

# Regionale Verteilung der Windgeschwindigkeit bei Starkwind in topographisch gegliedertem Gelände

H. Noppel

Institut für Meteorologie und Klimaforschung,  
Graduiertenkolleg Naturkatastrophen, Universität Karlsruhe

## Zusammenfassung

Aus Radiosondenmessungen der Jahre 1971-2000 an der Station Stuttgart wird eine Statistik der großräumigen Strömung erstellt. Dazu werden die Messungen in drei Stabilitäts- und acht Windrichtungsklassen aufgeteilt und für die insgesamt 24 Klassen die jeweilige Verteilung des Betrages der Windgeschwindigkeit bestimmt. Mit der vorgegebenen Windrichtung und der für die Klasse typischen thermischen Schichtung werden numerische Simulationen mit dem Karlsruher atmosphärischen mesoskaligen Modell (KAMM) durchgeführt. Dabei werden fünf verschiedene Werte des Betrages der großräumigen Anströmung vorgegeben. Pro Klasse werden also fünf Simulationen, d.h. insgesamt 120 Modellläufe durchgeführt. Jeder Modelllauf liefert an jedem Gitterpunkt des Modells den Wert der lokale Windgeschwindigkeit. Aufgrund der Statistik der großskaligen Verhältnisse wird jedem Modelllauf und damit der resultierenden lokalen Windgeschwindigkeit eine bestimmte Häufigkeit des Auftretens zugeordnet. Damit ergibt sich an jedem Gitterpunkt eine Verteilung der simulierten lokalen Windgeschwindigkeit. Die räumliche Verteilung deren Quantile in dem 160 km x 160 km großen Modellgebiet kann dann flächenhaft dargestellt werden. Die Verteilung des 99%-Quantiles ist ein Indikator dafür, an welchen Stellen des Gebietes häufig mit hohen Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist. Ein Vergleich mit Messungen zeigt, dass die Methode die Quantile recht gut wiedergibt.

## Abstract

Statistics of the large scale atmospheric conditions are calculated from radiosonde measurements of the years 1971-2000 at Stuttgart, South-West Germany. For this purpose, these conditions are divided up into three classes of thermal stability and eight classes of wind direction. For each of the resulting 24 classes the statistical distribution of the large scale wind speed is calculated. With the assigned wind direction and the thermal stability of each class, numerical simulations with the Karlsruhe atmospheric mesoscale model (KAMM) are performed. Five model runs with different values of the large scale wind speed per class are performed, giving 120 model runs in total. Each of these simulations produces a value for the local wind speed at each grid point. On the basis of the large scale statistics this wind speed is assigned to a certain frequency of occurrence. Thus a frequency distribution of local wind speed results at each grid point and its quantiles can be calculated. Consequently, the spatial distribution of the quantiles in the 160 km x 160 km model domain can be presented graphically. The spatial distribution of the 99%-quantile, for example, can give an indication where the occurrence of high wind speeds is likely. A comparison to quantiles resulting from ground measurements shows that the described method is able to reproduce these quantiles quite well.

## Einführung

Auch bereits vor dem Orkan „Lothar“ waren von den gesamten volkswirtschaftlichen Schäden, die in Deutschland durch Naturkatastrophen verursacht werden, über 50% auf Winterstürme zurückzuführen (Münchener Rück, 1999). Winterstürme sind in der Regel ein sehr großflächiges Phänomen, wobei aber gleichzeitig die an einem bestimmten Ort auftretende Windgeschwindigkeit und somit der potentielle Schaden stark von der Topographie beeinflusst werden. Gebiete mit sehr hohen Windgeschwindigkeiten liegen dabei häufig direkt neben solchen mit verhältnismäßig schwachem Wind (Adrian, 1994). Wo diese Gebiete liegen, z.B. im Tal, am Gipfel oder in mittleren Höhen, an der West-, Nord-, Ost- oder Südflanke von Hügeln usw., hängt vor allem auch von der großräumigen Anströmung und der thermischen Schichtung der Atmosphäre ab. Zum einen ist also festzustellen,

welche räumliche Verteilung der Windgeschwindigkeit sich bei bestimmten großräumigen Bedingungen ergibt. Darüber hinaus ist es aber auch von großem Interesse zu erfahren, wie häufig mit diesen verschiedenen großräumigen Bedingungen zu rechnen ist und an welchem Standort folglich langfristig mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Windgeschwindigkeit oberhalb einer bestimmten Schwelle zu erwarten ist, um daraus schließlich Handlungsempfehlungen z.B. für Forstwirte oder Bauingenieure ableiten zu können.

Das Ziel dieser Arbeit ist deshalb die flächenhafte, räumlich gegliederte Ermittlung und Darstellung extremer Windgeschwindigkeiten in Kombination mit ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit in topographisch gegliedertem Gelände.

