

# Strömungscharakteristika im Zwischenfeld zweier Windschutzstreifen

**C. Frank & B. Ruck**

Laboratorium für Gebäude- und Umweltaerodynamik,  
Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe, Kaiserstr. 12, D - 76128 Karlsruhe

## Abstract

Seit Jahrhunderten werden landwirtschaftlich oder industriell genutzte Flächen durch die Anlage von Windschutzstreifen vor Windangriffen geschützt. Viele Untersuchungen über die Wirkung von Streifen (hauptsächlich von Einzelstreifen) liegen vor, jedoch ist das Wissen über die Strömungsbildung im Zwischenfeld zweier hintereinander liegender Windschutzstreifen gering. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden erste Ergebnisse aus Windkanaluntersuchungen über den Einfluss des Abstandes zweier Streifen auf die Windschutzwirkung im Zwischenbereich dargestellt. Es wird gezeigt, dass durch eine geeignete Wahl des Streifenabstandes sich der windberuhigte Bereich im Vergleich zur Einzelstreifenanordnung vergrößert.

## 1. Zusammenfassung

Aufgrund eines steigenden Umweltbewusstseins und erhöhten Anforderungen im Immissionsschutz spielen Windschutzanlagen vor allem im städtischen und industriellen Bereich eine zunehmend wichtigere Rolle. Als Windschutzanlagen kommen dabei nicht nur einzelne linienförmige, ebenerdige (wallose) oder wallbehaftete Gehölzschutzstreifen zum Einsatz, sondern oftmals werden ganze Industrieflächen von einer Anlage umgeben. Letztere werden bevorzugt z. B. bei Deponien und Umschlagplätzen von Schüttgütern oder bei Produktionsstätten, bei denen unter Umständen sogar schwermetallhaltige Schwebstoffe erzeugt werden, angelegt. Solche Windschutzanordnungen sind vor allem in dichtbesiedelten Gebieten anzutreffen. Industrieflächen werden windberuhigt, indem durch geeignete Windschutzanlagen eine Reduktion konvektiver Strömungsgrößen im Schutzgebiet erzielt wird. Dadurch werden gleichzeitig angrenzende Siedlungsgebiete vor starken Immissionen geschützt.

Im Gegensatz zu einzelnen linienförmigen Windschutzstreifen ist der derzeitige Wissensstand über die Strömungszustände bei einer Doppelanordnung, d.h. bei Anordnung je eines Streifens luv- und leeseitig einer windzuberuhigenden Fläche, sehr lückenhaft. Es wird vermutet, dass sich abhängig von der Ausbildung der einzelnen Streifen bei bestimmten Abständen unter Umständen eine kontraproduktive Wirbelwirkung einstellt, d.h. dass die doppelte Windschutzstreifenanordnung den Ferntransport von Emissionen mitunter verstärkt anstelle ihn zu minimieren. Durch systematische Untersuchungen im Windkanal sollen daher grundlegende Beziehungen zwischen den relevanten Einflussparametern (Porosität der Streifen, Böschungswinkel, Verhältnis Böschungshöhe zu Bewuchshöhe und dem Abstand der begrenzenden Streifen) erfasst werden. Erste Ergebnisse über die Auswirkungen eines variierten Streifenabstandes unter ansonsten konstanten Bedingungen werden im Folgenden dargestellt.

Das Strömungsfeld zwischen zwei Schutzstreifen wird mittels eines 2D-LDA-Systems untersucht. Hieraus werden unterschiedlich definierte Schutzparameter bestimmt. Die Schutzwirkung dieser gewählten Windschutzstreifen-Doppelanordnung wird mit den Ergebnissen der bereits hinreichend untersuchten Einzelstreifenanordnung (siehe Ruck & Donat 2000, Ruck 2001) verglichen.

## 2. Experimentelle Methoden

Die experimentellen Untersuchungen werden im geschlossenen 29 m langen Grenzschichtwindkanal des Instituts für Hydromechanik der Universität Karlsruhe durchgeführt. Durch den kombinierten Einbau von strömungsformenden Strukturen (Wirbelgeneratoren und Rauheits-elementen) lässt sich eine naturähnliche atmosphärische Grenzschicht im Windkanal simulieren. Die vertikale Verteilung der mittleren horizontalen Geschwindigkeit in der Untersuchungsstrecke kann mit dem Potenzgesetz  $u(z) / u_{ref} = (z / z_{ref})^\alpha$  und einem Profilexponenten  $\alpha = 0.26$  sehr gut angenähert werden (Abb.1a). Aus dem logarithmischen Ansatz bestimmt sich die Rauheitshöhe  $z_0$  im Modell zu 2.84 mm; dies entspricht bei einem Modellmaßstab 1:200 in der Natur  $z_0 = 0.57$  m und repräsentiert eine Grenzschicht über vorstädtischem Terrain bzw. Waldgebieten [Plate 1993, Counihan 1975].

