

**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul

Telefon: +49 (0) 351 / 8 39 14 - 0

E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

**FACHINFORMATIONSSYSTEM
METEOKART GIS,
MODUL WINDFELD FÜR
TEILGEBIET „OSTERZGEBIRGE“**

- FACHBERICHT -

Auftraggeber: Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie
Zur Wetterwarte 11
01109 Dresden

Dipl.-Met. A. Moldenhauer
Dipl.-Ing. H. Lorentz

Dr.-Ing. T. Flassak

November 2004
Projekt 70100-03-10
Berichtsumfang 56 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN.....	4
2	EINGANGSDATEN	5
2.1	Lage des Untersuchungsgebietes	5
2.2	Digitales Höhenmodell und Landnutzung	6
2.3	Bodennahe Ausbreitungsklassenstatistik	9
2.4	Höhendatenzeitreihe	11
3	VORGEHENSWEISE	13
3.1	Analyse Höhendatenzeitreihe.....	13
3.2	Windfeldrechnung mit METRAS-PC.....	17
3.3	Stationäre Windfeldrechnung mit METRAS-PC	18
3.4	Instationäre Strömungsrechnung bei autochtoner Wetterlage.....	20
3.5	Ermittlung von zweidimensionalen Windstatistiken	21
3.6	Übertragung der Ausbreitungsklassen	21
4	ERGEBNISSE	24
4.1	Stationäre Windfeldrechnung mit METRAS-PC	24
4.2	Instationäre Strömungsrechnung bei autochtoner Wetterlage.....	25
4.3	Qualitätssicherung (QS)	29
4.3.1	Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit	30
4.3.2	Windstatistiken auf Basis der stationären Windfeldrechnungen	33
4.3.3	Berechnung der Windverteilungen.....	35
4.3.4	Übertragung Ausbreitungsklasse.....	39
4.4	Fazit	40
5	GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER BERECHNETEN WIND- UND AUSBREITUNGSSTATISTIKEN.....	42
6	AUSBLICK.....	43

7 LITERATUR	44
ANHANG A1: BODENNAHE STATIONÄRE WINDFELDER	46
ANHANG A2: ZEITREIHE HÖHENWINDDATEN SACHSEN UND BODENNAHE DATEN DER STATION ZINNWALD-GEORGENFELD FÜR 1997	54

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

Temperaturgradient und Inversionen

Die Lufttemperatur nimmt im zeitlichen Mittel mit zunehmender Höhe ab. Im Jahresmittel beträgt diese höhenbedingte Temperaturabnahme durchschnittlich 0.65 K pro 100 m Höhenstufe. Im Sommer und Frühjahr erhöht sich der Betrag der Temperaturabnahme, während er sich im Herbst und im Winter erniedrigt. Unter besonderen meteorologischen Bedingungen kann aber auch eine Temperaturzunahme mit zunehmender Höhenlage beobachtet werden. Hierbei spricht man von Inversionswetterlagen.

Luftschichtungszustände

Wird ein Luftpaket aus seiner Ruhelage heraus vertikal verschoben, so ändert sich dessen Temperatur. Ist nun der Temperaturverlauf der ruhend gedachten Umgebung so beschaffen, dass das Luftquantum durch positive oder negative Auftriebskräfte wieder in seine Ausgangsposition zurückgetrieben wird, so nennen wir die Temperaturschichtung **stabil**. Genügt umgekehrt eine kleine Verschiebung aus der Ruhelage zur endgültigen Entfernung des Luftpaketes, so liegt entsprechend eine **labile** Schichtung vor. Zwischen beiden Möglichkeiten liegt die thermisch **neutrale** Schichtung, bei der das vertikal verschobene Luftpaket in jeder Position in einem indifferenten Gleichgewicht ist, d. h. keine Auftriebskräfte auftreten.

Dieses Stabilitätsverhalten übt einen grundlegenden Einfluss auf den vertikalen Austausch von Luftbeimengungen - und damit auch auf die Luftqualität - aus. Eine stabile Schichtung wird im Vergleich zum neutralen Fall diesen Austausch behindern, im Extrem unterbinden, sodass bei Vorhandensein von bodennahen Schadstoffquellen, wie z. B. eine Bundesstraße, hohe Schadstoffkonzentrationen auftreten können; thermische Labilität wird dagegen zu einer mehr oder minder starken Durchmischung eines Luftpaketes und damit zu einer Intensivierung des Vertikalaustausches mit daraus resultierenden niedrigeren Schadstoffkonzentrationen im Nahbereich einer Straße führen.

Kaltluftstaugebiete und Kaltluftsammlbereiche

Geländemulden, Senken und Täler wirken als nächtliche Kaltluftsammlbereiche. Die dort in windschwachen wolkenarmen Strahlungs Nächten von den Kaltlufteinzugsgebieten der Hänge und Höhen zusammenfließende Kaltluft lässt niedrigere nächtliche Temperaturminima entstehen, die am Tage - insbesondere im Sommer - durch die tälertypischen Übergangstemperaturen im statistischen Mittel wieder ausgeglichen werden. Extrem niedrige nächtliche Temperaturminima ergeben sich, wenn eingeflossene Kaltluft an Strömungshin-

demnächst zu einem stagnierenden Kaltluftsee aufgestaut wird. Es sind dies auch jene spät- und frühfrostgefährdenden Bereiche, in welchen frostempfindliche Sonderkulturen häufiger als im Umland geschädigt werden können.

Emission / Immission

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug oder anderen Emittenten ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Gramm Schadstoff pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Luftschadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar, die sich auf Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Schutzgüter überwiegend nachteilig auswirken. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungspunkt ist μg (oder mg) Schadstoff pro m^3 Luft.

Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik

Für die Berechnung der Schadstoffimmissionen werden so genannte Ausbreitungsklassenstatistiken (AKS) benötigt. Das sind Angaben über die Häufigkeit bestimmter Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind. Eine Ausbreitungsklassenstatistik enthält somit auch Informationen über die Verdünnungsfähigkeit der Atmosphäre.

Eine Ausbreitungsklassenstatistik wird entsprechend Stand der Technik im sog. „neuen TA Luft-Format“ ausgegeben. Solch eine Statistik enthält die Auftretenshäufigkeiten für 36 Windrichtungsklassen (10° -Einteilung), 9 Geschwindigkeitsklassen und 6 Ausbreitungsklassen jeweils entsprechend TA Luft. Sie ist standardmäßig auf 100 000 Fälle normiert. Die Ausbreitungsklassen werden entsprechend TA Luft unterteilt in: stark stabil (I), stabil (II), neutral (III/1), neutral (III/2), labil (IV) und sehr labil (V).

Höhenwindstatistik

Das sind Angaben über die Häufigkeit der Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre in einer gewissen Höhe, z.B. 1500 m über NN. Diese Höhe entspricht einem Druck von ca. 850 hPa. Die Höhenwindstatistik muss nicht, wie oben beschrieben, im sog. „neuen TA Luft-Format“ ausgegeben werden.

Potentielle Temperatur

Die potentielle Temperatur eines Luftvolumens ist diejenige Temperatur, die es bekommt, wenn man es auf einen Referenzdruck, z. B. 1000 hPa, bringt.

Mit Hilfe der potentiellen Temperatur lässt sich einfach ermitteln, ob eine Schichtung stabil, neutral oder instabil ist. Bei stabiler Schichtung nimmt die potentielle Temperatur mit der Höhe zu, bei neutraler Schichtung ist die potentielle Temperatur konstant und bei labiler Schichtung nimmt die potentielle Temperatur mit der Höhe ab.

Geostrophischer Wind

Der geostrophische ist der beschleunigungsfreie Gleichgewichtswind, der sich aus einem Gleichgewicht der Corioliskraft und der Druckgradientkraft ergibt. Der geostrophische Wind ist eine gute Näherung für den realen Wind, zumindest oberhalb der planetaren Grenzschicht.

Der geostrophische Wind weht stets parallel zu den Isobaren (=Linien gleichen Druckes).

Die Windstärke wird durch den Isobarenabstand bestimmt. Dicht zusammenliegende Isobaren sind ein Ausdruck für eine hohe Druckgradientkraft, und damit auch für einen starken geostrophischen Wind.

1 VERANLASSUNG UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

Die Prognose von Immissionskenngrößen mit Ausbreitungsmodellen für die Mikro- und Mesoskala erfordert als Eingangsdaten zwingend eine für das jeweilige Untersuchungsgebiet repräsentative Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik. Diese Daten stehen oft nicht zur Verfügung oder sie stammen von Stationen, die für den Standort nicht repräsentativ sind.

Dieses Defizit soll durch Windstatistiken auf der Basis von Modellrechnungen (so genannte „synthetische Windstatistiken“) behoben werden. Diese Windstatistiken können des Weiteren auch für die Qualitätssicherung gemessener Windstatistiken herangezogen werden.

Die berechneten Ausbreitungsklassenstatistiken sollen mit Hilfe einer Auswertesoftware tabellarisch und grafisch dargestellt werden können. Außerdem ist ein Datenexportfilter vorzusehen. Das Osterzgebirge ist als Testgebiet zu betrachten. Im Rahmen von weiterführenden Arbeiten, die nicht Gegenstand des hier vorgelegten Gutachtens sind, ist eine Ausdehnung auf ganz Sachsen geplant.

2 EINGANGSDATEN

2.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das zu betrachtende Untersuchungsgebiet ist in **Abb. 2.1** dargestellt. Es handelt sich um den Bereich des Osterzgebirges. Das dargestellte Untersuchungsgebiet entspricht demjenigen Gebiet, welches vom Auftraggeber vorgegeben wurde, reduziert um die Bereiche außerhalb von Sachsen. Diese Reduktion war notwendig, da die Datengrundlagen zur Windfeldberechnung auf tschechischem Gebiet nur in einer sehr groben Auflösung vorliegen und dementsprechend die dortige Aussagesicherheit für die gewählte horizontale Auflösung nicht gewährleistet ist.

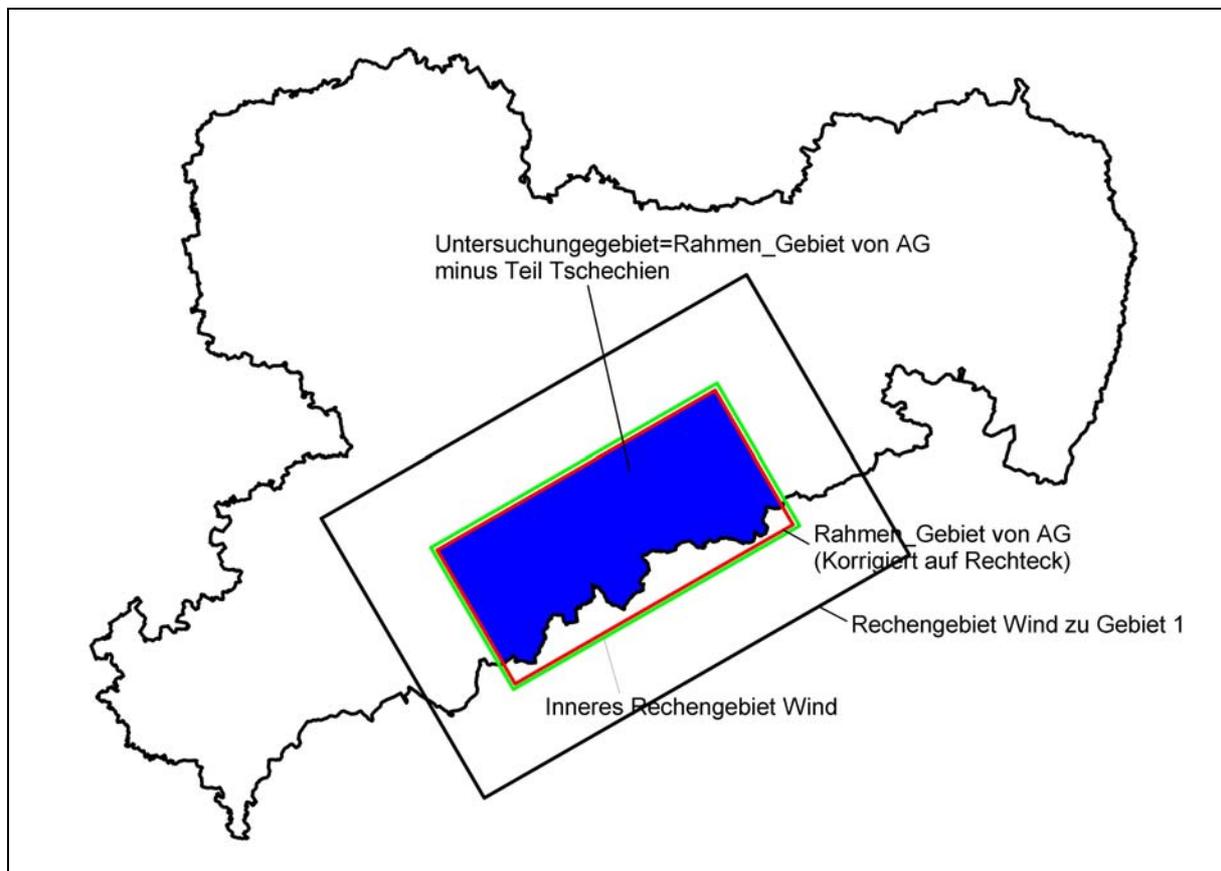


Abb. 2.1: Definition Untersuchungsgebiet und Rechengebiete

2.2 Digitales Höhenmodell und Landnutzung

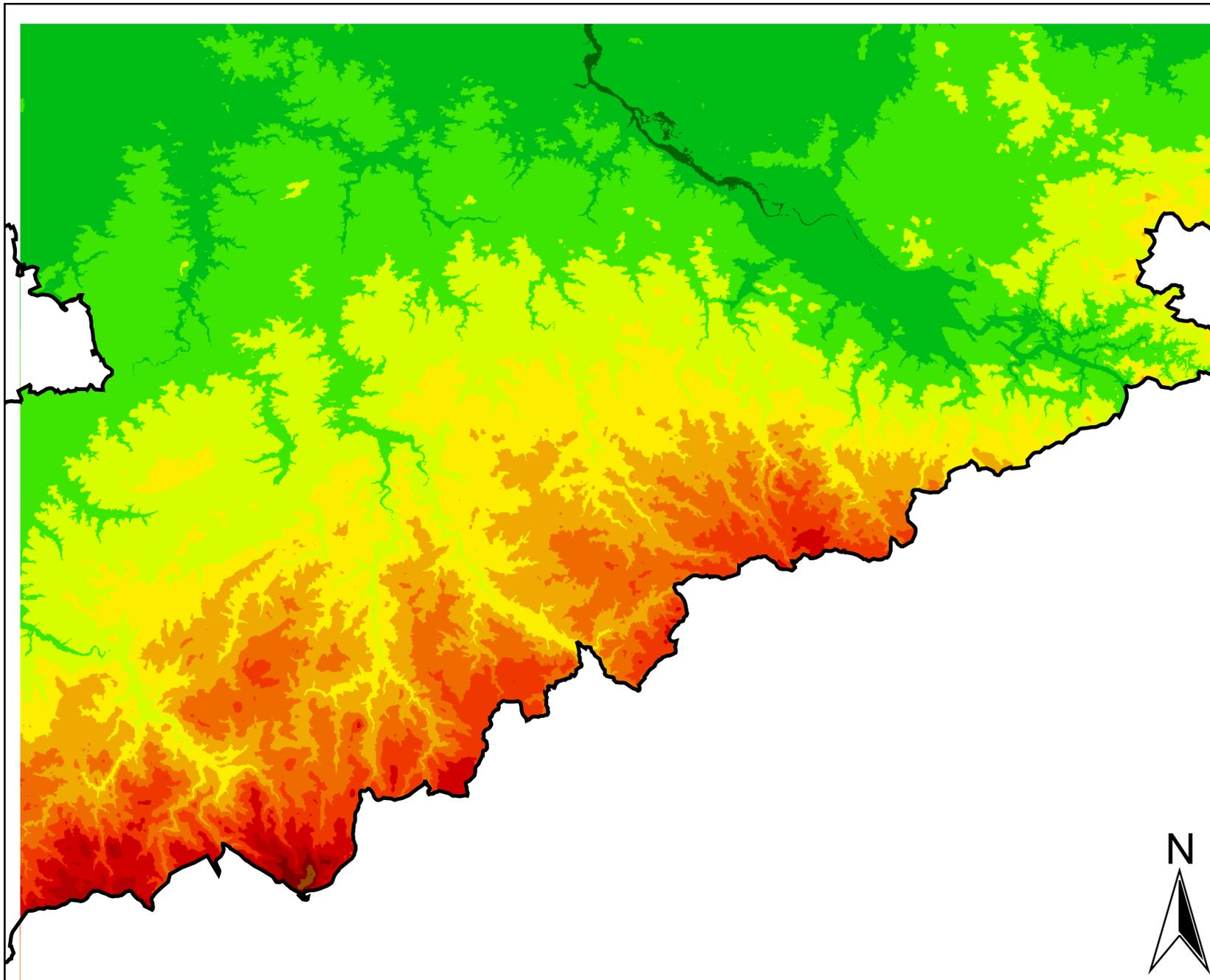
Für die Windfeldrechnung mit dem prognostischen mesoskaligen Modell METRAS-PC werden Informationen zur Orographie und zur Landnutzung für das gesamte Untersuchungsgebiet sowie in der Umgebung desselben benötigt. Die Daten zum Relief entstammen für den Bereich Sachsens vom Auftraggeber und entsprechen den ATKIS-DGM-25-Daten des Sächsischen Landesvermessungsamtes. Außerhalb Sachsens lagen keine Angaben vor. Deshalb wurden diese Daten aus der Datenbank GTOPO30 (EROS Data Center, 2000) entnommen. Die horizontale Auflösung dieser Daten ist jedoch mit ca. 1 km x 1 km relativ grob. Für die Aussagegüte der Windverhältnisse in Sachsen ist dies jedoch in den meisten Gebieten ausreichend. Es können jedoch in grenznahen Bereichen Ungenauigkeiten nicht ausgeschlossen werden.

