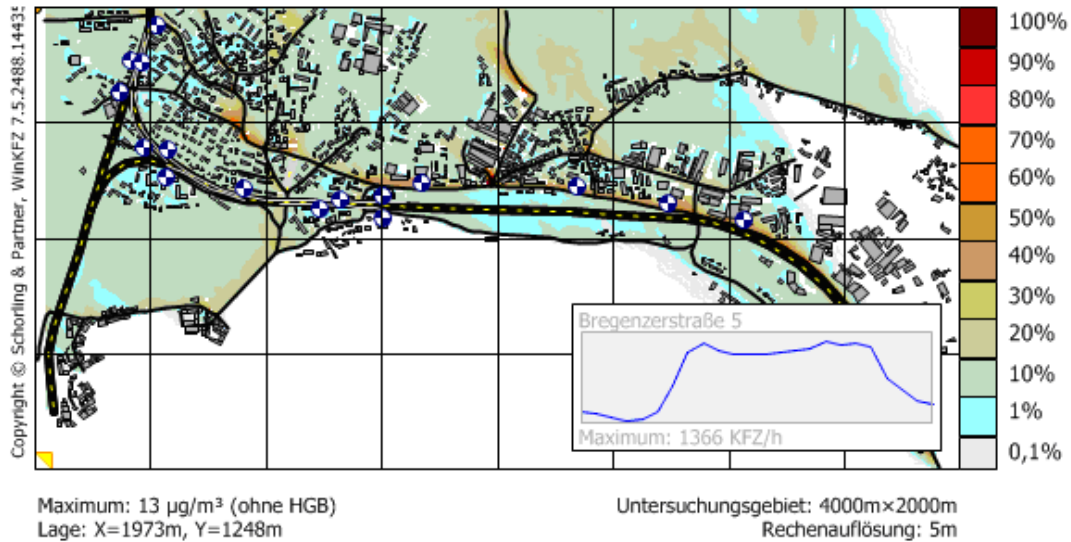


Abbildung 11-5: Immissionsbelastung Schiene – Strasse Eisenbahnknotenpunkt Lindau

Gemäß Abbildung 11-5 sind die Immissionsbelastungen des Schienen- und Strassenverkehrs zusammengefasst worden.

In Strassenschluchten können nach Lösung der linearisierten Navier Stokes Gleichung Lee-Wirbel simuliert werden:

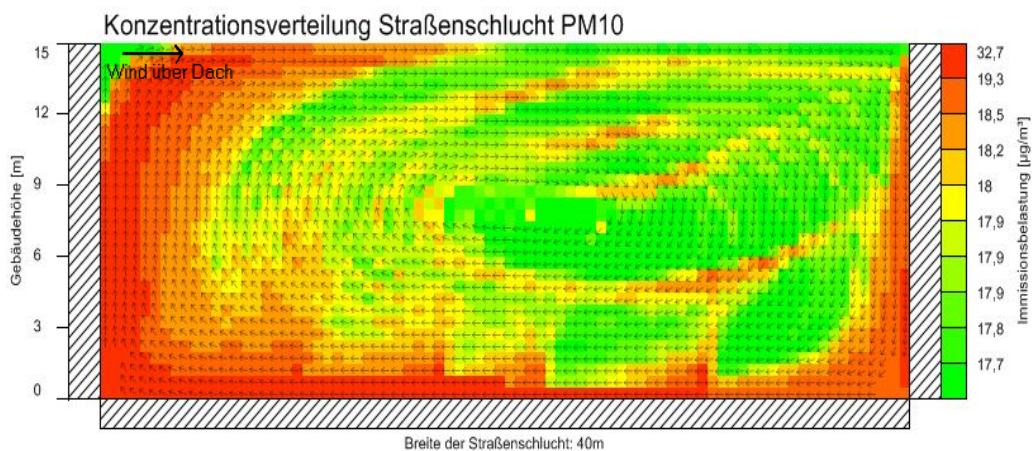


Abbildung 11-6: Lee-Wirbel in Strassenschluchten

Die obige Abbildung 11-6 zeigt bei beidseitiger Bebauung der Höhe von 15 m einen x-z Schnitt der Strasse mit 4 Linienquellen unterschiedlicher Emissionsrate. Leeseitig (links im Bild) ist die deutliche Erhöhung der Konzentration zu erkennen.