Die Profile der Turbulenzintensitäten in Hauptströmungsrichtung  $T_u$  (Abb.1b) und in vertikaler Richtung  $T_w$  (Abb. 1c) sind über die Höhe dargestellt und stimmen weitestgehend mit den Naturdaten überein.

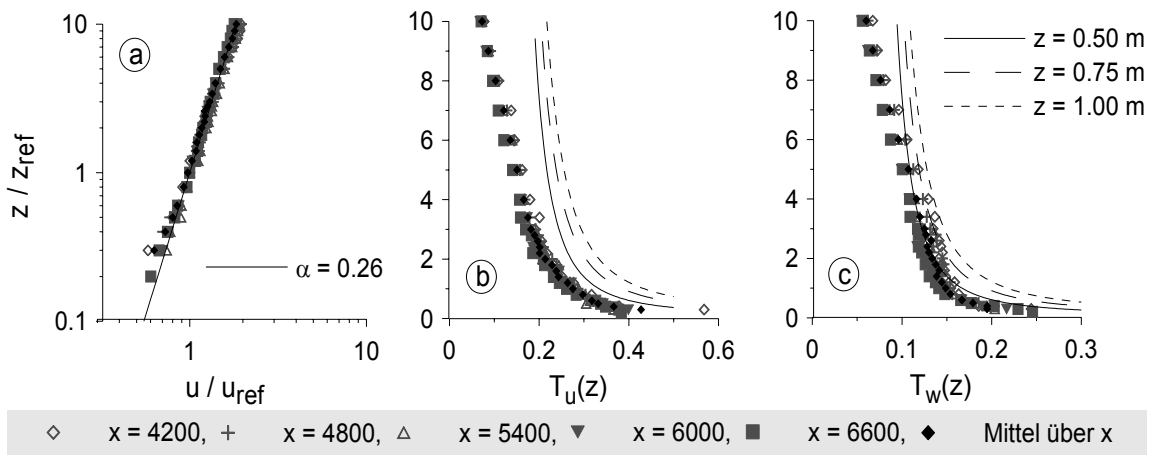


Abb.1 Charakteristika der simulierten atmosphärischen Grenzschicht ( $z_{ref} = 5$  cm,  $u_{ref} = 3.2$  m/s)

Die Anströmungsgeschwindigkeit im Kanal beträgt bei allen Versuchen gleichbleibend 5.55 m/s in einer Höhe  $z = 40$  cm.

Die Geschwindigkeitsmessungen zur Erfassung des Strömungsfeldes werden mit einem 2D-LDA-System durchgeführt. Es handelt sich hierbei um einen Argon-Ionen-Laser (4 Watt), welcher mit Vorwärtslichtstreuung arbeitet und eine Brennweite von 1,5 m besitzt. Die Streuteilchen werden mit einem Nebelgenerator und dem Nebelfluid 1,2-Propandiol (Durchmesser 1-2  $\mu$ m) generiert.

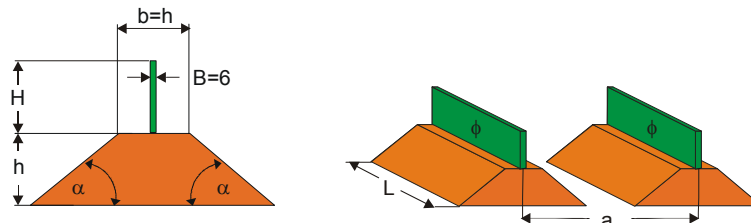


Abb.2 Sockelwallgeometrie

Die Sockelwälle der eingesetzten Modelle sind aus Holz, die Bewuchsstreifen aus Plexiglas. Die Modelle sind in Abb. 2 skizziert. Die Gesamthöhe der Modellstreifen  $h+H$  beträgt 12 cm.

Bei den betrachteten Untersuchungen wurden die Einflussparameter Bewuchs- / Sockellwallhöhe  $h / H = 1$  und Böschungswinkel  $\alpha = 40^\circ$  konstant gehalten. Der Abstand  $a$  zwischen den Windschutzstreifen wurde für zwei unterschiedliche Porositäten  $\phi = 22\%$  und  $\phi = 52\%$  variiert:  $a = 5, 6, 10, 12, 15$  und  $20 \cdot (h+H)$ .