Auch die Landnutzungsdaten wurden nur für den sächsischen Bereich zur Verfügung gestellt. Deshalb wurden diese über die Sachsendgrenze hinaus anhand von vorliegenden topografischen Karten ergänzt, wobei jedoch nur größere Rauigkeitshindernisse (Waldflächen) aufgenommen wurden. Außerhalb der nachdigitalisierten Waldflächen wurde im tschechischen Gebiet Freiland angesetzt. Der damit verbundene Fehler bei den Windfeldrechnungen wird jedoch außer in Grenznähe als gering eingeschätzt.

Für die Berechnung mit METRAS wird ein rechteckiges inneres Rechengebiet (70 km x 35 km) definiert, welches das Untersuchungsgebiet vollständig einschließt. Um Randeffekte auszuschließen, werden die Berechnungen tatsächlich auf einer Fläche (104 km x 69 km) vorgenommen, das das innere Rechengebiet und einen ca. 17 km breiten Saum umfasst (**Abb. 2.1**). Das Rechengebiet wird um 30° gegen Nord gedreht (siehe **Abb. 2.1**). Die entsprechenden DHM- und Landnutzungsdaten wurden für die o. g. Rechengebiete aufbereitet.

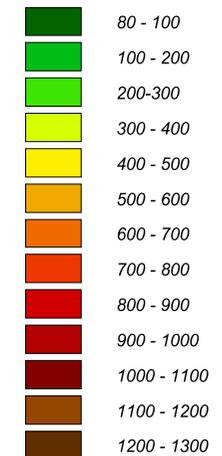
Die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Angaben zur Landnutzung (ATKIS-DLM-Daten) wurden in die Landnutzungsklassen des Windfeldmodells METRAS überführt. Das für die Rechnung aufbereitete digitale Höhenmodell sowie Landnutzungsmodell ist für die in Sachsen liegenden Bereiche des Rechengebietes in **Abb. 2.2** und **2.3** dargestellt.

Für das Untersuchungsgebiet erfolgte eine visuelle Prüfung der Daten. Auffälligkeiten konnten nicht festgestellt werden.



Relief Osterzgebirge

Höhe über NN in m



 Landesgrenze Sachsen

Bearbeitung:  Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG
Mohrenstraße 14, 01445 Radebeul
Telefon 0351/ 83914-0

Auftraggeber:
LfUG Sachsen

Windstatistik und Kaltluft Osterzgebirge

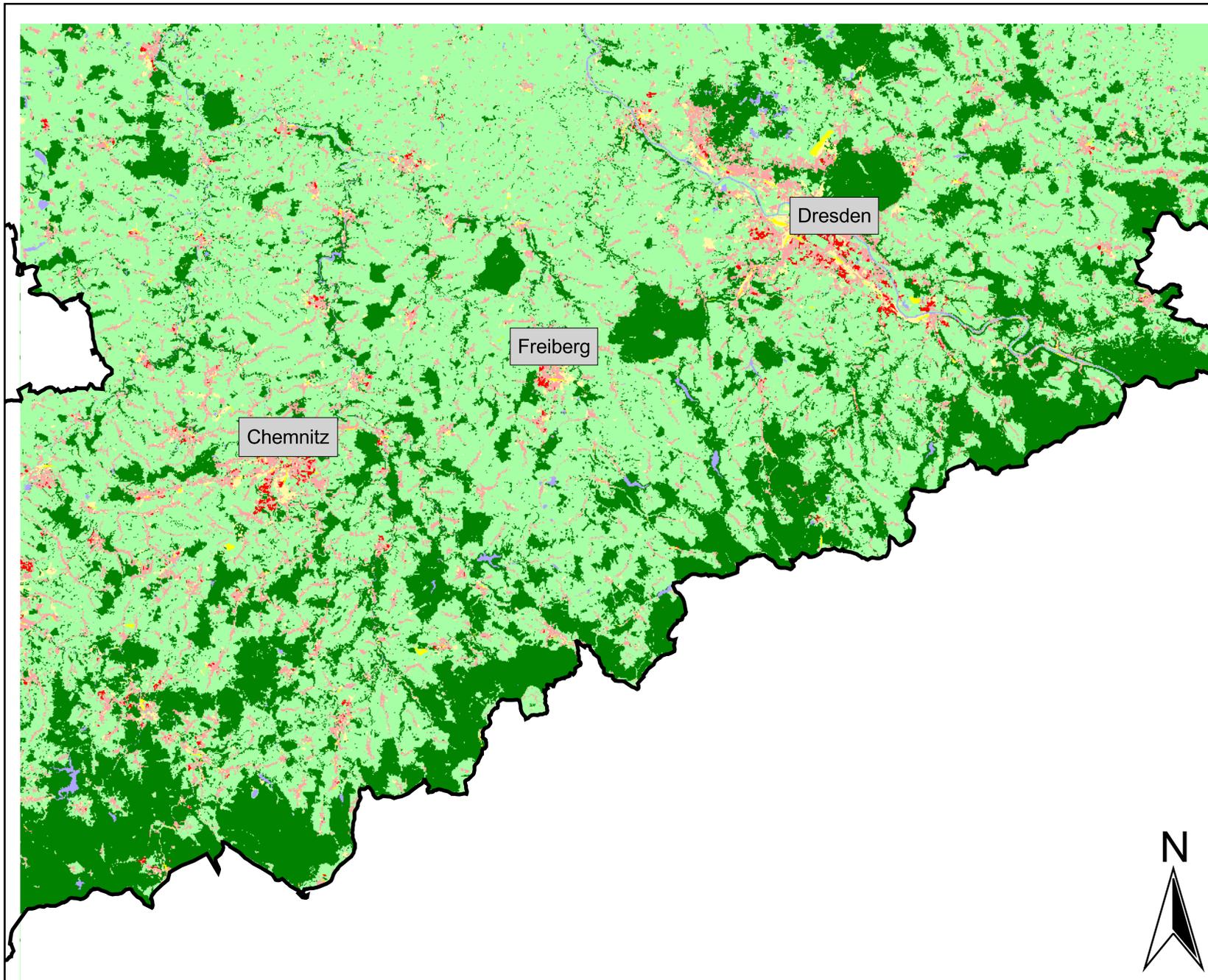
METEOKART

	Datum	Zeichen
gezeichnet	27.10.04	DS
geprüft	27.10.04	MOL
Projekt	70062; 70100	

10 0 10 Kilometer




Abb. 2.2



Landnutzung Osterzgebirge

- Lockere Bebauung*
- Wald*
- Freiland*
- Dichte Bebauung*
- Wasser*
- Verkehrsflächen*
- Gewerbe*
- Landesgrenze Sachsen*

Bearbeitung: **Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG**
 Mohrenstraße 14, 01445 Radebeul
 Telefon 0351/ 83914-0

Auftraggeber:
LfUG Sachsen

Windstatistik und Kaltluft Osterzgebirge

METEOKART

	Datum	Zeichen
gezeichnet	27.10.04	DS
geprüft	27.10.04	MOL
Projekt	70062; 70100	

10 0 10 Kilometer



Abb. 2.3

2.3 Bodennahe Ausbreitungsklassenstatistik

Um Ausbreitungsklassen auf synthetische Windstatistiken zu übertragen, werden gemessene Ausbreitungsklassenstatistiken benötigt. Im Untersuchungsgebiet liegt die DWD-Messstelle Zinnwald-Georgenfeld, deren Daten für das hier vorliegende Projekt vom DWD zur Verfügung gestellt wurden (DWD, 2004).

Die Messstelle befindet sich in 882 m Höhe über NN im südlichen Teil von Georgenfeld und wird vom DWD als repräsentativ für die Kammlagen des Osterzgebirges (Höhenbereich 800 - 900 m über NN) betrachtet.

Der Messgeber für die Windmessung befindet sich in 18 m über Grund. Diese Messung ist jedoch laut Angaben des DWD für die ungestörten Verhältnisse in 10 m über Grund im Freiland repräsentativ.

Die **Abb. 2.4** zeigt die Windverteilung an o. g. Messstation.

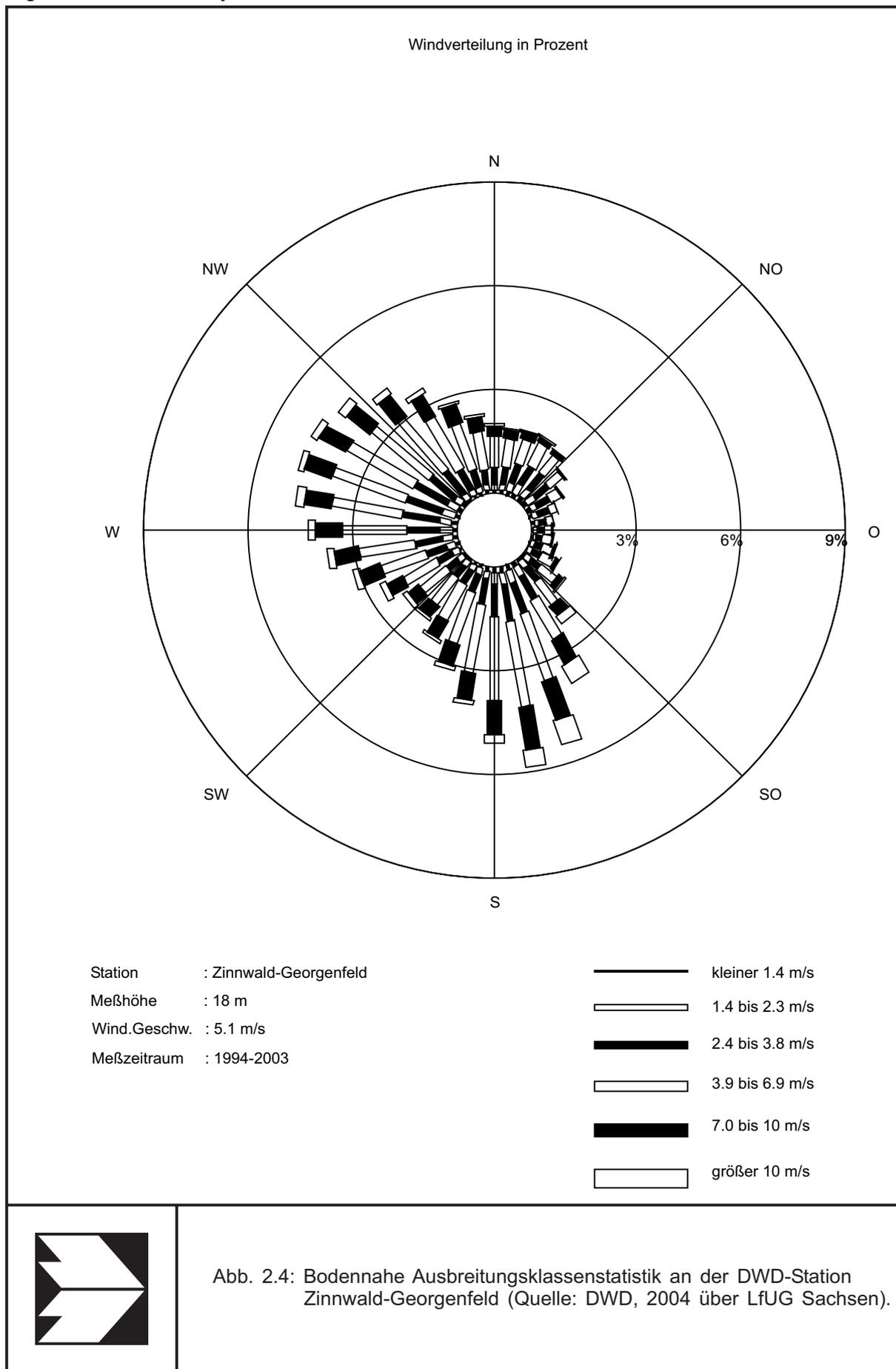
Die Hauptwindrichtung ist West bis Nordwest, ein Nebenmaximum tritt bei südlichen Winden auf. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 5.1 m/s.

In **Tab. 2.1** ist die Verteilung der Ausbreitungsklassen an der Messstation dargestellt.

Ausbreitungsklasse	Kürzel	Häufigkeit [%]
stark stabil	I	4.5
stabil	II	9.6
neutral I	III/1	67.8
neutral II	III/2	11.2
labil	IV	4.6
sehr labil	V	2.3

Tab. 2.1: Auftretenshäufigkeit der Ausbreitungsklasse an der DWD-Station Zinnwald-Georgenfeld

In etwa 80 % der Fälle treten neutrale Schichtungen auf. Dies wurde aufgrund der Lage der Station und den hohen Windgeschwindigkeiten dort auch so erwartet.



2.4 Höhendatenzeitreihe

Das [ECMWF](#) (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, England) stellt für den Zeitraum von Mitte 1957 bis (im Moment) Mitte 2002 Reanalysedaten als Höhendatenzeitreihen in einem Intervall von 6 Stunden zur Verfügung.

Reanalysedaten werden gewonnen mit Hilfe einer dreidimensionalen Variationsmethode unter Verwendung von Satellitendaten, Vertikalsondierungen und [TOVS](#), [SSM/I](#), [ERS](#) and [ATOVS](#) Daten.

Für das Projekt wurden uns vom Auftraggeber eine Zeitreihe der Reanalysedaten für den Zeitraum von 1992 bis 2002 in 6-stündiger Auflösung zur Verfügung gestellt. Die Zeitreihe enthält Daten für 14612 Termine. Daten sind die u- und v-Komponente der Geschwindigkeit und die Temperatur für das 850 hPa-Druckniveau, die Temperatur für das 925 hPa-Druckniveau und der Bewölkungsgrad.

Abb. 2.5 zeigt die Verteilung der Höhenwindzeitreihe dargestellt als Höhenwindstatistik. Es ist zu erkennen, dass vorwiegend Winde aus Süd-West bis Nord-West vorherrschen.

Die Temperaturen im 850- und 925 hPa-Druckniveau werden für die Klassifizierung der Stabilität der Atmosphäre verwendet.