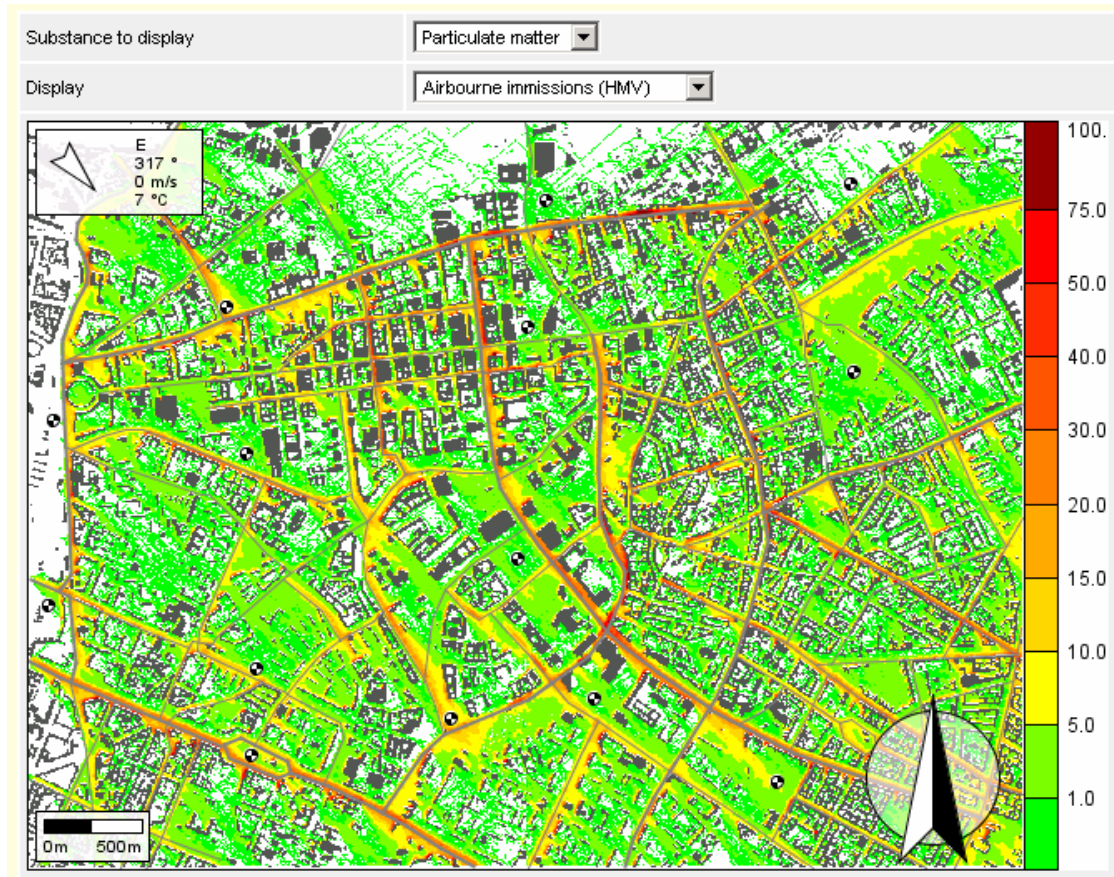


Abbildung 11-7: Immissionsverteilung in einer Großstadt – 15 min Mittelwert

Abbildung 11-7 zeigt die durch den Verkehr induzierte Immissionsverteilung in einer Großstadt. Die Länge der Strassen betrug ca. 100 km, das Untersuchungsgebiet hatte die Größe von 7.5*5 km². Die Berechnung wurde im Online Betrieb im Rhythmus von 15 min auf der Basis stetig einfließender Eingabedaten zum Verkehr und zur Meteorologie durchgeführt.