### 3. Schutzparameter

Die Bewertung der Wirksamkeit einer Windschutzanlage muss im Hinblick auf deren konkrete Zielsetzung erfolgen: Sollen durch die Anlage eines Windschutzes z.B. Gebäude vor Windkräften geschützt, ein Transport luftgetragener Stoffe unterbunden oder Plätze bzw. Straßen windberuhigt werden?

Zur Beurteilung des Windschutzes werden daher unterschiedliche Schutzparameter herangezogen: (Der Index gibt den Ort wieder: 1 ungeschützt, vor dem Hindernis, 2 geschützt, hinter dem Hindernis)

- *Schutzparameter  $S_u$*

$$S_u(x, z) = 1 - \frac{u_2(x, z)^2}{u_1(z)^2}$$

gibt die relative Änderung des Impulsstroms der geschützten

zur ungeschützten Anströmung in einer Höhe  $z$  wieder. Da die aerodynamische Kraftwirkung auf Körper proportional  $u^2$  ist, erfasst der Schutzfaktor  $S_u$  auch deren relative Änderung quantitativ.

Ist  $S_u > 0$ , reduziert sich die Kraftwirkung; ist  $S_u < 0$ , verstärkt sie sich.

Die Windturbulenz (Böigkeit) wird explizit nicht berücksichtigt.

- *Windschutzparameter nach Gandemer*

$$f(x, z) = \frac{u_1(z) + \sigma(u_1(z))}{|u_2(x, z)| + \sigma(u_2(x, z))}$$

wurde von Gandemer (1981) als Komfortparameter

eingeführt. Dieser Schutzparameter berücksichtigt auch die turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen. Der Mittelwert und die Standardabweichung der horizontalen Geschwindigkeit eines bestimmten Ortes werden addiert und die Werte der ungestörten zu denen der gestörten Anströmung ins Verhältnis gesetzt.

Wirkt sich der Windschutz windberuhigend an einem Ort aus, gilt  $f > 1$ , verschlechtert er hingegen die Bedingungen, gilt  $0 < f < 1$ .

### 4. Ergebnisse

In Abb. 3 sind Schutzvolumina  $V_{Su}$  im Zwischenfeld zweier gleichausgebildeter Windschutzstreifen der Porosität  $\phi = 52\%$  für verschiedene Abstände dargestellt. Zuunterst wird zum Vergleich das Schutzvolumen eines Einzelstreifens (nach Ruck & Donat 2000, Ruck 2001) angegeben.

Das Schutzvolumen  $S_u = 0.25$ , d.h. der Bereich, in dem sich die aerodynamische Kraftwirkung auf vorhandene Körper um mindestens 25% zur Kraftwirkung in der ungeschützten Anströmung reduziert, steigt bei den untersuchten Abständen kontinuierlich an. Das Zwischenfeld ist über seine gesamte Länge und mindestens über die Gesamthöhe der Schutzstreifen geschützt. Im Vergleich zum Einzelstreifen lässt sich der Bereich mit  $S_u = 0.25$  durch einen zweiten Wall merklich vergrößern (bei  $a = 20 \cdot (H+h)$  auf das 1.83-fache).