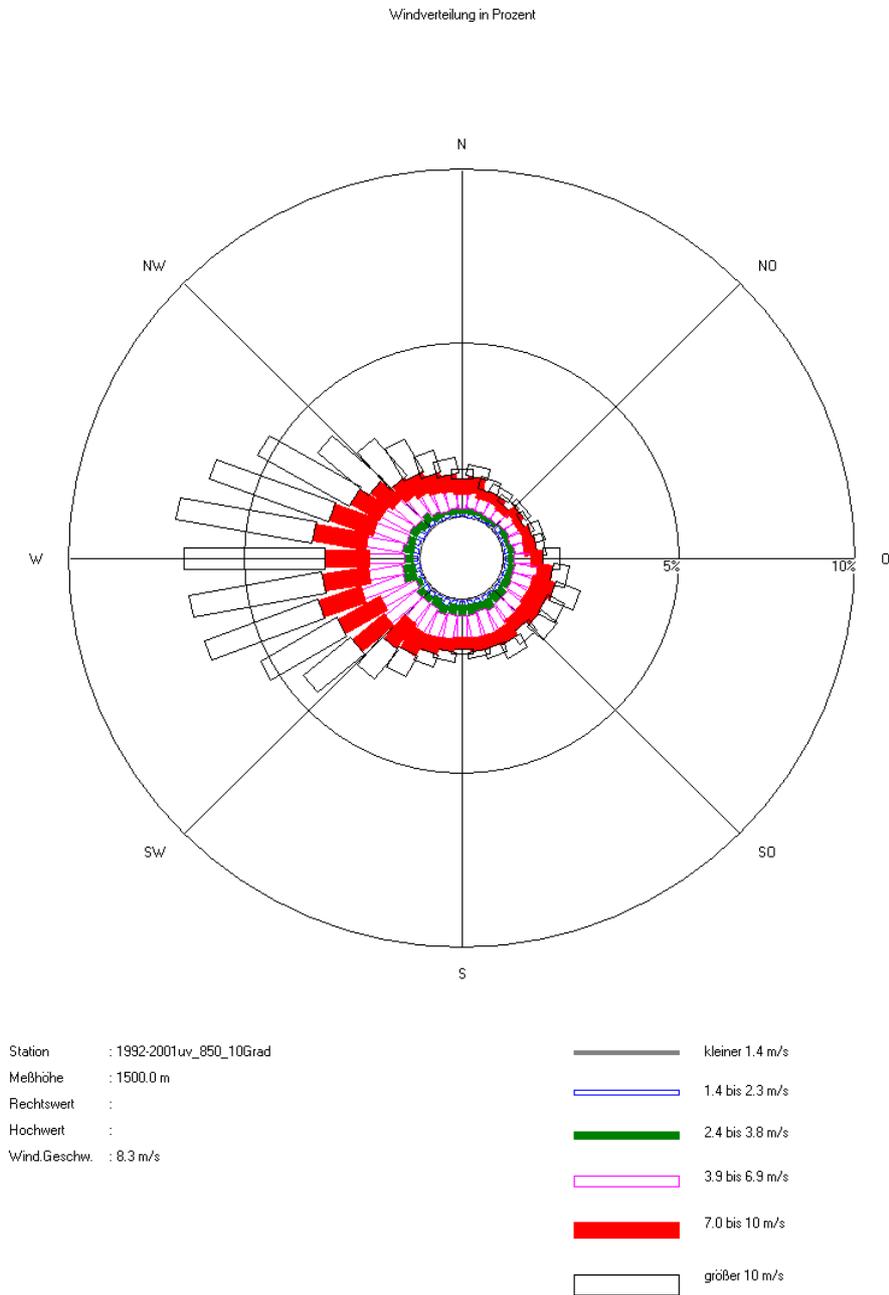


Abb. 2.5 Verteilung der Höhenwindzeitreihe dargestellt als Höhenwindstatistik

3 VORGEHENSWEISE

3.1 Analyse Höhendatenzeitreihe

Die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Höhendatenzeitreihe wurde analysiert, um häufige Fälle zu identifizieren. **Abb. 3.1** zeigt die Zeitreihe des Betrags der Windgeschwindigkeit im 850 hPa-Niveau für den Zeitraum 1992 – 2002.

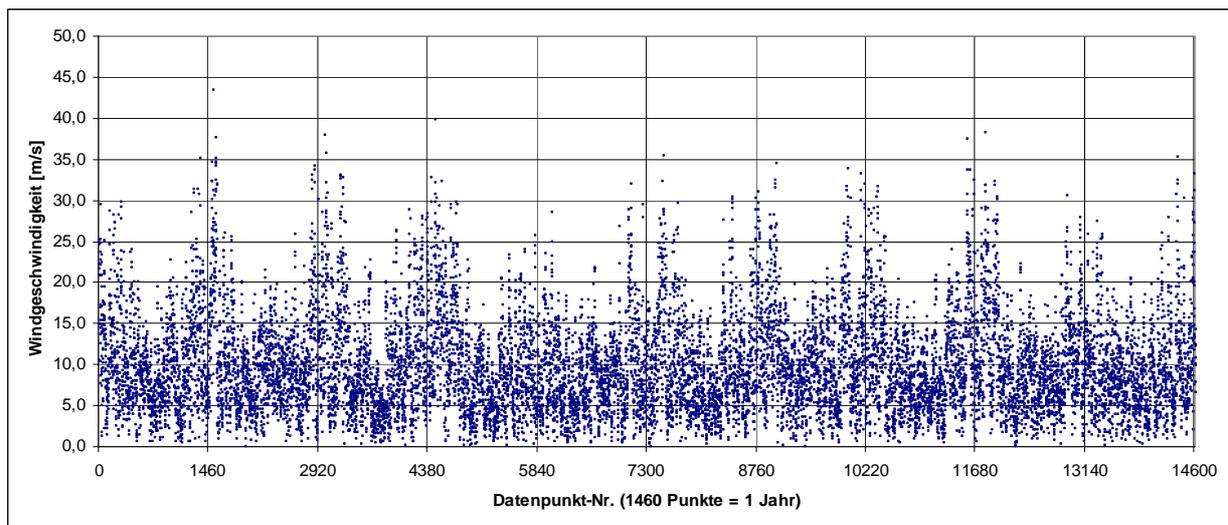


Abb. 3.1: Zeitreihe des Betrags der Windgeschwindigkeit im 850 hPa-Niveau für Zeitraum 1992 – 2002

Wird der Betrag der Windgeschwindigkeit nach der Größe sortiert, erhält man eine Häufigkeitsverteilung. Diese Verteilung ist in **Abb. 3.2** dargestellt. Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass der Median der Verteilung der Windgeschwindigkeit bei 8,8 m/s liegt, der 90 %-Perzentilwert beträgt 17 m/s.

Die Temperaturzeitreihe für das 850 hPa und 925 hPa-Niveau wurden in potentielle Temperaturen umgerechnet und die Differenz gebildet. Eine positive Temperaturdifferenz bedeutet eine stabile Schichtung, eine negative Temperaturdifferenz eine labile Schichtung. Ist die Differenz null, so ist die Schichtung neutral. **Abb. 3.3** zeigt die Zeitreihe der Differenz der potentiellen Temperatur zwischen 850 hPa und 925 hPa-Niveau für Zeitraum 1992 – 2002. Zu erkennen ist der Jahresgang der Temperaturschichtung mit höherer atmosphärischer Stabilität im Winterhalbjahr im Vergleich zum Sommerhalbjahr.

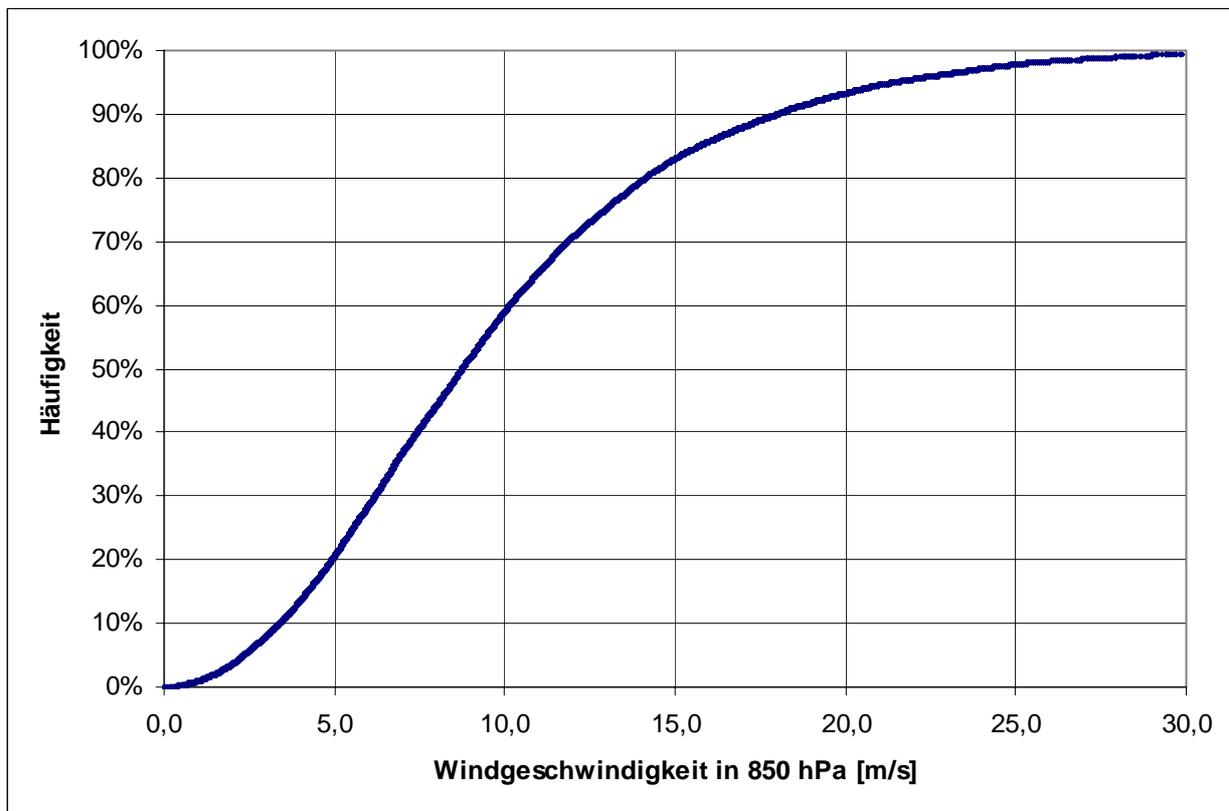


Abb. 3.2: Häufigkeitsverteilung des Betrags der Windgeschwindigkeit im 850 hPa-Niveau für Zeitraum 1992 – 2002

Wird die Differenz der potentiellen Temperatur zwischen 850 hPa und 925 hPa-Niveau nach der Größe sortiert, erhält man eine Häufigkeitsverteilung. Diese Verteilung ist in **Abb. 3.4** dargestellt. Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass der Median der Verteilung der potentielle Temperaturdifferenz 2.6 K ist. Die Differenz von 850 hPa und 925 hPa-Niveau entspricht einer Höhendifferenz von ca. 750 m. Somit ergibt dies einen Gradienten von 3.5 K/km, dem Wert der Standardatmosphäre.

Die Korrelation zwischen Bewölkungsgrad und Windgeschwindigkeit bzw. potentieller Temperaturdifferenz ist gering (vgl. **Abb. 3.5** und **3.6**). Deswegen wird im Folgenden der Bewölkungsgrad nicht weiter betrachtet.

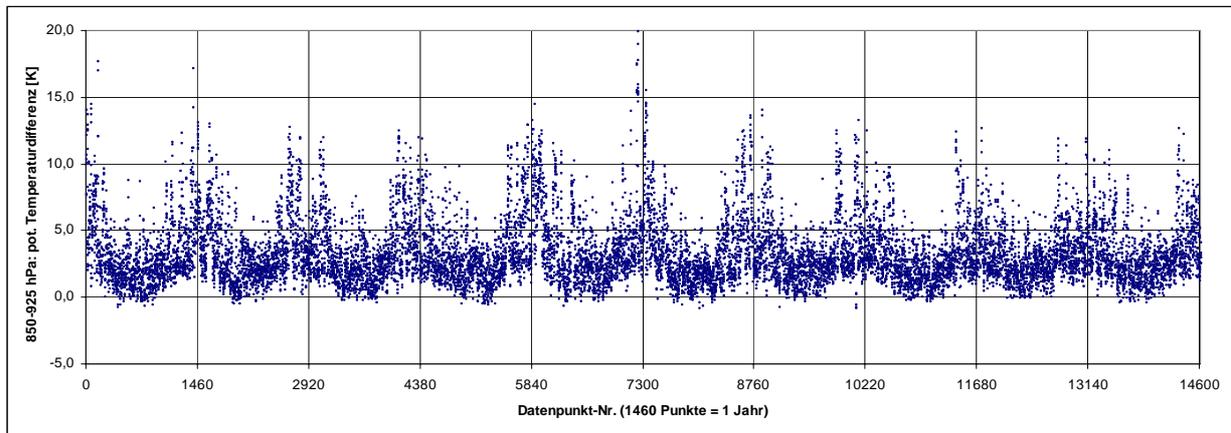


Abb. 3.3: Zeitreihe der Differenz der potentiellen Temperatur zwischen 850 hPa und 925 hPa-Niveau für Zeitraum 1992 – 2002

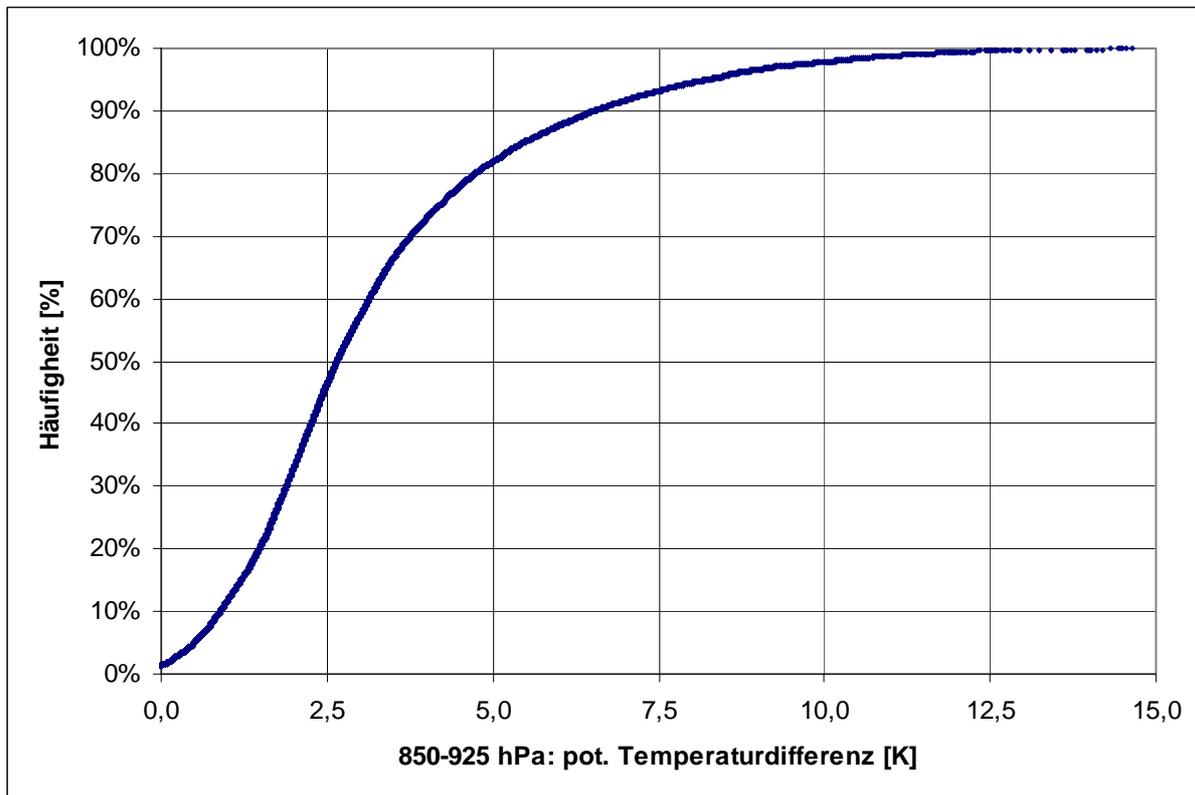


Abb. 3.4: Häufigkeitsverteilung der Differenz der potentiellen Temperatur zwischen 850 hPa und 925 hPa-Niveau für Zeitraum 1992 – 2002