## Vorgehen

Anhand einer 30-jährigen Reihe von Radisondenmessungen an der Station Stuttgart werden die großräumigen atmosphärischen Verhältnisse (geostrophischer Wind  $v_g$  und thermische Schichtung) in 3 Stabilitäts- und 8 Windrichtungsklassen eingeteilt und die Häufigkeit der  $3 \cdot 8 = 24$  Klassen bestimmt. Für den geostrophischen Wind wird dabei die Messung in 700 hPa herangezogen, und für die thermische Schichtung der vertikale Temperaturgradient zwischen 800 hPa und 850 hPa. Für jede Klasse wird die Verteilung des Betrages der Windgeschwindigkeit  $|v_g|$  bestimmt und eine Weibullverteilung angepasst. Somit ergibt sich für jede Klasse  $k$  eine Verteilungsfunktion  $G(k, |v_g|)$ . Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Verteilung der relativen Häufigkeit von  $|v_g|$  für eine Anströmung aus Südwest und stark stabile Schichtung sowie die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der mit Hilfe der Maximum-Likelyhood-Methode angepassten Weibullverteilung.

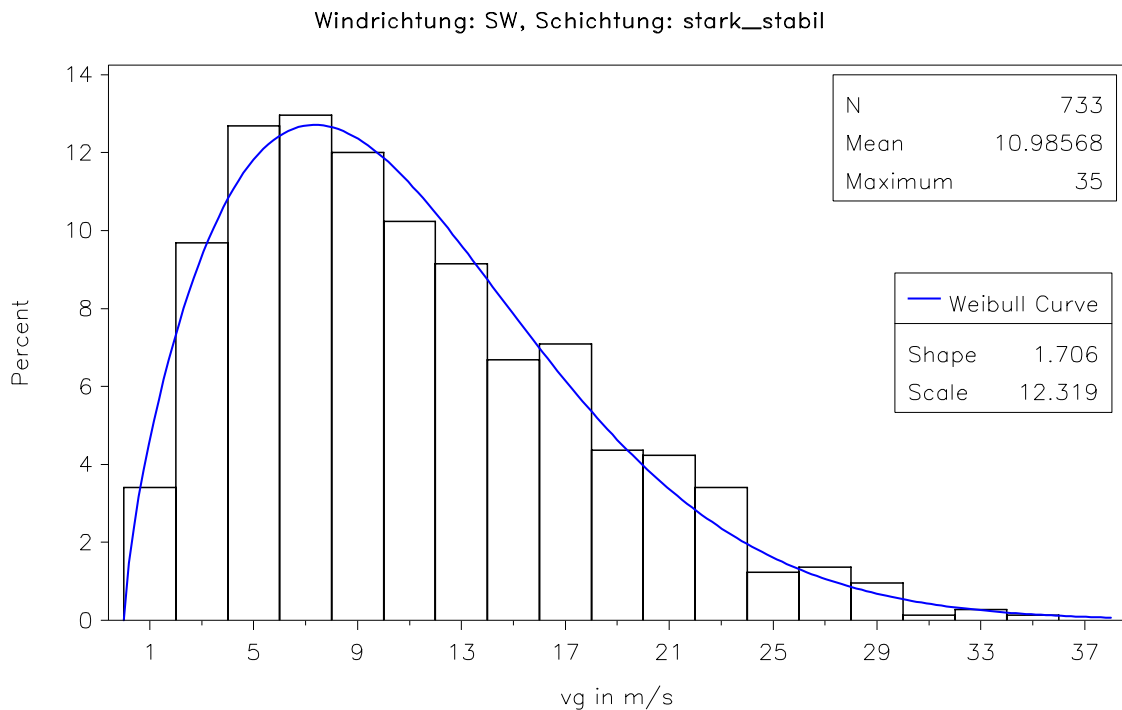


Abb. 1: Verteilung der relative Häufigkeiten des Betrags der großräumigen Anströmung  $|v_g|$  im Fall einer Anströmung aus SW und stark stabiler Schichtung.