Die Anwendung gemäß Abbildung 11-7 ist web-orientiert. Es liegt eine master-client Applikation vor, so dass Daten auch über Telefon von dem Server abgerufen werden können:



Abbildung 11-8: Online Monitoring – Abruf von Daten über Telefon

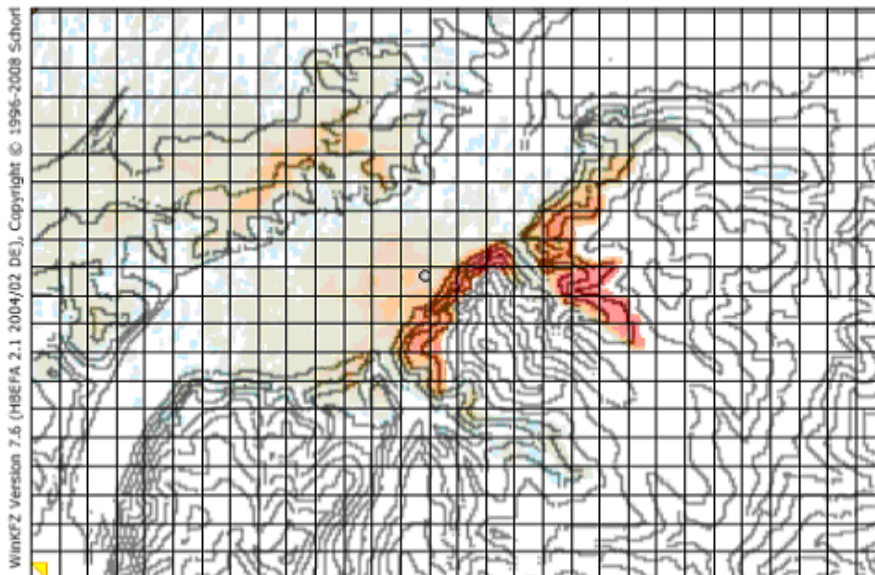


Abbildung 11-9: Konzentrationsverteilung nach Kaminfreisetzung in steilem Gelände

Abbildung 11-9 zeigt einen korrelierten Stundenmittelwert der Konzentrationsverteilung, der im Rahmen der Berechnung eines Tagesmittelwertes berechnet wurde. Er enthält somit

auch die Vorgeschichte der Konzentrationsverteilungen. Der Einfluss der Geländestruktur wird in dieser Darstellung verdeutlicht.

Es soll schließlich noch auf den Einfluss der Korrelation der Stundenmittelwerte auf einen Tagesmittelwert oder den Jahresmittelwert hingewiesen werden.

In der folgenden Darstellung Abbildung 11-10 sind zwei Vergleichsrechnungen einander gegenübergestellt, wobei der Jahresmittelwert auf der Basis korrelierter Stundenmittelwerte (blau) und nicht korrelierter Stundenmittelwerte (rot) berechnet wurde. Die in einem Netz der Größe von $n \cdot m$ Gitterzellen berechneten bodennahen Konzentrationswerte wurden der Größe nach sortiert und gemäß Abbildung 11-10 dimensionslos aufgetragen. Den Berechnungen lag ein ebenes Gelände zugrunde. Es wurden die Berechnungen für verschiedene Jahrgänge zur Meteorologie unterschiedlicher Standorte durchgeführt.

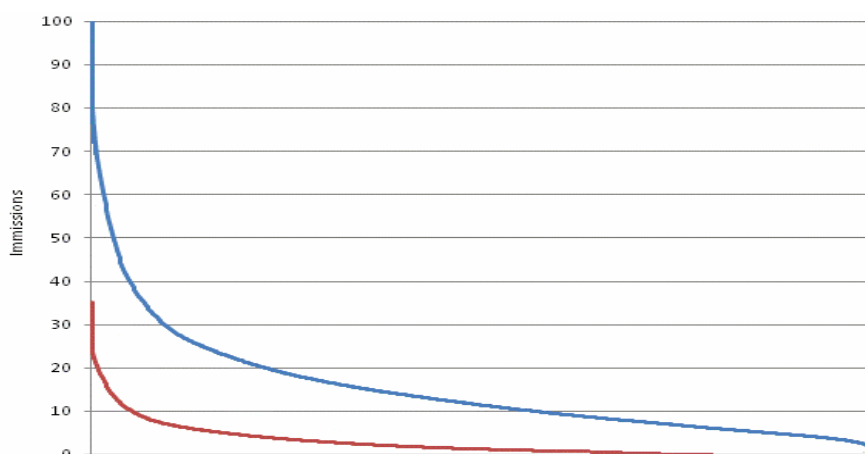


Abbildung 11-10: Einfluß der Korrelation von Stundenmittelwerten,
blau: mit Korrelation – rot: ohne Korrelation

Der Vergleich der Kurven bestätigt, dass eine deutliche Unterschätzung der Immissionsbelastung vorliegt, wenn die nicht korrelierten Stundenmittelwerte zu einem Jahresmittelwert zusammengefasst werden.