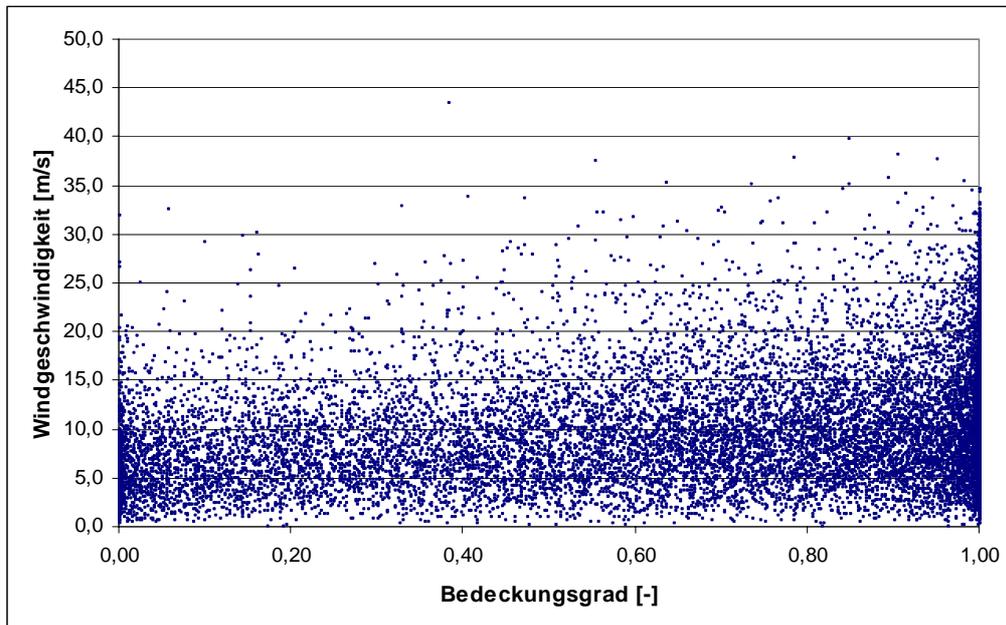


Abb. 3.5: Scatterdiagramm von Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit im 850 hPa-Niveau für Zeitraum 1992 – 2002

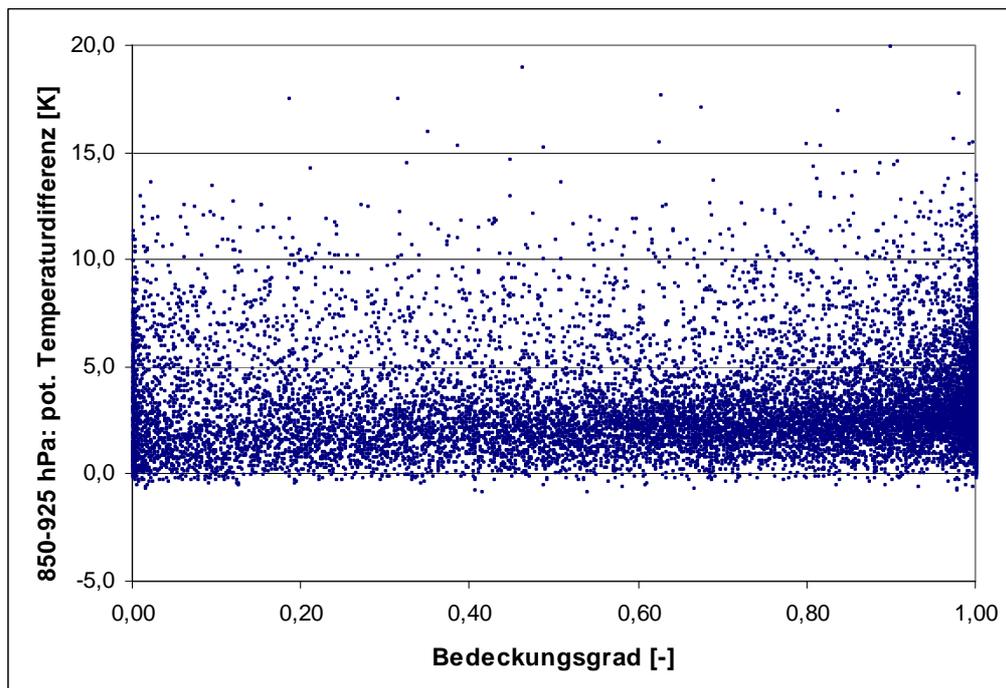


Abb. 3.6: Scatterdiagramm von Bedeckungsgrad und potentieller Temperaturdifferenz für Zeitraum 1992 – 2002

3.2 Windfeldrechnung mit METRAS-PC

Für das Untersuchungsgebiet wurden Simulationen mit dem Modell METRAS-PC durchgeführt. METRAS-PC¹ ist ein nicht-hydrostatisches mesoskaliges Modell. Es ist in Deutschland eingeführt und für den operationellen Einsatz vielfach erprobt. Es ist geeignet, lokal vorherrschende Strömungsverhältnisse hinreichend genau zu modellieren. Die vollständige Dokumentation zu dem Modell METRAS PC (physikalische Grundlagen, Approximationen, numerische Verfahren, Rand- und Anfangsbedingungen, Parametrisierungen) ist zu finden bei Schlünzen, H., Bigalke, K., Lüpkes, Ch. und Pankus, H (2001).

Das Berechnungsgebiet (**Abb. 3.7**) ist um 30 Grad gegen den Uhrzeigersinn gedreht. In **Abb. 3.7** zeigt der rot eingerahmte Bereich das gesamte Berechnungsgebiet. Der blau eingerahmte Bereich stellt den Kernbereich dar. Im Kernbereich ist die Maschenweite in horizontaler Richtung konstant und beträgt 500 m (schematische Darstellung der Rechenboxen siehe **Abb. 3.8**). Außerhalb der Kernbereichs nimmt die Maschenweite um den Faktor 1.2 zu.

Die METRAS-Rechnungen werden auf einem numerischen Gitter von 166 x 96 x 31 Rechenzellen durchgeführt. Die horizontale Erstreckung des gesamten Berechnungsgebiets beträgt 104 km x 69 km. Das Kerngebiet ist 70 km x 35 km groß. Der Modelloberrand liegt bei ca. 8.500 m Höhe über NN.

Die minimale Topografiehöhe beträgt 103 m, die maximale 1.081 m. Die mittleren Topografiehöhen in 500 m-Auflösung im inneren Kerngebiet (vgl. **Abb. 3.7**: blaue eingerahmtes Gebiet) zeigt **Abb. 3.9**. In der 500 m-Auflösung ist am deutlichsten das Flöhatal und das Zschopautal zu erkennen.

¹ METRAS PC wurde gemeinsam von dem Meteorologischen Institut der Universität Hamburg und METCON im Auftrag des Umweltbundesamtes im FE Projekt 104 04 354 aufbauend auf dem Modell METRAS entwickelt.

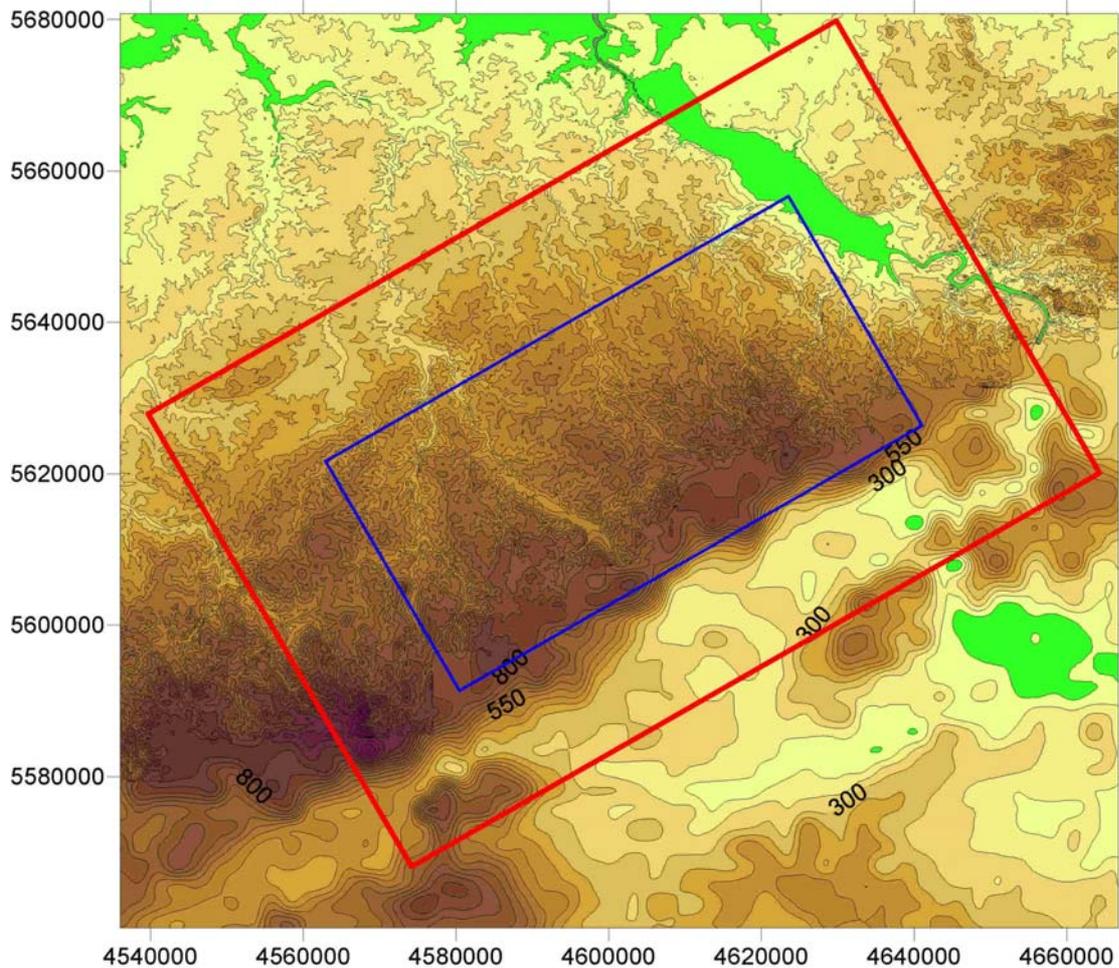


Abb. 3.7: Berechnungsgebiet für METRAS-PC. Roter Rahmen: Gesamtes Berechnungsgebiet; Blauer Rahmen: Kerngebiet

3.3 Stationäre Windfeldrechnung mit METRAS-PC

Auf Basis der Höhendatenzeitreihe wurden für

- vier atmosphärische Schichtungen und für
- zwei geostrophische Windgeschwindigkeiten

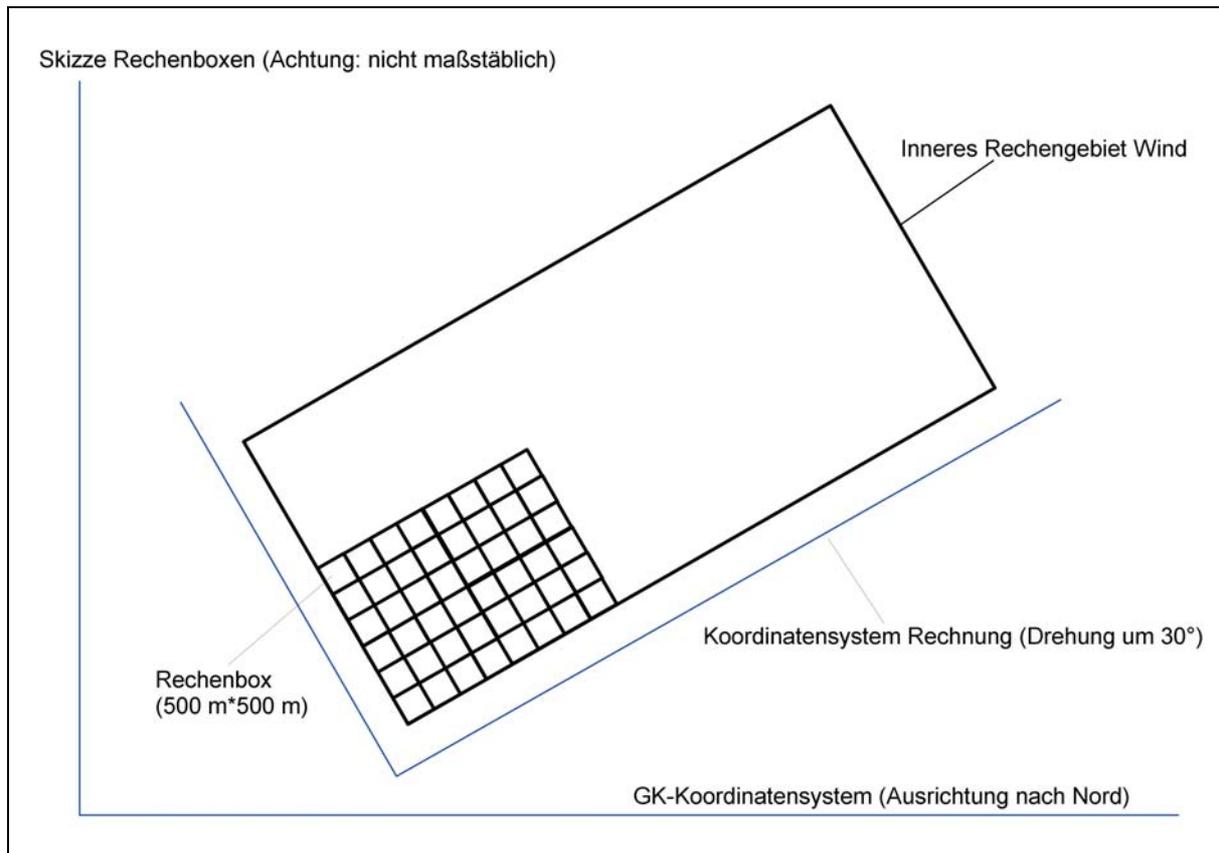


Abb. 3.8: Anordnung Rechenraster von METRAS-Rechnung

jeweils Simulationen mit METRAS-PC für 12 Windrichtungen durchgeführt. Die atmosphärischen Schichtungen wurden festgelegt mit einem potentiellen Temperaturgradienten von

- 3.5 K/km,
- das doppelte von 3.5 K/km, d. h. 7.0 K/km und
- die Hälfte von 3.5 K/km, d. h. 1.75 K/km sowie eine

neutrale Schichtung (neutral bis 1500 m über NN darüber stabil mit 3.5 K/km).

Für die oben festgelegten vier atmosphärischen Schichtungen beträgt die Häufigkeit der meteorologischen Situation 31 %, 40 %, 23 % bzw. 6 %. Dies bedeutet, dass die berechneten Windfelder für die atmosphärischen Schichtungen mit den potentiellen Temperaturgradienten von 3.5 K/km und 7.0 K/km die zu bestimmende Windverteilung am stärksten prägen. Eine neutrale Schichtung tritt nur selten auf.