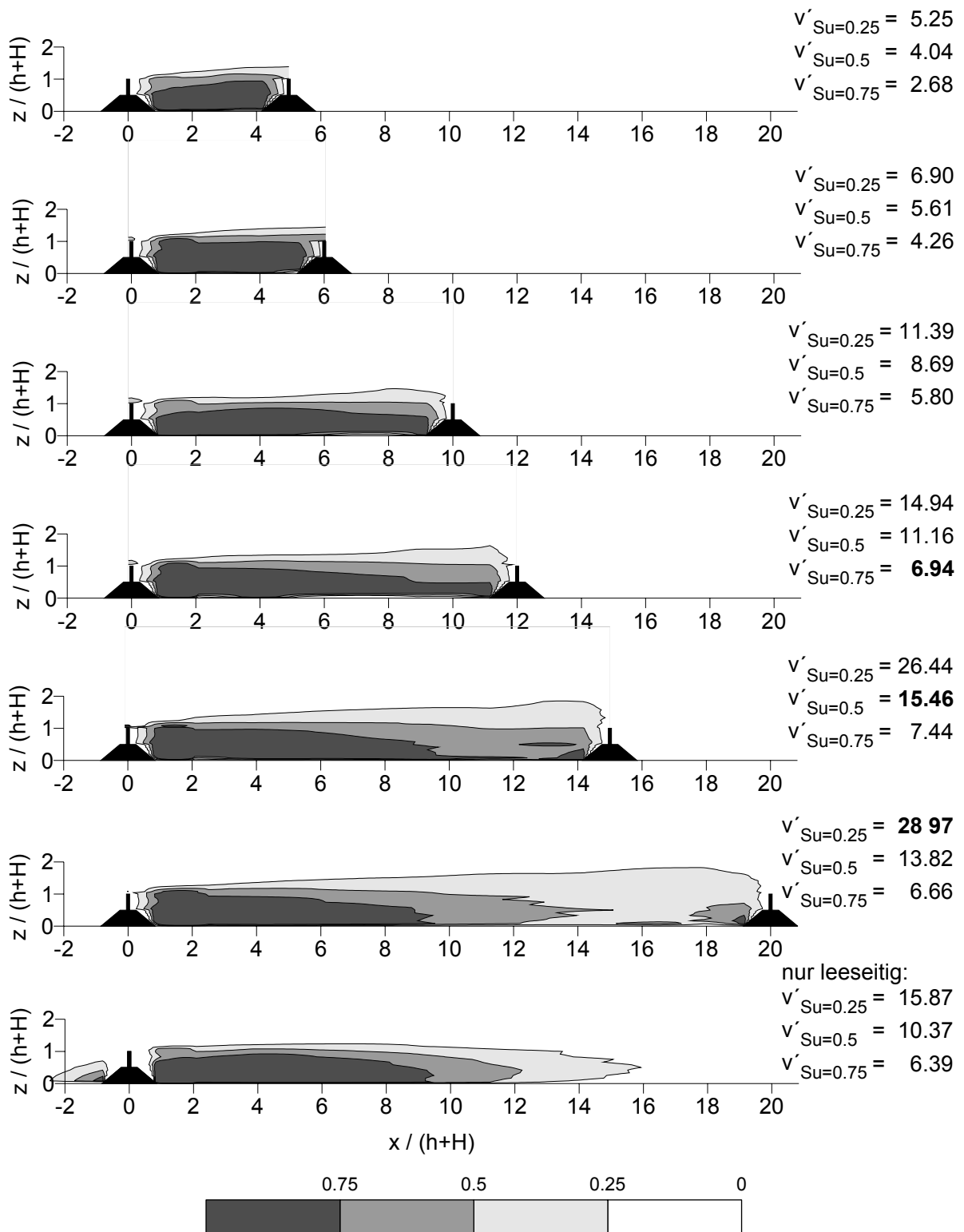


Abb. 3 Isolinien des Schutzparameters  $S_u$  und zugehörige Schutzvolumina  $v'$  für verschiedene Abstände zweier Windschutzstreifen und für den Einzelstreifen (nach Ruck & Donat).  $h/H=1$ , Porosität = 52 %, Böschungswinkel = 40°, Schutzvolumen  $V_{Su} = v'_{Su} \cdot L \cdot (h+H)^2$

Die Doppelanordnung mit einem Abstand von  $12 \cdot (H+h)$  ist hinsichtlich der Größe des Schutzvolumens dem Einzelstreifen am ähnlichsten; die Ausbildung des Volumens ist bei dem beidseitig von Wällen eingegrenzten Bereich jedoch gleichmäßiger als leeseits des Einzelstreifens.

Für größere Reduktionen der aerodynamischen Kraftwirkungen - d. h. für höhere Schutzparameter  $S_u$  - stellt sich das maximale Volumen bei kleineren Abständen der Doppelstreifenanordnung ein.

Das Gesamtvolumen mit  $S_u = 0.75$  vergrößert sich bis zu einem Abstand von  $a = 15 \cdot (h+H)$ , jedoch ist lediglich bis  $a = 12 \cdot (h+H)$  ein über das gesamte Zwischenfeld zusammenhängendes Gebiet geschützt. Die Mindesthöhe des kompakten Schutzvolumens beträgt bis zu dieser Streifenentfernung ungefähr Sockelwallhöhe. Bei  $a = 15 \cdot (h+H)$  überlagern sich die lee-seitige Schutzwirkung des ersten Streifens und die luvseitige Schutzwirkung  $S_u = 0.75$  des zweiten Streifens nicht mehr, sondern sind von Gestalt und Größe der entsprechenden Schutzvolumina des Einzelstreifens vergleichbar.