Mit der jeder Klasse zugeordneten Windrichtung und typischen thermischen Schichtung wird ein numerisches regionales Klimamodell (KAMM) angetrieben (Noppel, 1999; Adrian und Fiedler, 1995). Dabei werden pro Klasse 5 unterschiedliche Werte von  $|v_g|$  vorgegeben (z.B. 4 m/s, 8m/s, 12 m/s, 16 m/s und 26 m/s), wobei diese Werte von Klasse zu Klasse variieren. Die  $24 \cdot 5 = 120$  numerischen Simulationen werden mit einer Gitterweite von 1 km für ein 160 km x 160 km großes Gebiet durchgeführt. Das Gebiet umfasst einen großen Teil des Oberrheingraben sowie den Schwarzwald und die Vogesen. Man erhält an jedem Gitterpunkt 120 Werte für die lokale Geschwindigkeit  $v$ . Den Werten von  $|v|$  wird anhand der Häufigkeit der Klasse und der Wahrscheinlichkeitsverteilung des vorgegebenen geostrophischen Windes  $|v_g|$  in dieser Klasse wiederum eine bestimmte Häufigkeit zugeordnet und man erhält schließlich an jedem Gitterpunkt eine „empirische“ Häufigkeitsverteilung der lokalen Geschwindigkeit  $|v|$  und kann nun z.B. die räumliche Verteilung des 99%-Quantils von  $|v|$  darstellen.

## Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt das resultierende 99%-Quantil  $v_{99}$ , die Geschwindigkeit, die in 99 % aller Fälle nicht überschritten wird, in ca. 13 m über der Vegetation bzw. der Bebauung.

Sehr hohe Werte von  $v_{99}$  treten im Schwarzwald vor allem an den West-, Süd-, und Südwestflanken der Berge oder Bergrücken auf. Im Südschwarzwald sind Werte von  $v_{99}$  von mehr als 16 m/s recht häufig, während sie im Nordschwarzwald nur an wenigen Stellen, vor allem am Westrand des Gebirges und an den Westhängen des Murgtales, das etwa von Rastatt nach Freudenstadt verläuft, auftreten. Dies ist zum einen auf die insgesamt niedrigere Orographie aber auch auf den besseren Schutz durch die Vogesen und den Südschwarzwald bei einer Anströmungen aus Süd bis West zurückzuführen.

Sehr selten treten hohe Windgeschwindigkeiten vor allem am Westrand der Vogesen und dem Ostrand des Schwarzwaldes, also den flach abfallenden und weniger stark gegliederten Teilen der Mittelgebirge, auf.  $|v_{99}|$  liegt dort niedriger als im Oberrheingraben selbst, wo vor allem bei einer Anströmung parallel zum Tal recht hohe Windgeschwindigkeiten auftreten können.

## Vergleich mit Beobachtungen

Abbildung 3 zeigt den Vergleich mit der Auswertung von 30-jährigen Messreihen in Freudenstadt, Freiburg und auf dem Feldberg. Dargestellt sind die 50%-, 95%-, und 99%-Quantile aus der Messung und aus der „synthetischen“ Verteilung (Modell), die sich am nächstgelegenen Gitterpunkt ergibt. Qualitativ ist die Übereinstimmung sehr gut. In beiden Fällen erhält man die niedrigsten Werte in Freudenstadt, die höchsten auf dem Feldberg. Auch quantitativ erhält man eine gute Übereinstimmung, vor allem in Freiburg. Am Feldberg wird Windgeschwindigkeit vom Modell systematisch unterschätzt und auch in Freudenstadt ergeben sich für das 95%- und 99%-Quantil zu niedrige Werte. Gründe für die Unterschiede sind unter anderem, dass die Lage der Station nicht genau mit der Lage des Gitterpunktes übereinstimmt. Zusätzlich findet in dem numerischen Modell trotz der schon relativ hohen horizontalen Auflösung von 1 km eine gewisse Glättung der Orographie und des Geschwindigkeitsfeldes statt, wodurch sowohl extrem niedrige als auch extrem hohe Werte seltener auftreten.

Insgesamt zeigt sich, dass das angewandte Verfahren geeignet ist, um aus der Statistik der großräumigen Strömung auf die Statistik der kleinräumigen Verhältnisse zu schließen, auch gerade im Hinblick auf den Starkwindfall. Als nächsten Schritt sollen mit Hilfe von Methoden der Extremwertstatistik die Daten weiter bearbeitet werden, um z.B. Karten der Jährlichkeiten extremer Windgeschwindigkeiten erstellen zu können, die in der Praxis als Grundlage für die Bewertung eines bestimmten Standortes, z.B. in der Forstwirtschaft im Hinblick auf die Windbruchgefahr, dienen zu können.