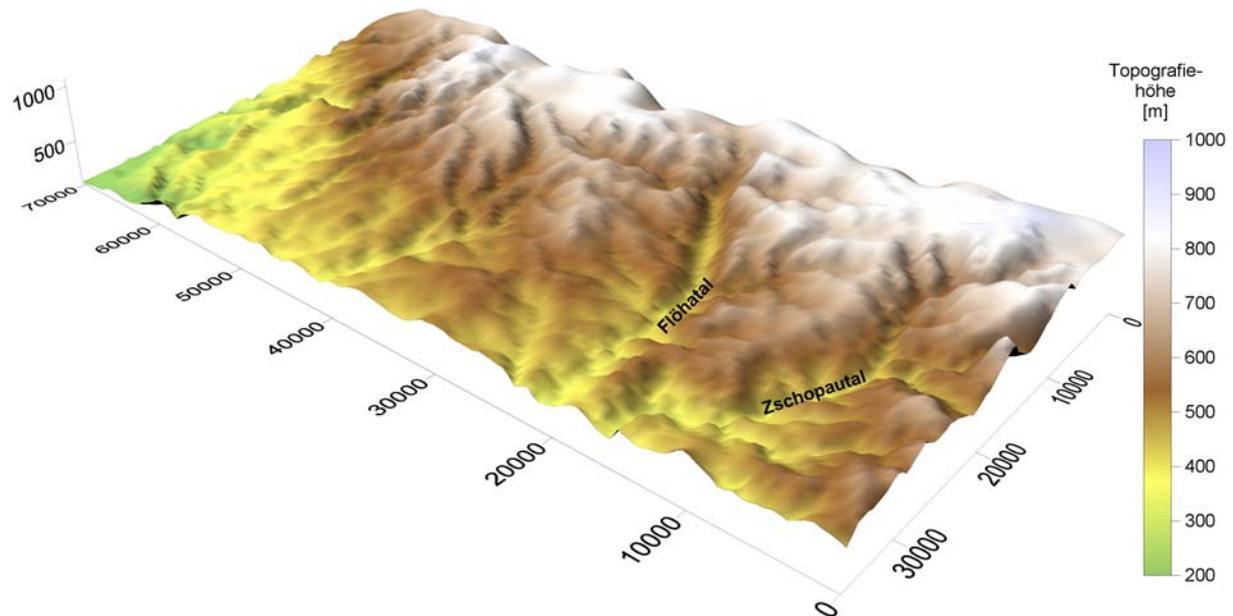


Abb. 3.9: Mittlere Topografiehöhe in 500 m Auflösung im inneren Kerngebiet (vgl. **Abb. 3.7** blau eingerahmtes Gebiet) von Nordwesten aus betrachtet, relative Koordinaten

Hinweis: Die hier betrachtete neutrale Schichtung liegt zwischen dem Höhenniveau 925 hPa und 850 hPa vor und ist nicht zu vergleichen mit der neutralen Schichtung in Bodennähe. Am Boden erwärmen sich die unteren Luftschichten aufgrund von Sonneneinstrahlung von unten her, sodass vertikale Durchmischungseffekte auftreten. In größeren Höhen über Grund wie bei den genannten beiden hPa-Niveaus sind solche Mischeffekte deutlich geringer ausgeprägt.

Als geostrophische Windgeschwindigkeit werden 3 m/s und 10 m/s festgelegt.

Somit wurden 4 x 2 x 12 stationäre Strömungsrechnungen mit dem Modell METRAS durchgeführt.

3.4 Instationäre Strömungsrechnung bei autochtoner Wetterlage

Für den Fall einer autochtonen Wetterlage wurde mit METRAS-PC eine instationäre Tagesgangsimulation durchgeführt. Beginn der Rechnung ist um Mitternacht. Es wurden 24 h simuliert. Die atmosphärische Schichtung betrug zu Beginn der Simulation 3.5 K/km. Der geostrophische Wind wird zu Null gesetzt.

3.5 Ermittlung von zweidimensionalen Windstatistiken

Auf Basis der 96 stationären mit METRAS-PC berechneten Windfelder und dem einen instationären Windfeld für autochtone Wetterlage werden mit der Höhendatenzeitreihe zweidimensionale Windstatistiken in 10-Grad-Teilung berechnet.

Im ersten Schritt wurde die Höhendatenzeitreihe in eine Höhen-Ausbreitungsklassenstatistik (Höhen-AKS) umgewandelt. Diese spezielle AKS besteht aus insgesamt 72 Windrichtungsklassen (jeweils unterteilt in 5°-Schritte) und 30 Windgeschwindigkeitsklassen (Klassenbreite = 1 m/s). D.h. die Windgeschwindigkeitsklasse 4 beispielsweise enthält alle Situationen mit Windgeschwindigkeiten von 3.5 bis 4.5 m/s. Es werden 4 Klassen für atmosphärische Schichtung entsprechend den im Abschnitt 3.3 definierten Schichtungen festgelegt.

Die Höhen-AKS wird zusammen mit den 96 Windfeldern auf zweidimensionale Bodenwindverteilungen in 10 Grad-Teilung abgebildet. METRAS-Windfelder, die in 30-Grad-Auflösung vorliegen, werden in den Zwischenbereichen vektoriell überlagert.

Die instationären Windfelder für autochtone Wetterlage werden ebenso auf zweidimensionale Bodenwindverteilungen in 10 Grad-Teilung aggregiert.

Die beiden zweidimensionalen Bodenwindverteilungen basierend auf der Höhen-AKS bzw. basierend auf der autochtonen Wetterlage werden überlagert. Hierbei muss die Häufigkeit des Auftretens solcher Wetterlagen bekannt sein. Nach ambimet (1996) beträgt die Häufigkeit autochtoner Wetterlagen in Thüringen etwa 11 % aller Sommertage. Im Winter treten geringere Häufigkeiten auf. Es ist davon auszugehen, dass in Sachsen überwiegend ähnliche Verhältnisse vorliegen wie in Thüringen. Die Häufigkeit der autochtonen Wetterlagen wurde deshalb im hier vorliegenden Projekt auf 10 % gesetzt. Dieser Ansatz erscheint auch im Hinblick auf die berechneten Windverteilungen plausibel.

3.6 Übertragung der Ausbreitungsklassen

Für eine Übertragung der Ausbreitungsklassen von der jeweiligen Referenzstation auf die Zielstation sind in der Literatur mehrere Verfahren beschrieben (Zenger, 1998).

- Das Brenk-Verfahren (Brenk, 1978) ist die einfachste Methode, eine synthetische, dreiparametrische Statistik aus meteorologischen Aufzeichnungen an zwei verschiedenen Standorten zu bilden. Hierbei wird die dreiparametrische Statistik aus einer Windrichtungs-

verteilung am Untersuchungsstandort und einer Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsklasse und Windgeschwindigkeit von der zu übertragenden Station durch Multiplikation gebildet. Voraussetzung ist, dass die mittlere Windgeschwindigkeiten am Untersuchungsstandort und an der benachbarten Station vergleichbar sind.

Durch das Brenk-Verfahren wird die physikalische Abhängigkeit der Windrichtung einerseits und Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse andererseits vernachlässigt. Tritt an einer Station z. B. eine stabile atmosphärische Schichtung vornehmlich aus bestimmten Richtungen auf, so geht diese Information durch die Anwendung des Brenk-Verfahrens verloren. Der offensichtliche Nachteil des Verfahrens wird damit gerechtfertigt, dass der Langzeitausbreitungsfaktor primär von der Häufigkeit der Windrichtungen abhängt. Untersuchungen für einen ausgewählten Fall belegen jedoch, dass bei einer Ausbreitungsrechnung durch eine Modifikation der Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik nach dem Brenk-Verfahren Fehler von bis zu $\pm 20\%$ bei dem Jahresmittelwert und bis zu 50% bei den 98-Perzentilwerten auftreten können (Zenger, 1996).

- Bei dem Zeitreihen-Verfahren benötigt man an dem Untersuchungsstandort eine mindestens einjährige Zeitreihe der Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Aus diesen Daten wird zusammen mit der für den selben Zeitraum vorliegenden Zeitserie der Bedeckungsdaten einer benachbarten Station eine dreiparametrische Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik erstellt.
- Die Verfahren 2 und 3 nach H. Kolb (1976).

Das Verfahren Nr. 2 beruht auf der Übertragung der Ausbreitungsklassenstatistik des Referenzortes in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Es wird also für jede Windgeschwindigkeitsklasse der prozentuale Anteil der einzelnen Ausbreitungsklassen bestimmt und auf die Windstatistik des Zielortes übertragen (Kolb, 1976).

Diese Methode Nr. 2 wird bei Verfahren Nr. 3 erweitert, indem auch die Windrichtungen bei der Übertragung der Ausbreitungsklassen mit berücksichtigt werden. Dies bedeutet, wenn bei einer festen Windrichtung mit einer festen Windgeschwindigkeit die Häufigkeiten des Auftretens verschiedener Ausbreitungsklassen in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen, dass dieses Verhältnis für die entsprechende Windrichtung und -geschwindigkeit am Zielort ebenfalls so auftritt. Dieses Verfahren kann an mangelnder Übereinstimmung der Windstatistiken beider Orte bezüglich der Windrichtungsverteilung scheitern.

Aufgrund des hier zu betrachtenden sehr großen Untersuchungsgebietes mit zahlreichen Taleinschnitten ist nicht davon auszugehen, dass die Bedingungen für die Anwendung des Verfahrens Nr. 3 nach Kolb an den Untersuchungsorten erfüllt sind. Aus diesem Grund erfolgt die Übertragung der Ausbreitungsklassen im hier vorliegenden Projekt nach dem Verfahren Kolb 2.

4 ERGEBNISSE

4.1 Stationäre Windfeldrechnung mit METRAS-PC

Abb. 4.1 zeigt für eine Abströmung von 270 Grad (Westanströmung) mit einem geostrophen Wind von 3 m/s und einer Schichtung von 3.5 K/km das bodennahe Windfeld (jeweils in 0 - 10 m über Grund). In der Abbildung ist nur jeder vierte Windpfeil dargestellt.

Die Abbildung zeigt auch die Lage der meteorologischen Messstellen Dresden-Großer Garten, Zinnwald-Georgenfeld sowie Chemnitz.

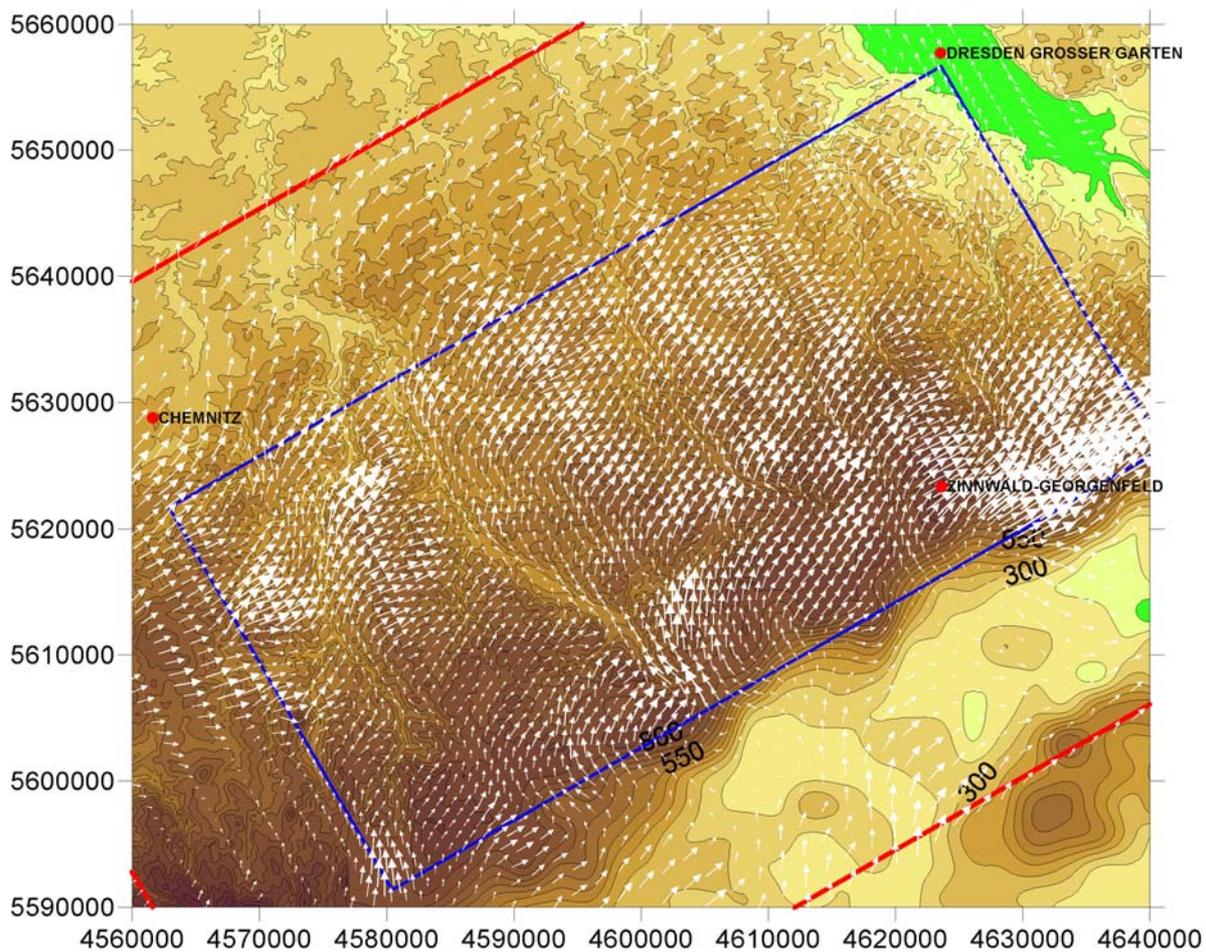


Abb. 4.1: Bodennahe Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophen Wind von 3 m/s und einer Schichtung von 3.5 K/km

Weitere bodennahe Windfelder für Westanströmung werden im Anhang A1 dargestellt. In **Abb. 4.1** ist die kanalisierende Wirkung des Flöhatalts deutlich zu erkennen. Ebenso bewirkt das Elbtal eine starke Kanalisierung. Die Strömung dreht trotz großräumiger Anströmung aus West nach Südost.

Südlich der meteorologischen Messstation Zinnwald-Georgenfeld stellt sich eine schwache bergauf gerichtete Strömung aus Süd bis Südost ein. Dieses Strömungsregime ist jedoch nicht genügend stark ausgeprägt, um bis zur meteorologischen Messstation Zinnwald-Georgenfeld zu reichen.

4.2 Instationäre Strömungsrechnung bei autochtoner Wetterlage

In den folgenden **Abb. 4.2** bis **4.5** wird jeweils das bodennahe Windfeld für 3 h, 9 h, 15 h und 21 h dargestellt.

Während der Nachtstunden (**Abb. 4.2** und **4.5**) ist die Windrichtungsverteilung sehr inhomogen und durch die Topografie geprägt. Es bilden sich Hang abwärts gerichtet Strömungen aus. In den Tälern vereinigen sich diese Strömungen und bilden Kaltluftabflüsse.

In **Abb. 4.3** ist die bodennahe Windverteilung für 9 Uhr dargestellt. Die nächtlichen Winde sind schon nahezu zum Erliegen gekommen. An einigen Hängen, z.B. südlich der Station Zinnwald-Georgenfeld hat sich die Strömungsrichtung schon gänzlich umgekehrt. Dort sind Bergwinde zu beobachten. In den nächsten Stunden (siehe **Abb. 4.4**) verstärken sich die Bergwinde und bilden größere Bergwindregime, und zwar zum einen das Bergwindregime an der Südflanke des Osterzgebirges zu Tschechien hin mit südlichen bis südwestlichen Winden und zum anderen im Nordosten des inneren Kerngebietes vom Elbtal beginnend ein Windregime mit östlichen Winden.

Im Vergleich zu den nächtlichen Windverhältnissen sind die Windverhältnisse während des Tages viel homogener. Dies ergibt sich aufgrund der Sonneneinstrahlung während des Tages und der hieraus stärkeren turbulenten Durchmischung der Atmosphäre.