12. VALIDIERUNG VON WINKFZ (AIR.LAG)

Die Validierung von WINKFZ (AIR.LAG) wurde bereits in den Jahren 1984 und 1989 in zwei Veröffentlichungen /20/ und /21/ beschrieben.

Es wurde die Nachrechnung von folgenden Tracergas-Experimenten, die alle von bekannten Forschungszentren begleitet wurden, durchgeführt und in /21/ zusammenfassend dokumentiert. Die Anzahl der betrachteten Meßpunkte ist in der folgenden Aufstellung in Klammern hinzugefügt.

Experiment S.C.K./C.E.N Mol, Belgien (24)

Experiment Royal Netherlands Meteorological Institute, de Bilt, Cabauw (8)

Kernforschung Karlsruhe, Experiment CFCL₃ (34)

Kernforschung Karlsruhe, Experiment CF₂BR₂ (28)

Environmental Protection Agency, USA Windkanal, Ebenes Gelände (3*24)

Environmental Protection Agency, USA Windkanal, Hügel (Cinder Cone Butte) (15)

Environmental Protection Agency, USA Hügel (Cinder Cone Butte)

Experiment 217/1 – 217/3, Experiment 217/5 – 217/7 ,jeweils (40)

Insgesamt handelt es sich bei der Veröffentlichung /21/ um die Nachrechnung von 12 Experimenten mit zusammen 421 Meßwerten, die in ebenem Gelände sowie in einem leicht hügeligen Gelände (Cinder Cone Butte) bei bodennaher und abgehobener Freisetzung stattfanden. Die Experimente wurden bei stabiler Schichtung als auch bei neutraler Schichtung durchgeführt.

13. MODELLVERGLEICH DER VOEST ALPINE LINZ DURCH DIE UNIVERSITÄT GRAZ

Die Voest Alpine Österreich hat eine Validierung durchführen lassen, an denen die Programme AUSTAL, LASAT und AIR.LAG, der Vorgängerversion von WINKFZ beteiligt waren¹. Die Validierung war anhand von 142 Datensätzen der Indianapolis Experimente durchgeführt worden. Die Universität Graz hat die Ergebnisse ausgewertet und kam auf der Basis des statistischen Bewertungsverfahrens NMQF (Normierter mittlerer Quantifizierungsfehler – bzw. auf englisch Root Mean Square Deviation) zu der

¹ Die Studie ist Eigentum der Voest Alpine Linz, sie liegt dem Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland vor.

Entscheidung, dem Programm AUSTAL den Vorzug zu geben. Die Auswertung ergab, dass AIR.LAG (die Vorläuferversion von WINKFZ) grundsätzlich eine Überschätzung, AUSTAL und LASAT grundsätzlich eine Unterschätzung lieferten. Das Verfahren NMQF bewertet eine Unterschätzung günstiger als eine Überschätzung.

Einige Ergebnisdarstellungen sind auf folgenden Abbildungen zu ersehen:

Ergebnisse – Mittlere Konzentrationen

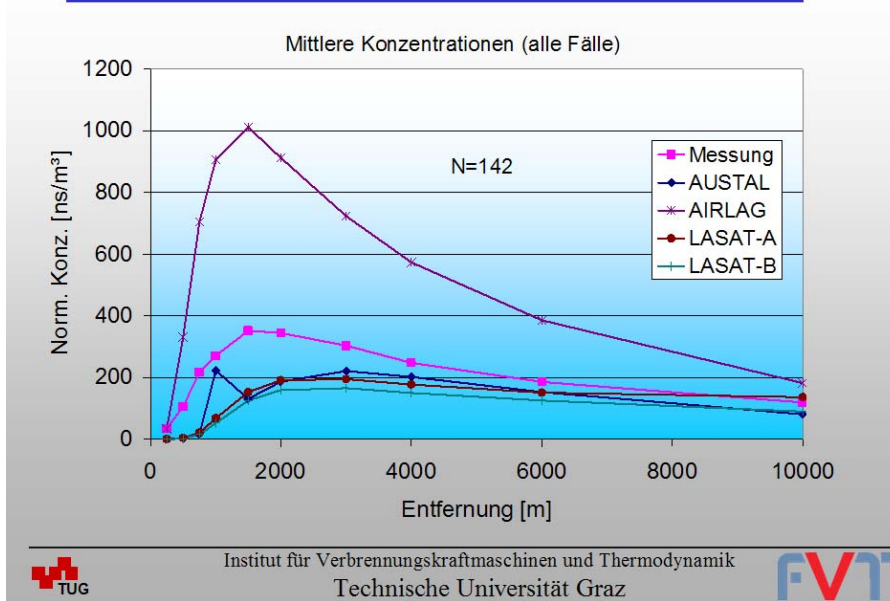


Abbildung 13-1: Modellvergleich - Alle Experimente (N=142)