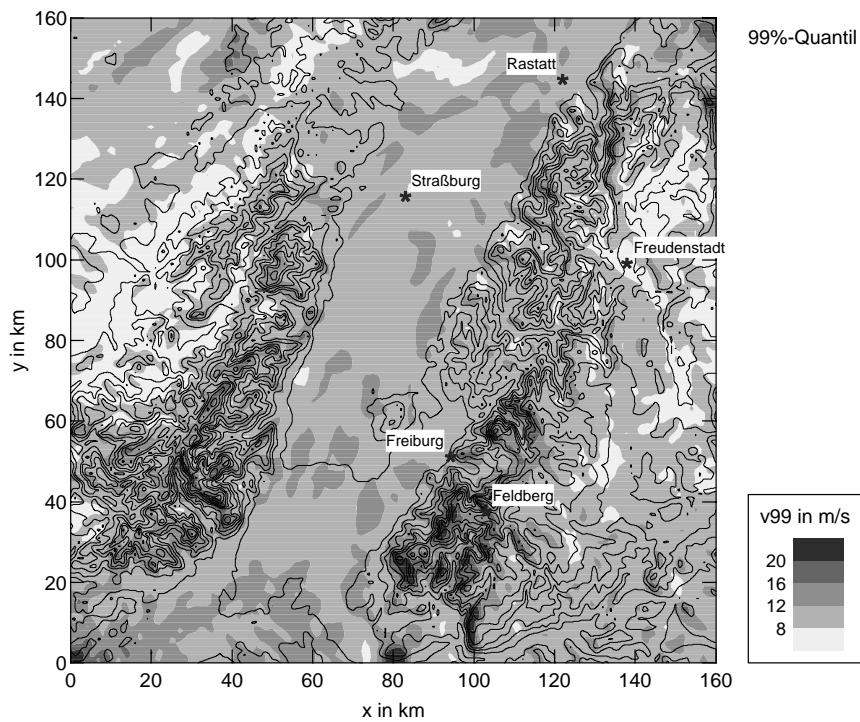


Abb. 2: Das 99%-Quantil der lokalen Windgeschwindigkeit in ca. 13 m über dem Bestand mit Höhenlinien der Orographie.

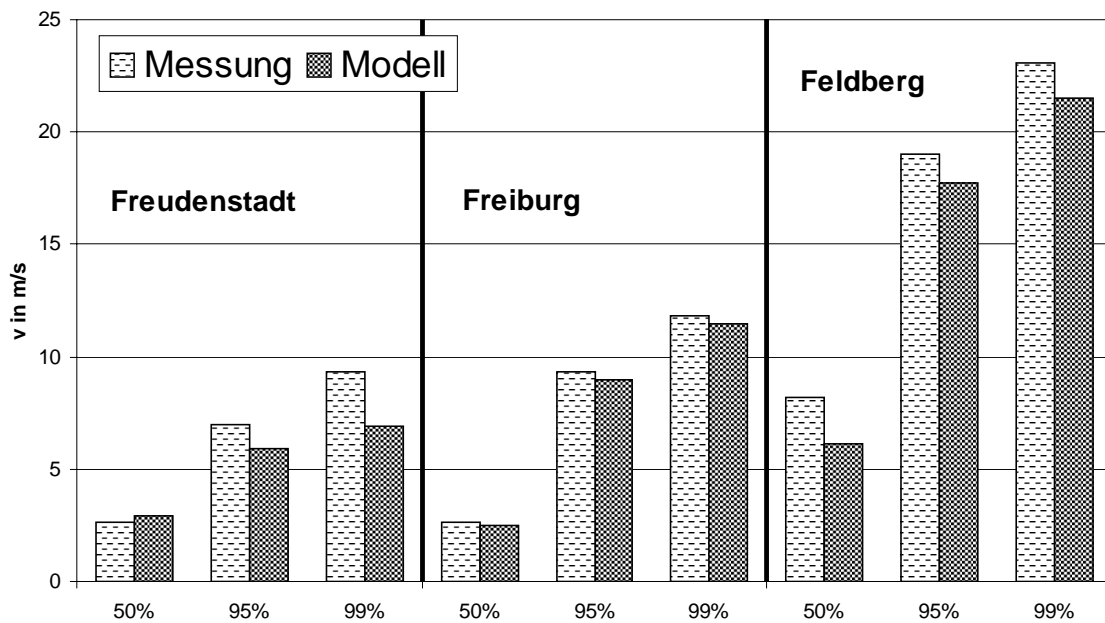


Abb. 3: Vergleich der Quantile aus Messungen in Freudenstadt, Freiburg und auf dem Feldberg mit denen, die am nächstgelegenen Gitterpunkt aus dem Modell resultieren.

## Literatur

- Adrian, G., 1994: Zur Dynamik des Windfeldes über orographisch gegliedertem Gelände. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 188.
- Adrian, G. and F. Fiedler, 1995: Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain. Beitr. Phys. Atmosph. 64, 27-48.
- Münchener Rück, 1999: Naturkatastrophen in Deutschland – Schadenerfahrungen und Schadenpotentiale. Münchener Rückversicherungsgesellschaft.
- Noppel, H., 1999: Untersuchung des vertikalen Wärmetransports durch die Hangwindzirkulation auf regionaler Skala. Wiss. Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruhe, Nr. 25.