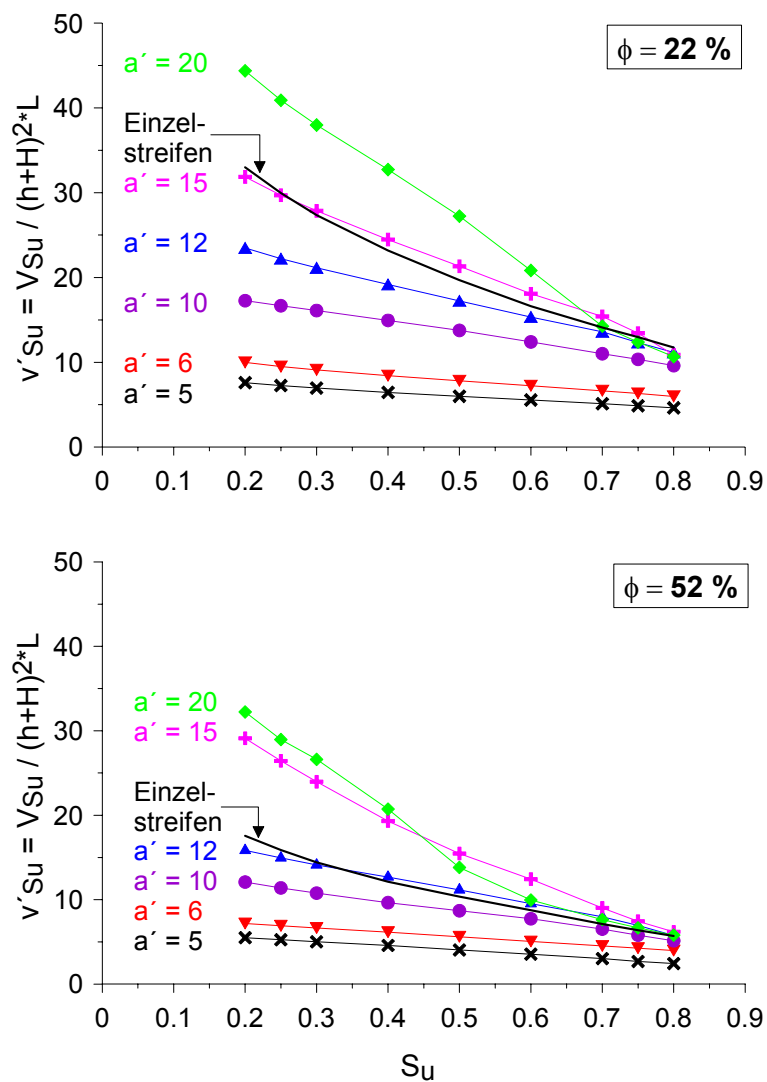


Abb. 4 Schutzvolumina im Zwischenfeld zweier Windschutzstreifen mit diversen Abständen  $a = a' \cdot (h+H)$  und leeseits der Einzelstreifen für Porositäten  $\phi = 22\%$  und  $52\%$  in Abhängigkeit der Verminderung der aerodynamischen Kraftwirkung  $S_u$ .

In Abb. 4 ist das dimensionslose Schutzvolumen  $v'_{Su} = V_{Su} / (h+H)^2 \cdot L$  über die Reduktion der aerodynamischen Kraftwirkung  $S_u$  dargestellt.  $S_u$  ist dabei der Mindestwert der Kraftminderung; Bereiche größerer Schutzwirkung sind darin enthalten. Der Vergleich der Schutzvolumina für die beiden untersuchten Porositäten der Bewuchsstreifen zeigt, dass bei geringerer Durchlässigkeit ein größerer Abstand zwischen zwei Streifen nötig ist, um den Wert vergleichbarer Einzelstreifen zu erreichen. Dies ist naheliegend, da sich der geschützte Bereich im Lee eines einzelnen Streifens mit abnehmender Porosität vergrößert.

Des Weiteren ist zu erkennen, dass der Einfluss des im Luv angeordneten zweiten Streifens mit steigender aerodynamischer Kraftminderung  $S_u$  nachlässt. D.h. Bereiche mit geringer Schutzwirkung lassen sich durch eine Doppelanordnung mit geeignetem Abstand sehr viel stärker im Vergleich zum Einzelstreifen vergrößern als Bereiche mit hoher Schutzwirkung.