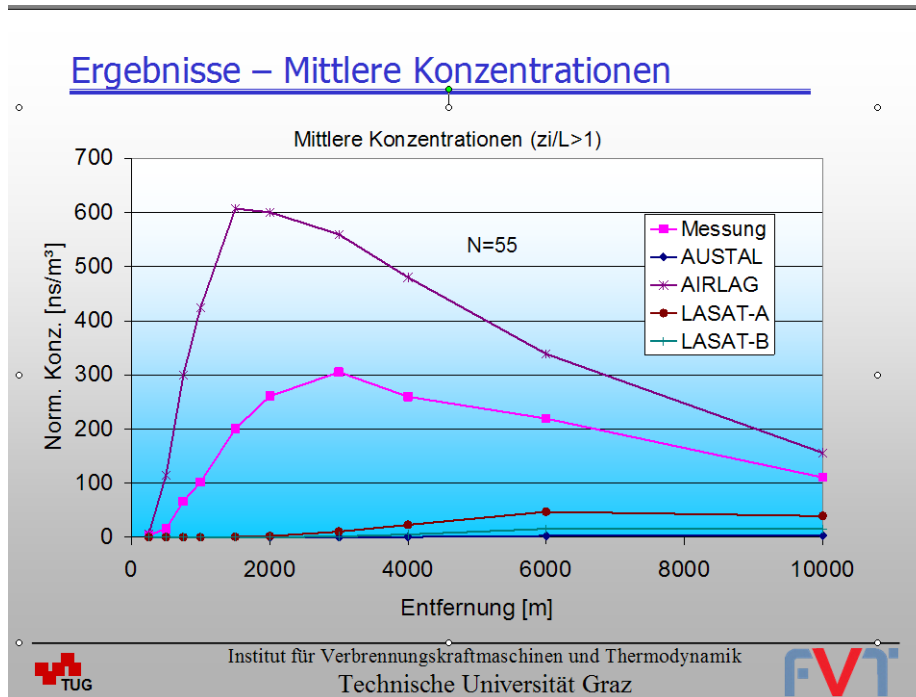


Abbildung 13-2: Modellvergleich - stabile Wetterlagen (N=55)

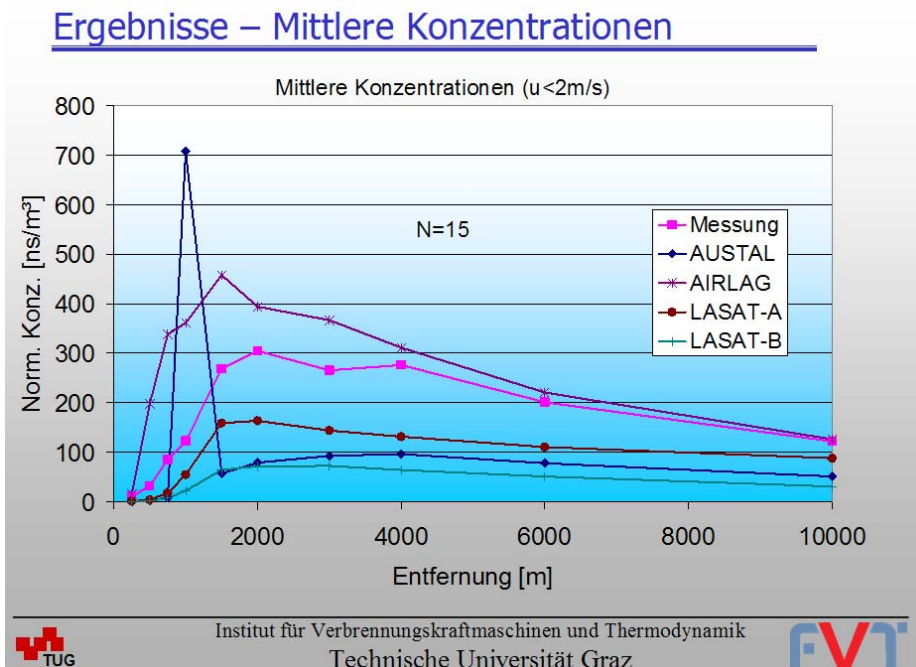


Abbildung 13-3: Modellvergleich - Kleine Windgeschwindigkeiten (N=15)