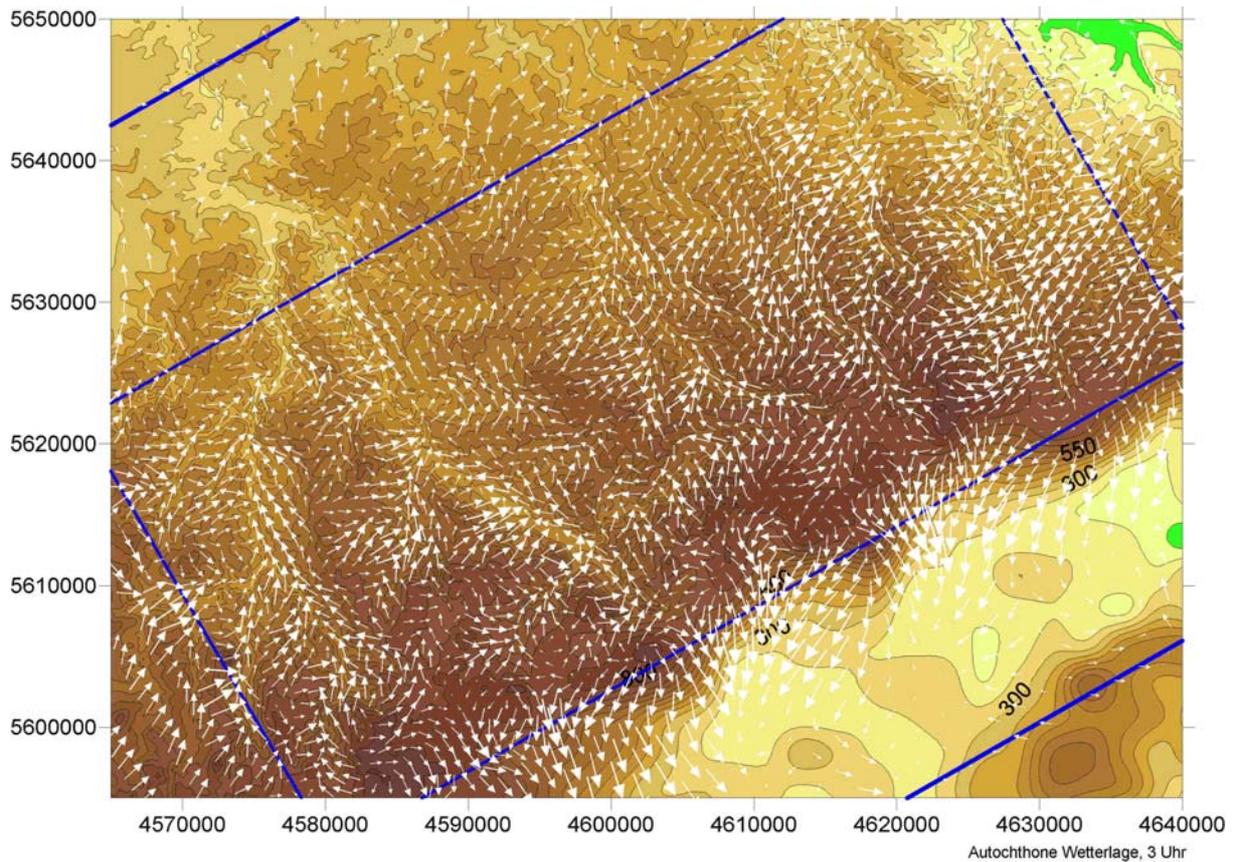


Abb. 4.2: Bodennahes Windfeld um 3 Uhr bei autochthoner Wetterlage

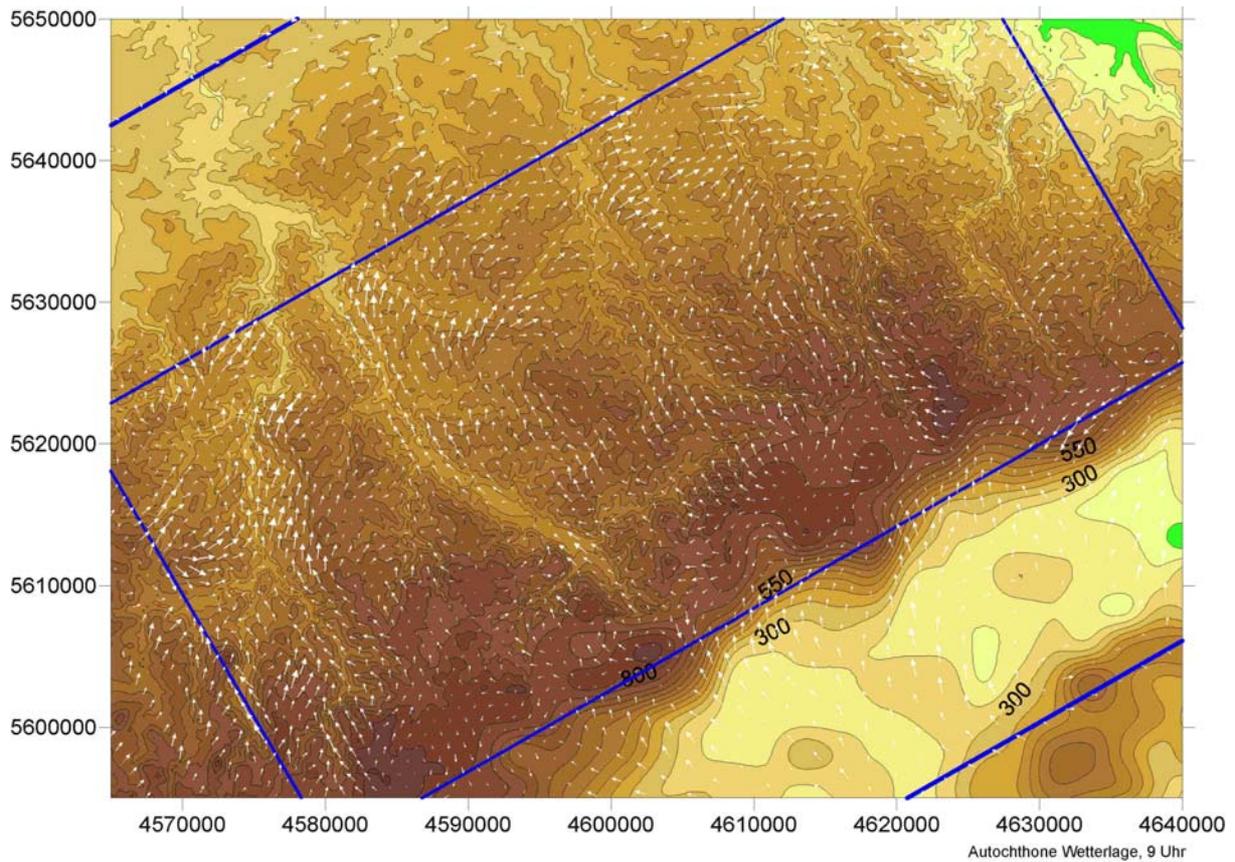


Abb. 4.3: Bodennahes Windfeld um 9 Uhr bei autochthoner Wetterlage

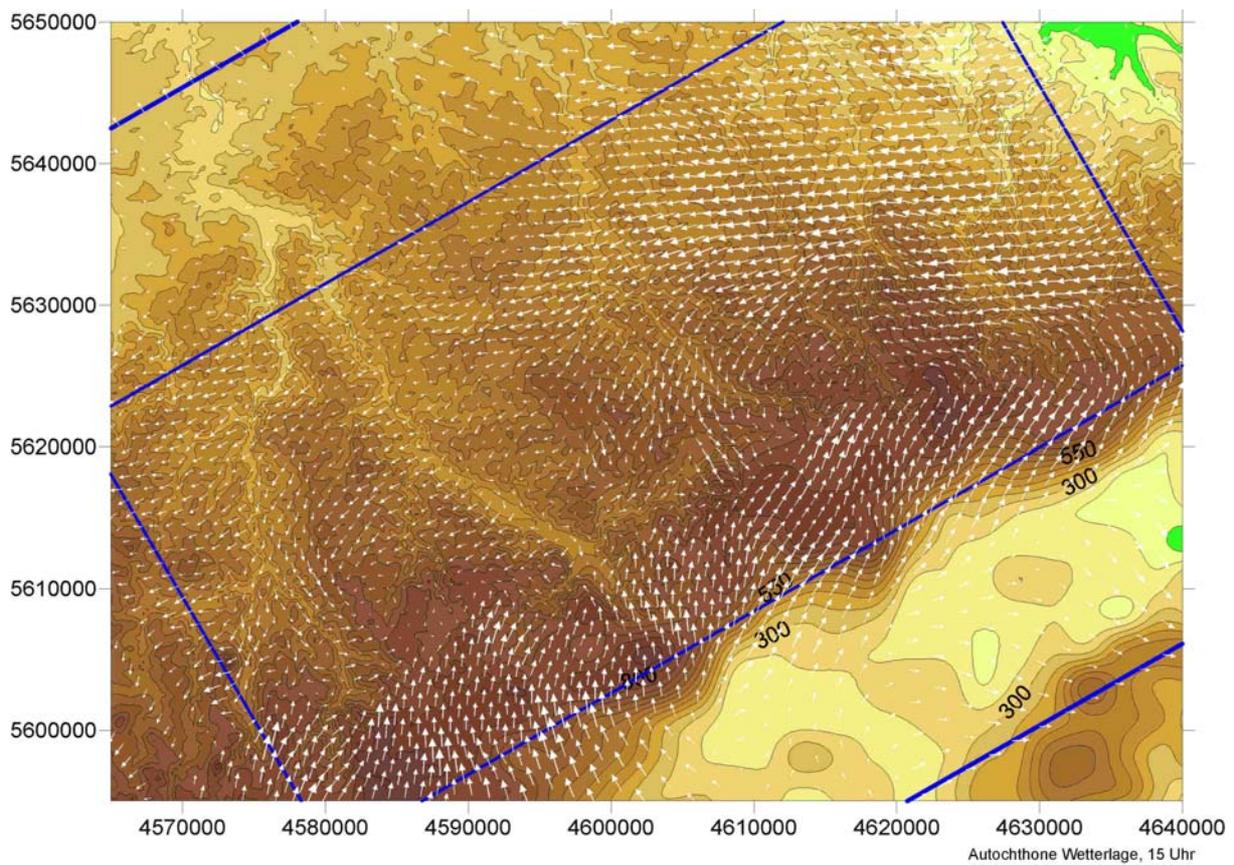


Abb. 4.4: Bodennahes Windfeld um 15 Uhr bei autochthoner Wetterlage

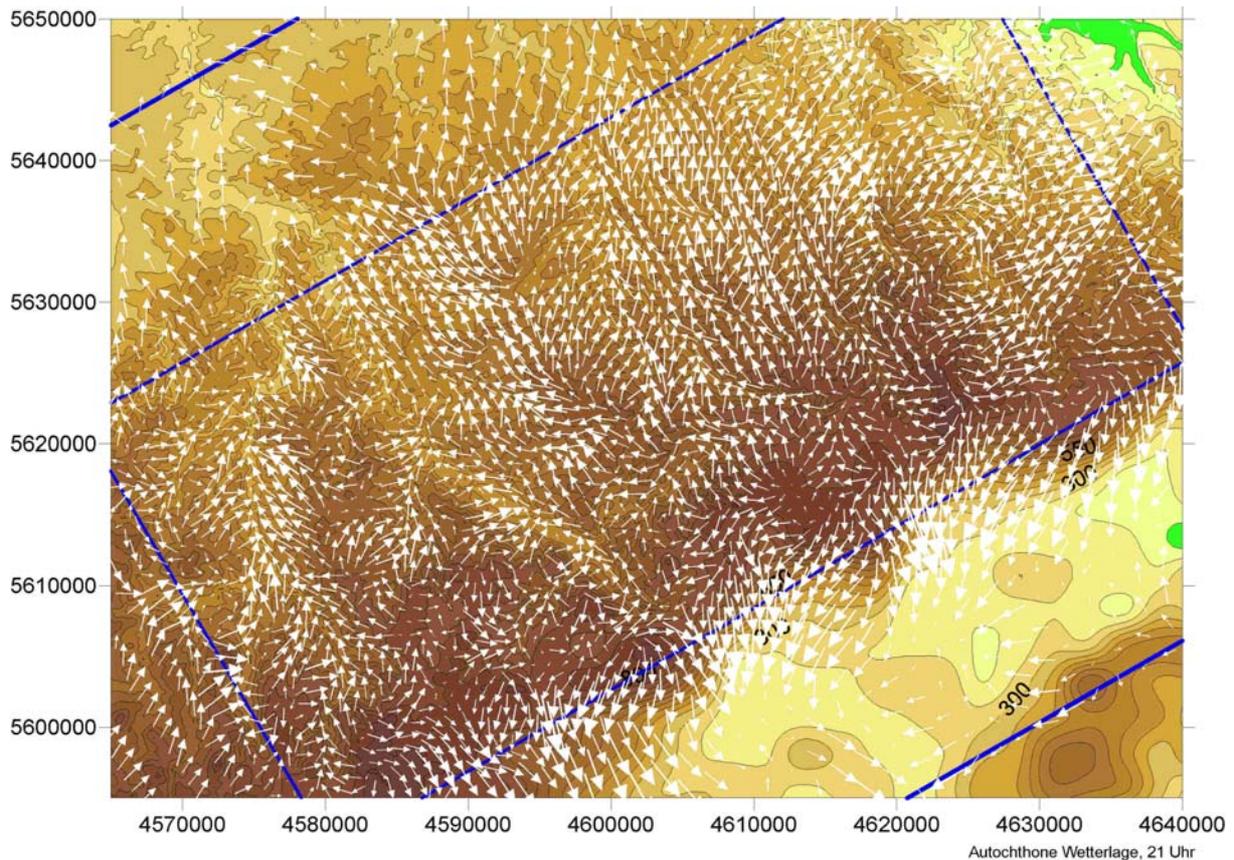


Abb. 4.5: Bodennahes Windfeld um 21 Uhr bei autochthoner Wetterlage

4.3 Qualitätssicherung (QS)

Zur Qualitätssicherung der Ergebnisse wurden die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen durchgeführt. Hierbei wurden die Ergebnisse zunächst auf Plausibilität geprüft. Des Weiteren erfolgte ein Vergleich mit folgenden Messdaten:

- Altenberg (Meteomedia & ArguSoft, 2004) und Zinnwald-Georgenfeld
- Dippoldiswalde (Meteomedia & ArguSoft, 2004) und
- Dresden-Klotzsche.

Da die Station Dresden-Klotzsche nicht mehr im inneren Kerngebiet liegt, wurde für den Vergleich eine berechnete Windstatistik auf der linken Elbseite in vergleichbarer geografischer Lage (RW: 4620882 m, HW: 5651119 m) wie die der Station Dresden-Klotzsche herangezogen.

4.3.1 Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit

Auf Basis der berechneten zweidimensionalen Windverteilungen wurde die mittlere Windgeschwindigkeit im inneren Kernbereich bestimmt und auf Plausibilität geprüft. **Abb. 4.6** zeigt eine perspektivische Darstellung der Topografie in 500 m-Auflösung im inneren Kerngebiet (vgl. **Abb. 3.7**: blau eingerahmtes Gebiet). In der Abbildung ist der Farbton ein Maß für die mittlere Windgeschwindigkeit.

In der Abbildung ist deutlich die Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit von der Topographiehöhe und von der Form der Topographie zu erkennen. In den Tälern sind wie zu erwarten die mittleren Windgeschwindigkeiten deutlich geringer im Vergleich zu den Höhenlagen.

Der Zusammenhang zwischen mittlerer Windgeschwindigkeit (= Mittelwert in 0 m - 10 m über Grund) und Höhe über NN (Topografiehöhe) wird in **Abb. 4.7** dargestellt. Für jeden Berechnungspunkt des 500 m-Rasters im inneren Kernbereich wurde die mittlere Windgeschwindigkeit bestimmt und als Datenpunkt in **Abb. 4.7** eingetragen.

Aus **Abb. 4.7** kann die Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit mit der Topografiehöhe abgeschätzt werden. Sie liegt im Bereich von 0.4 bis 0.7 m/s pro 100 m und damit in der gleichen Größenordnung wie der aus sächsischen Windmessdaten abgeleitete Wert nach Becker, 2004 (ca. 0.55 m/s). Insgesamt erscheinen die berechneten Windgeschwindigkeiten sowie deren horizontale Verteilung in sich plausibel.