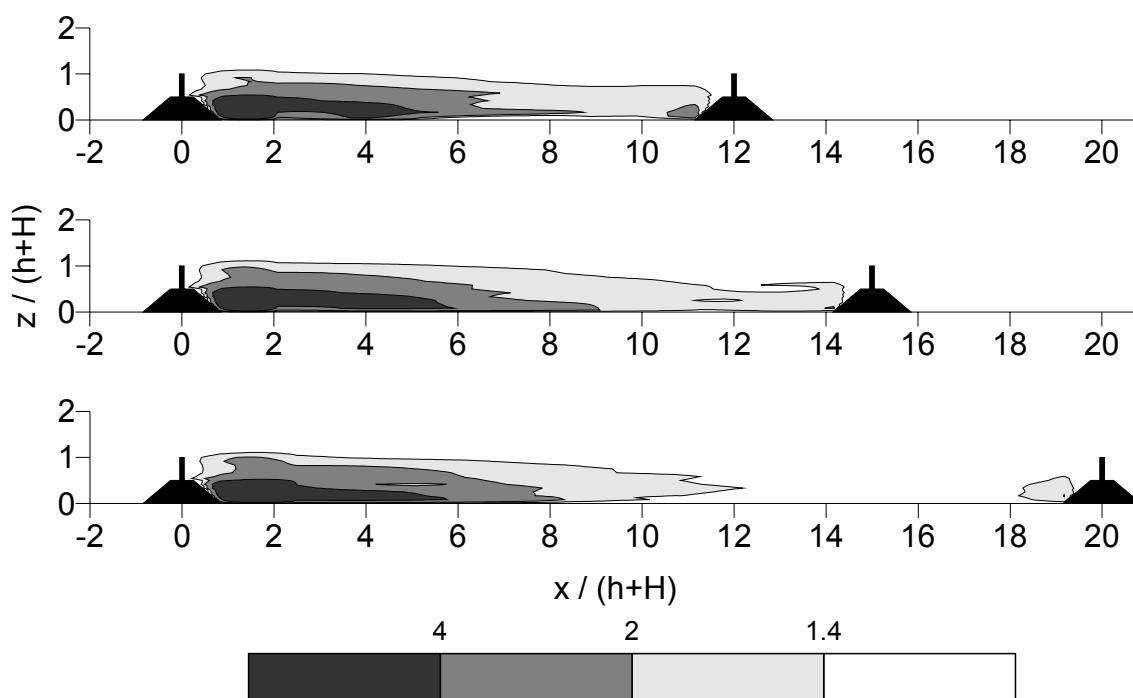


Abb. 5 Isolinien des Windschutzparameters  $f$  nach Gandemer für verschiedene Abstände zweier Windschutzstreifen mit  $h / H = 1$ , Porosität = 52 %, Böschungswinkel = 40°

Wird die Windberuhigung unter Beachtung der turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen mit dem bereits in Kap. 3 beschriebenen Schutzparameter  $f$  bewertet, ergeben sich ähnliche Tendenzen wie beim Schutzparameter  $S_u$ . Exemplarisch wird in Abb. 5 der Übergang vom noch durchgehend geschützten Bereich für  $f = 1.4$  zu zwei sich nicht mehr überschneidenden Bereichen bei größerem Abstand dargestellt. Letztere stimmen wiederum sehr gut mit denen des Einzelstreifens überein.

## Dankesworte

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU in Osnabrück für die Förderung im Rahmen des Vorhabens 18062 bedanken.

## **Literatur**

**Counihan, J.**, 1975

„Adiabatic atmospheric boundary layers: A review and analysis of data from the period 1880-1972“, Atmospheric Environment Vol. 9, pp 871-905, Pergamon Press

**Gandemer, J.**, 1981

„The aerodynamic characteristics of windbreaks, resulting in empirical design rules“, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 7, pp 15-36

**Plate, E.J.**, (Hrsg) 1993

„Windprobleme über dichtbesiedelten Gebieten“, WTG-Berichte Nr. 3, Windtechnologische Gesellschaft, Aachen

**Ruck, B. und Donat, J.**, 2000

„Aerodynamisches Verhalten dünner Windschutzstreifen auf Wällen unterschiedlicher Geometrie - Experiment und numerische Studie“, Proceedings der 8. Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmeßtechnik", Universität München, paper 42

**Ruck, B.**, 2001

„Efficiency of Shelterbelts on Mounds“, Proceedings des Workshops on 'Physical modelling of environmental flow and dispersion phenomena', University of Hamburg, September 2001