Das Verfahren NMQF ist wissenschaftlich korrekt und wird häufig zum Modellvergleich eingesetzt. Es ist aber auch bekannt, dass dieses Verfahren eine Unterschätzung höher bewertet als eine Überschätzung. Wir vertreten die Auffassung, dass im Rahmen von Genehmigungsanträgen eine rechnerische Unterschätzung der prognostizierten Immissionsbelastung nicht zulässig ist, weil sie zum Nachteil der Betroffenen gereicht.

Wir meinen deshalb, dass wegen der Verwendung des NMQF Verfahrens eine falsche Bewertung der Modelle vollzogen wurde, weil damit etwaige Aspekte der Sicherheit bzw. der zu verlangenden Konservativität der Berechnungen nicht berücksichtigt werden konnten.

14. LITERATURVERZEICHNIS

/1/ **VDI Richtlinie 3945 Blatt 3:** Umweltmeteorologie, Atmosphärische Ausbreitungsmodelle, Partikelmodell

/2/ **Langevin, P.:** Sur la Théorie du Mouvement Brownien, *Comptes-rendus de l' Académie des Sciences* 146 (1908)

/3/ **B.J. Legg; Raupach, M.R.:** Markov-Chain Simulation of Particle Dispersion in inhomogeneous Flow: The mean drift velocity induced by a gradient in Eulerian velocity variance, *Boundary Layer Meteorology* 24, (1982) 3-13

/4/ **B.J. Legg:** Turbulent dispersion from an elevated line source: Markov chain simulation of concentration and flux profiles, *Quart. J.R. Met.* (1983) 109

/5/ **D.J. Thomson:** Random walk modelling of diffusion in inhomogeneous turbulence. *Quart. J.R.Soc* (1984) 110

/6/ **A.J. Ley:** A random walk simulation of two dimensional turbulent diffusion in the neutral surface layer, *Atm. Env.* Vol 16, No.12 (1982)

/7/ **F.A. Gifford:** The time scale of atmospheric diffusion considered in relation to the universal diffusion function, *Atm. Env.* Vol 21 No. 6 (1987)

/8/ **F.A. Gifford:** Horizontal diffusion in the atmosphere: A Lagrangian-Dynamical Theory, *Atm. Env.* Vol. 16 No. 3, (1982)

/9/ **H. Tennekes:** The exponential Lagrangian correlation function and turbulent diffusion in the inertial subrange, *Atm. Env.* Vol. 13, (1979)

/10/ **St. Hanna:** Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory, in E. Plate: Engineering Meteorology, ISBN 0 - 444 – 41972 -1

/11/ **J. C. Kaimal, J.C. Wyngaard, D.A. Haugen et ali:** Turbulence structure in a convective boundary layer *J. Atmos, Sci.* 33, 2152-2169, 1976

/12/ **S.J. Caughey:** Observed Characteristics of the atmospheric boundary layer, in *Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling*, D. Reidel Publishing Company, ISBN 90-277-1365-6, 1982

/13/ **F.T.M. Nieuwstadt, H. van Dop** (Herausgeber) *Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling*, D. Reidel Publishing Company, ISBN 90-277-1365-6, 1982

/14/ **F.T.M. Nieuwstadt, H. van Dop:** Random walk models for particle displacement in inhomogeneous unsteady turbulent flows, *Phy. Fluids* 28, (6) (1985)