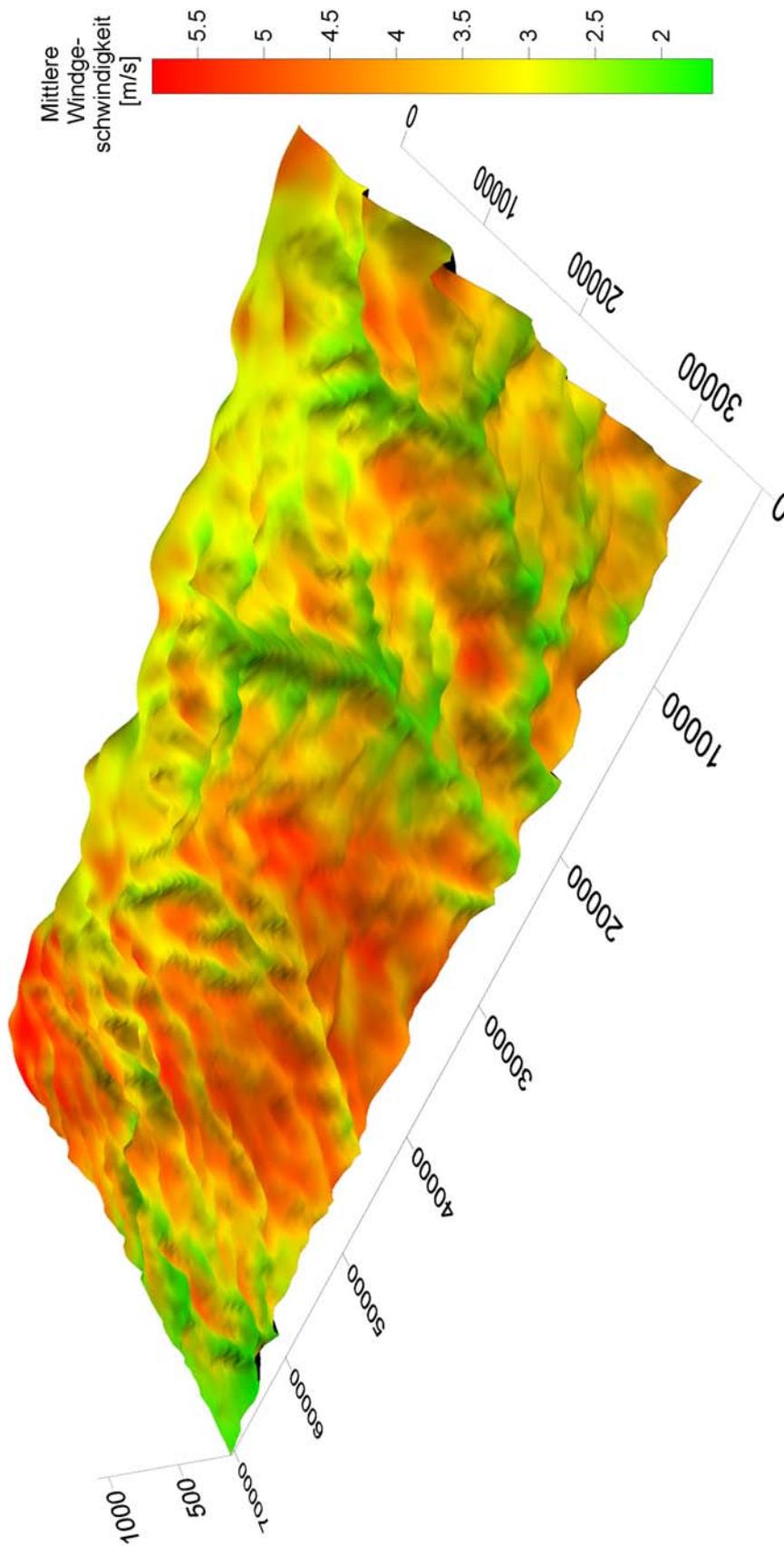


Abb. 4.6: Mittlere Windgeschwindigkeit dargestellt mit der Topografie in 500 m-Auflösung im inneren Kerngebiet (vgl. **Abb. 3.7:** blau eingerahmtes Gebiet) von Nordwesten aus betrachtet, relative Koordinaten.

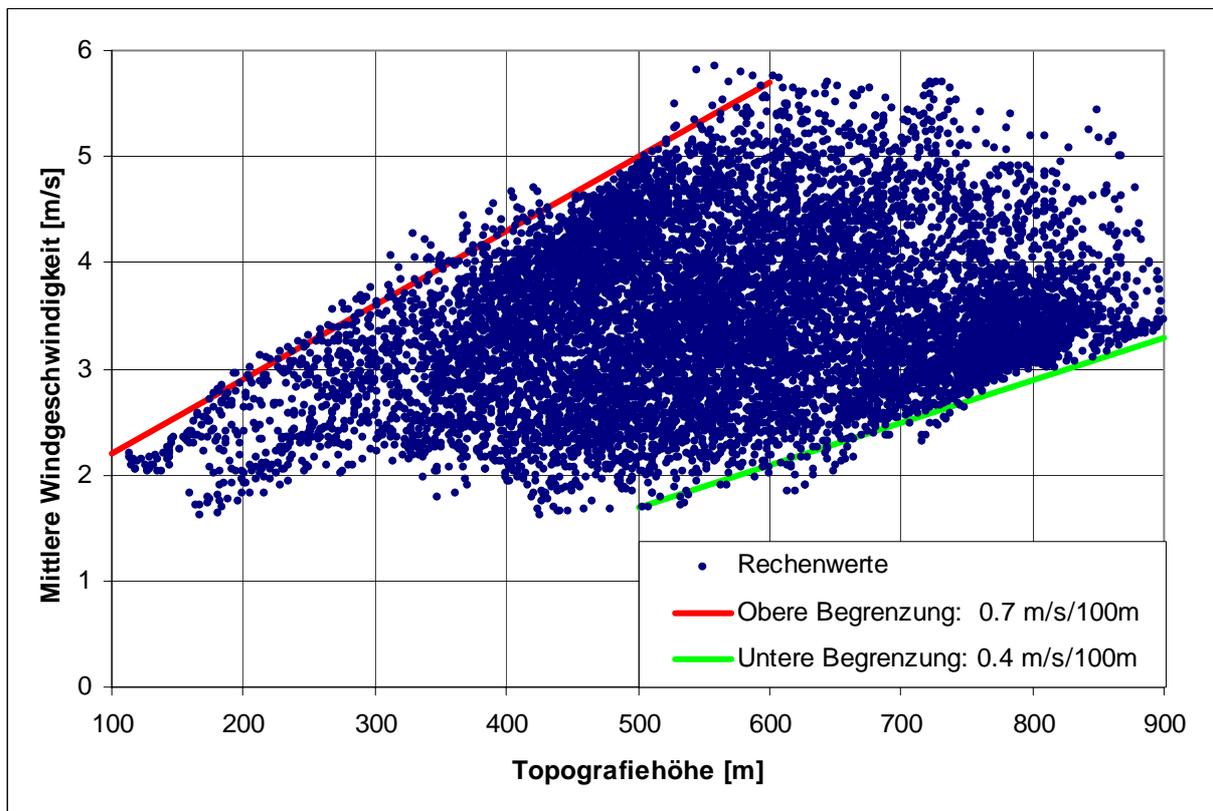


Abb. 4.7 Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit von der Topographiehöhe

Im Folgenden wird ein Vergleich mit Messdaten o. g. Messstellen durchgeführt (**Tab. 4.1**):

Messort	mittlere Geschwindigkeit	
	Messung [m/s]	Rechnung [m/s]
Altenberg	ca. 3.5*	4.8
Zinnwald-Georgenfeld	5.1	5.3
Dippoldiswalde	ca. 3.0*	2.4
Dresden-Klotzsche	4.3	3.5** (Elbhang)

Tab. 4.1: Vergleich der gemessenen und berechneten mittleren Windgeschwindigkeiten an den 4 betrachteten Messstationen

* abgeleitet aus Grafik für Windgeschwindigkeitsverteilung im Internet (Meteo-media & Argusoft, 2004)

** Rechenwert in ähnlichem Gebiet wie Messort

Auch an den Messpunkten ergeben sich analog zu den Messdaten tendenziell im Tal niedrigere Windgeschwindigkeiten als in Höhenlagen. An den Stationen Zinnwald, Dippoldiswalde und Dresden-Klotzsche werden die mittleren Windgeschwindigkeiten der Messdaten relativ gut getroffen (Absolutbetrag Abweichungen $\leq 20\%$), in Altenberg werden höhere Windgeschwindigkeiten berechnet (maximal $+37\%$).

4.3.2 Windstatistiken auf Basis der stationären Windfeldrechnungen

Für einen Untersuchungspunkt im Flöhatal wurde untersucht, wie die für die verschiedenen atmosphärischen Schichtungen berechneten Windfelder die berechnete bodennahe Windverteilung prägen.

Hierzu wurden die Windstatistiken auf Basis jeweils nur **einer** der vier definierten atmosphärischen Schichtungen berechnet. Die entsprechenden vier Windstatistiken werden in **Abb. 4.8** dargestellt. **Abb. 4.8a** zeigt die Windstatistiken berechnet ausschließlich mit der atmosphärischen Schichtung von 7 K/km. Analog zeigen die **Abb. 4.8b** bis **4.8d** Verteilungen für 3.5 K/km, 1.75 K/km und für neutrale Schichtung bis 1500 m über NN.

Die stabilen Schichtungen bewirken eine starke Kanalisierung, wobei erwartungsgemäß die stabilste Schichtung (vgl. **Abb. 4.8a**) korreliert ist mit der stärksten Leitwirkung.

Die Verteilungen für die atmosphärische Schichtungen von 3.5 K/km, 1.75 K/km sind sehr ähnlich.

Die Verteilung für die neutrale Schichtung zeigt erwartungsgemäß ein deutlich anderes Aussehen. Hügel bzw. Hindernisse werden eher überströmt als umströmt. Die Leitwirkung in Tälern ist in solchen Situationen eher eingeschränkt. Dies spiegelt sich in dieser Windverteilung wider.

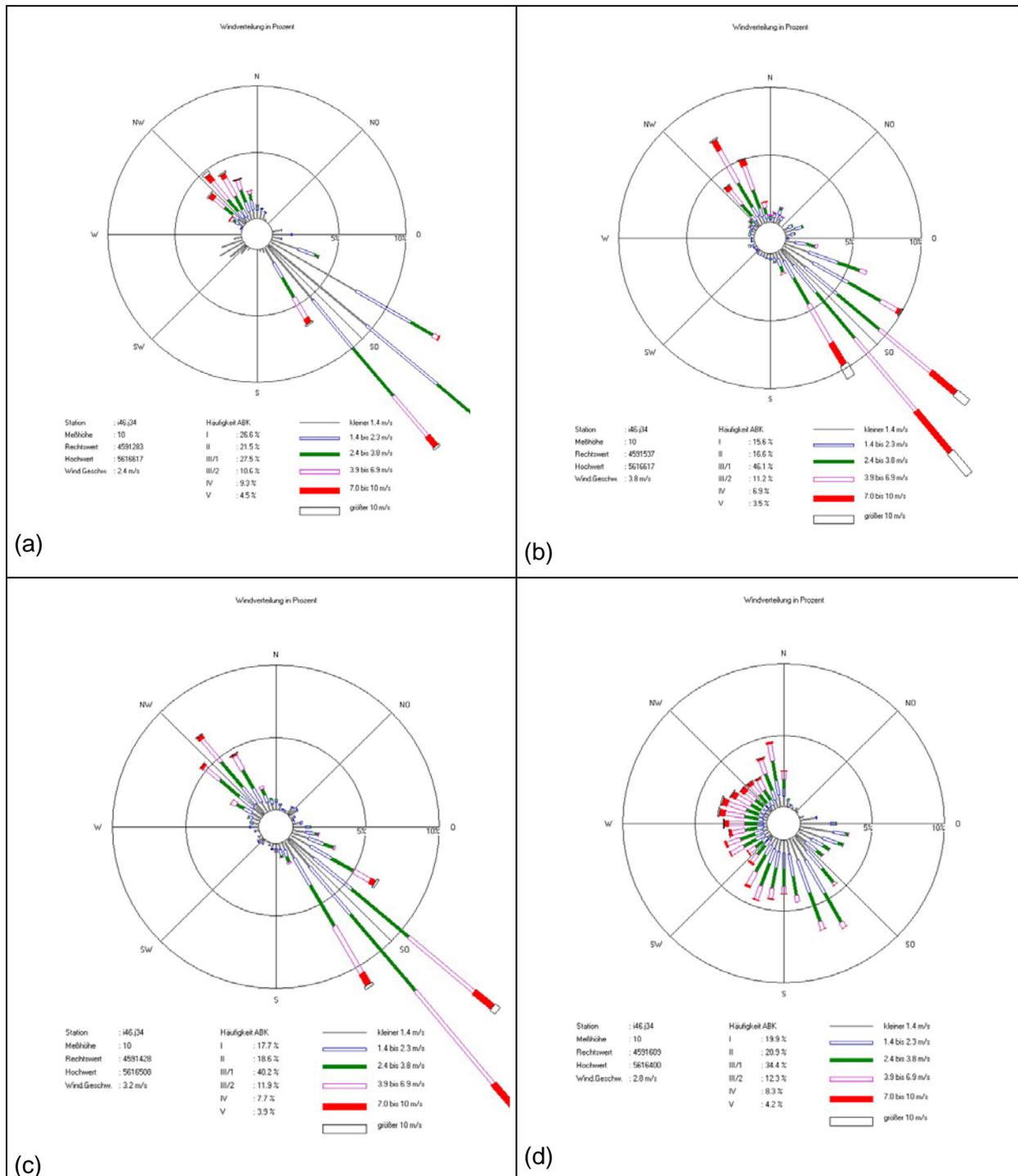


Abb. 4.8 Windstatistiken im Flöhatal berechnet ausschließlich mit nur **einer** atmosphärischen Schichtung (a) 7 K/km, (b) 3.5 K/km, (c) 1.75 K/km und (d) neutrale Schichtung bis 1500 m über NN

4.3.3 Berechnung der Windverteilungen

Die berechneten Windverteilungen wurden auf prinzipielle Plausibilität geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass das Modell Kanalisierungseffekte in Tälern gut wiedergibt (siehe Beispiel Flöha in Abschnitt 4.3.2). Die Höhenlagen zeigen typische Merkmale mit den Hauptwindrichtungen aus West bis Südwest. Ein zweites Häufigkeitsmaxima tritt teilweise bei Winden aus Südsüdost auf. Verursacht wird dies durch die großräumigen Reliefverhältnisse, also in erster Linie durch die Leitwirkung des Elbtales und der übrigen landschaftsprägenden Täler (Freiberger Mulde, Weißeritz, Müglitz, Gottleuba, Seidewitz, Bahre). Generell ist der orographische Einfluss auf das Windfeld stark ausgeprägt. Die Leitwirkung der Täler ist dabei umso größer, je enger die Talsohle und je steiler die Talhänge sind. Dies wird vom Modell überwiegend gut wieder gegeben, sofern die Täler vom Modell aufgelöst werden.

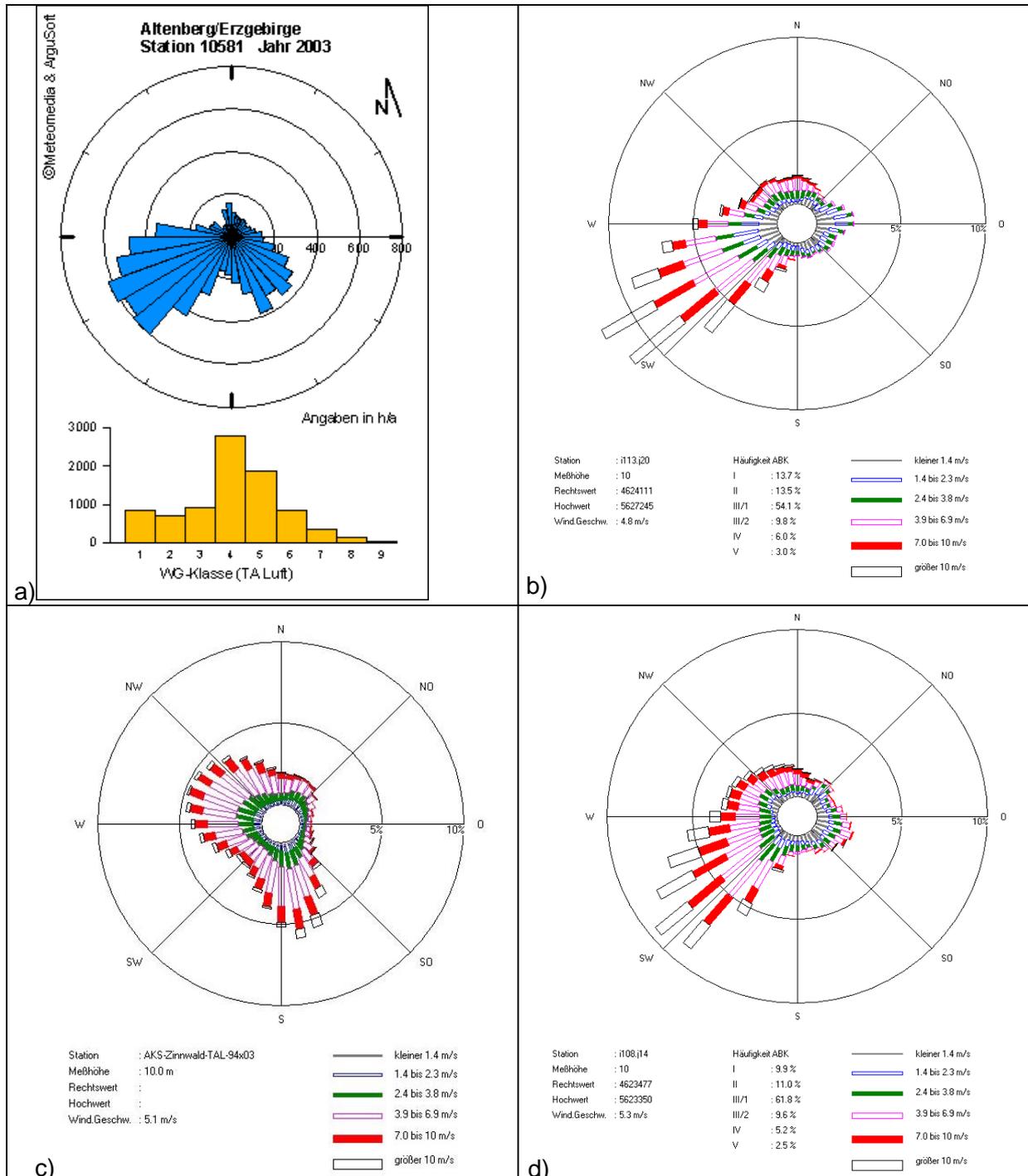
Die **Abb. 4.9** zeigt jeweils die gemessene (linke Spalte) und die berechnete (rechte Spalte) Windverteilung für die Messorte Altenberg und Zinnwald-Georgenfeld, Dippoldiswalde sowie für einen mit der Station Dresden-Klotzsche vergleichbaren Ort auf der linken Elbtalseite.