SCHORLING & PARTNER

BERATENDE INGENIEURE

- /15/ **H. Risken** The Fokker-Planck Equation, Springer Verlag, 1980, ISBN 0-387-13098-5
- /16/ **H.R. Pruppacher, James D. Klett** : Microphysics of Clouds and Precipitation, D. Reidel Publishing Company, ISBN 90-277-1106-2, 1980
- /17/ **P.A. Durbin**: Stochastic Differential Equations and Turbulent Dispersion, NASA RP 1103, 1980
- /18/ **W.G.N. Slinn**: Some approximations for the wet and dry removal of particles and gases from the atmosphere, Water, Air and Soil Pollut. 7, (1977)
- /19/ **J. S. Scire, R. Yamartino**: A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (Version 5), Earth Tech. Inc., Concord MA, USA, 2000
- /20/ **M. Schorling**: Application of a Lagrangian Dispersion Model to Short Term Releases of Pollutants, Paper presented at the 77th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, San Francisco 1984
- /21/ **Schorling, M** : Die Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung, Entwicklung und Validierung eines Lagrange- Modells Handbuch des Umweltschutzes 46 Er. Lfg. 12/ 1989 Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, 1989
- /22/ **M. Schorling**: Anwendung des Lagrange-Ausbreitungsmodells zur Berechnung des Mittelwertes und der Streuung der Konzentration, VDI Berichte Nr. 837, 1990
- /23/ **Govaerts, P., A. Sohler, M. Schorling**: Applicability of Lagrangian and Gaussian Models for Evaluating the Consequences of a Nuclear Accident, European Community No.87-760, 1988
- /24/ **M. Schorling**: Ausbreitung von Gasen und Aerosolen in komplexem Gelände, Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 66, 1986
- /25/ **M. Schorling**: Application of the Lagrangian Dispersion Model to the Regional Scale using Kernel Density Functions, OECD, Nuclear Energy Agency Data Bank (NEAD), Gif-sur-Yvette Cedex, France 1991
- /26/ **Päsler-Sauer**: Comparative Calculations and Validation Studies with Atmospheric Dispersion Models, KfK – Report 4164, 1986

15. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 2-1: Eingabedaten zu dem Homogenitätstest in /3/	5
Abbildung 2-2: Homogenitätstest nach /3/	6
Abbildung 3-1: Markow Kette – normalverteilte Zufallszahlen	7
Abbildung 5-1: Homogenitätstest nach D1.1	9
Abbildung 5-2: Homogenitätstest nach D1.2	10
Abbildung 5-3: Homogenitätstest nach D1.3	11
Abbildung 5-4: Parametrisierung der Geschwindigkeitsfluktuation nach /13/	13
Abbildung 5-5: Parametrisierung des Lagrange Zeitmaßstabes nach /13/	13
Abbildung 5-6: Homogenitätstest für verschiedene Schichtungen	14
Abbildung 5-7: Parametrisierung - Inhomogene Turbulenz	15
Abbildung 5-8: Parametrisierung - Inhomogene Turbulenz	16
Abbildung 5-9: Parametrisierung - Instabile Schichtung und inhomogene Turbulenz	17
Abbildung 5-10: Parametrisierung - Neutrale Schichtung und inhomogene Turbulenz	18
Abbildung 5-11: Parametrisierung - Stabile Schichtung und inhomogene Turbulenz	19
Abbildung 6-1: Deposition - Abnahme der Masse nach VDI 3945 Gl. 28	20
Abbildung 6-2: Deposition ohne Sedimentation - Ausdünnung der Fahne durch Deposition	21
Abbildung 6-3: Sedimentation ohne Deposition - konstante Turbulenz	22
Abbildung 6-4: Sedimentation mit Deposition	23
Abbildung 11-1: Beispielsrechnung Windfeldmodell - Hügel und Gebäude	24
Abbildung 11-2 : Umströmung eines Hanges bei Windrichtung um 225 Grad	25
Abbildung 11-3: Kanalisierung der Strömung (links),	26
Abbildung 11-4: Konzentrationsverteilung hinter einer Linienquelle,	26
Abbildung 11-5: Immissionsbelastung Schiene – Strasse Eisenbahnknotenpunkt Lindau	27
Abbildung 11-6: Lee-Wirbel in Strassenschluchten	27
Abbildung 11-7: Immissionsverteilung in einer Großstadt – 15 min Mittelwert	28
Abbildung 11-8: Online Monitoring – Abruf von Daten über Telefon	29
Abbildung 11-9: Konzentrationsverteilung nach Kaminfreisetzung in steilem Gelände	29
Abbildung 11-10: Einfluß der Korrelation von Stundenmittelwerten,	30
Abbildung 13-1: Modellvergleich - Alle Experimente (N=142)	32
Abbildung 13-2: Modellvergleich - stabile Wetterlagen (N=55)	33
Abbildung 13-3: Modellvergleich - Kleine Windgeschwindigkeiten (N=15)	33