4.3.3.1 Altenberg und Zinnwald-Georgenfeld

Abb. 4.9a und **c** bzw. **b** und **d** zeigen die gemessenen bzw. die berechneten Windverteilungen an o. g. Stationen. An der Station Altenberg wird die Hauptwindrichtung Südwest vom Modell sehr gut wiedergegeben. An dieser Messstelle tritt bei südöstlichen Winden ein Nebenmaximum auf. Dieses ist im Modell weniger stark ausgeprägt und eher in den Bereich östlicher Winde verschoben.

Die Station Zinnwald befindet sich nur wenige Kilometer von der Station Altenberg entfernt in der Nähe der Grenze zu Tschechien. Die dort gemessene Hauptwindrichtung ist West bis Nordwest, ein Nebenmaximum tritt bei südlichen Winden auf. Dieses Nebenmaximum ist u. a. im Zusammenhang mit dem bekannten Phänomen, dem so genannten „Böhmischen Wind“ zu sehen. Es handelt sich dabei um kalte Strömungen, die vorwiegend im Herbst und Winter aus dem Böhmischem Becken über die Strömungspforten der vorn genannten Täler in das Erzgebirgsvorland eindringen. Voraussetzungen für deren Entstehung sind eine generelle Anströmung aus Südwest und das Vorhandensein einer nicht zu hoch über dem Gebirgskamm liegenden Inversion. Dadurch kommt es zu einer Kombination von horizontalen

Düseneffekten zwischen den Gebirgsmassiven und vertikalen Düseneffekten unterhalb der Inversionssperrschicht (Spacetec, 2000).



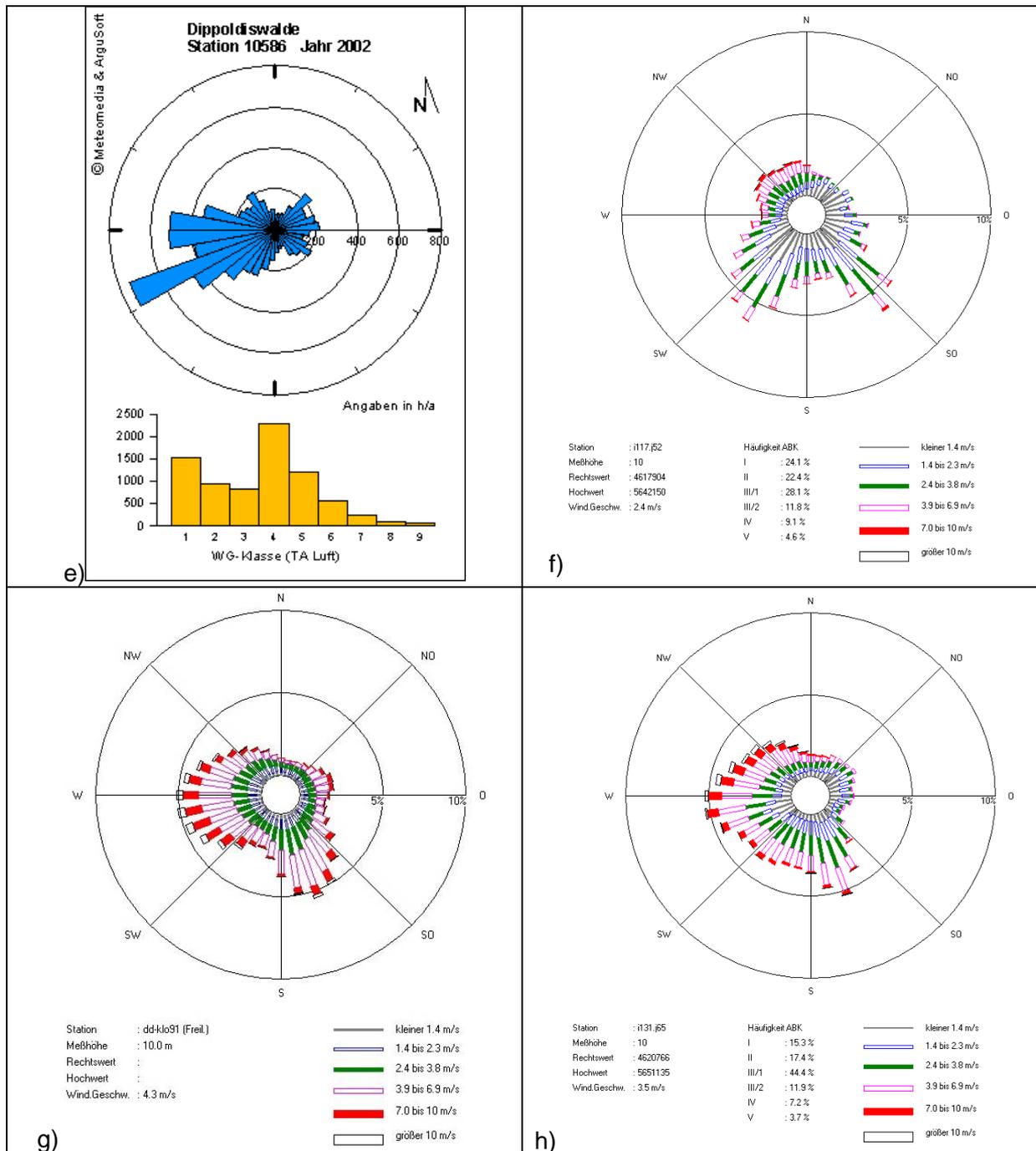


Abb. 4.9: Gemessene Windstatistiken: a)Altenberg, c)Zinnwald-Georgenfeld, e) Dippoldswalde, g) Dresden-Klotzsche und im Vergleich zu den jeweils berechneten Windstatistiken (rechte Spalte) für den selben bzw. für die Station Dresden-Klotzsche für einen vergleichbaren Ort.

Die Modellrechnungen an dieser Messstation ähneln denjenigen der Station Altenberg, geben aber die Situation in Zinnwald nicht wieder. Aufgrund des geringen Abstandes dieser beiden Stationen und der etwa gleichen Höhenlage wird deshalb vermutet, dass die Messstelle Zinnwald Einflüssen unterliegt, die vom Modell nicht aufgelöst oder vom Modell nicht wiedergegeben werden. Aus diesem Grund wurden die topografischen Grundlagendaten für die Windfeldrechnungen explizit mit den Gegebenheiten vor Ort verglichen. Dies brachte folgendes Ergebnis: Die Station Zinnwald befindet sich kurz unterhalb des Kammes des Osterzgebirges. Westlich daran schließt sich der Berg „Großer Lugstein“ an, der etwa 20 m höher ist als die Messstelle. Der Gebirgskamm weist südlich der Station einen leichten Sattel auf, nach Westen steigt das Gelände zum Großen Lugstein hin an, nach Osten (in Richtung Tschechien) ebenfalls. Der dortige südöstlich der Station gelegene Berg Cinovec wird vom verwendeten Höhenmodell nicht aufgelöst, da die vorliegenden topografischen Daten für das Gebiet von Tschechien zu grob sind. Die Südwinde bei der Messung könnten möglicherweise durch eine leichte Kanalisierung der genannten Berge bei stabilen Wetterlagen entstehen, wobei die Luft von den Bergen abgelenkt über den Sattel zur Station weht. Da das Modell diese Konfiguration des Reliefs nicht beinhaltet, wird dies vom Modell auch so nicht wieder gegeben. Eine weitere Ursache für die nicht mögliche Reproduzierbarkeit der Südwinde könnte damit im Zusammenhang stehen, dass das gewählte Rechengebiet zur kammnahen Erfassung des Phänomens „Böhmischer Wind“ nicht ausreichend groß ist. Außerdem müssten zur Erfassung solcher Windsysteme zusätzliche mehrtägige Zeitreihenrechnungen durchgeführt werden.

Bezüglich der gedrehten Hauptwindrichtung wäre es möglich, dass der im Westen befindliche Berg eine Ablenkung des Windes in Richtung Nordwesten bewirkt. Auch dies kann aufgrund der Modellauflösung von 500 m x 500 m vom Modell nicht wiedergegeben werden.

Andererseits zeigen auch Messstationen außerhalb des hier betrachteten Untersuchungsgebietes in Kammlage des Mittelgebirges die Hauptwindrichtung WNW (Fichtelberg, Mitteldorf). Dies spricht dafür, dass die gemessene WNW-Komponente des Windes in Zinnwald-Georgenfeld nicht ausschließlich durch einen lokalen Einfluss des Großen Lugsteines hervorgerufen wird, sondern im Kammbereich großräumiger Natur ist.

Aufgrund der nicht möglichen Reproduzierbarkeit der Windrichtungsmessungen an der Station Zinnwald-Georgenfeld im Rahmen des hier vorgelegten Gutachtens wurde die Zeitreihe des Höhenwindes und des bodennahen Windes an der Zinnwalder Messstation für das Jahr

1997 vergleichend gegenübergestellt (**Abb. A2.1** im Anhang A2). Erläuterungen hierzu siehe Anhang A2.

4.3.3.2 Dippoldiswalde

Die gemessene Hauptwindrichtung ist Westsüdwest. Die berechnete Verteilung hat eine Hauptwindrichtung aus Südwest, jedoch auch einen ausgeprägten Nebensektor aus Südost. Dieser Nebensektor ist in der Messung deutlich geringer ausgeprägt.

4.3.3.3 Dresden-Klotzsche

Auch die Messdaten in Dresden zeigen das typische Nebenmaximum, welches in diesem Bereich auf Grund der zusätzlichen Leitwirkung des Elbtales aus Südost kommt. Die Ursache dafür liegt in o. g. „Böhmischen Wind“ in Kombination mit Kaltluftabflüssen parallel zum Elbtal, die entsprechend Amt für Umweltschutz Dresden (AfUS Dresden, 1998) auch eine flache Schicht der Hochfläche mit erfassen.

Die Windrichtungsverteilung auf der Höhenlage des Elbtales stimmen mit den Messdaten in Dresden-Klotzsche überein. Das Modell zeigt sowohl die Hauptwindrichtung West als auch das Nebenmaximum bei südöstlichen Winden.

4.3.4 Übertragung Ausbreitungsklasse

Zum Vergleich der Ausbreitungsklassen lagen lediglich die DWD-Messdaten der Stationen Zinnwald-Georgenfeld und Dresden-Klotzsche vor. Die **Tab. 4.2** zeigt Mess- und Rechenwerte im Vergleich.

An der Station Zinnwald-Georgenfeld ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung, was auch zu erwarten war, da die mittleren Windgeschwindigkeiten jeweils ähnlich sind und die Station Zinnwald als Referenz zur Übertragung der Ausbreitungsklassen herangezogen wurde.

In den Höhenbereichen des Elbtales werden die stabilen Ausbreitungsklassen gegenüber den labilen überschätzt.

Klasse	Häufigkeiten Ausbreitungsklasse [%]			
	DD-Klotzsche		Zinnwald-Georgenfeld	
	Messung	Rechnung	Messung	Rechnung
I	6.3	15.3	4.6	9.9
II	13.7	17.4	9.6	11.0
III.1	57.5	44.4	67.8	61.8
III.2	13.7	11.9	11.1	9.6
IV	5.8	7.2	4.6	5.2
V	3.1	3.7	2.3	2.5

Tab. 4.2: Vergleich der berechneten Ausbreitungsklassenhäufigkeiten mit Messwerten

Insgesamt ist aber von einer guten Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung auszugehen.

4.4 Fazit

Die berechnete mittlere Windgeschwindigkeit im inneren Kerngebiet zeigt eine plausible Verteilung. Die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe über NN liegt im Bereich von Messdaten.

Der Betrag der mittleren Windgeschwindigkeit stimmt an den meisten der betrachteten Stationen gut mit Messdaten überein. Es ergeben sich Abweichungen von ca. -20 % bis +40 %.

Die berechneten Windverteilungen sind im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebietes plausibel. Besonders Kanalisierungseffekte werden vom Modell gut wieder gegeben, sofern das zu betrachtende Tal mit der Rechengitterweite hinreichend aufgelöst wird.

Der Vergleich der gemessenen mit der berechneten Windverteilung zeigt an vielen Messstellen eine gute Übereinstimmung, an vereinzelten Stationen ist die Übereinstimmung mit Messdaten jedoch schlechter. Besonders an der Station Zinnwald-Georgenfeld fällt auf, dass die Rechnung die gemessenen Winde aus Süd nicht reproduzieren kann. Grund hierfür könnte sein, dass das gewählte Rechengebiet zur Erfassung des Phänomens „Böhmischer Wind“ nicht ausreichend groß ist. Zusätzlich könnten die zu groben Topografiedaten für den Bereich in Tschechien teilweise verantwortlich sein. Dort waren nur Topografiedaten mit einer Auflösung von 1000 m verfügbar. Aber auch die dortige Hauptwindrichtung (West-

nordwest) wird vom Modell nicht wiedergegeben. Im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung konnte nicht endgültig geklärt werden, ob diese Hauptwindrichtung durch lokale Beeinflussung eines nahegelegenen Berges, welcher nicht vom Modell aufgelöst wird, herrührt oder ob zusätzliche Effekte eine Rolle spielen, die vom Modell nicht erfasst werden. Letzteres ist eher wahrscheinlich, da die in Zinnwald-Georgenfeld gemessene Hauptwindrichtung auch für die entlang des Kammes außerhalb des hier zu betrachtenden Untersuchungsgebietes gelegenen Stationen Fichtelberg und Mittelndorf typisch ist.

Die Häufigkeiten der Ausbreitungsklassen werden vom Modell gut wieder gegeben.

Für weitere Untersuchungsgebiete wäre es empfehlenswert, Rechnungen in Windrichtungsschritten von 10 Grad anstatt von 30 Grad durchzuführen. Ebenso ist zu überlegen, ob nicht die Maschenweite auf 250 m reduziert werden sollte, um auch schmälere Täler besser aufzulösen. Die Datenbasis auf tschechischer Seite sollte verbessert werden, um dortige lokale Einflüsse auf die Windfelder besser berücksichtigen zu können. Die oben durchgeführte Diskussion des „Böhmischen Windes“ hat gezeigt, dass möglicherweise das Rechengebiet nach Süden hin erweitert werden müsste, um diesen regionalen Effekt auch für den Bereich des Erzgebirgskammes abzubilden. Gleichzeitig müssten dann solche typischen Situationen mit Hilfe von mehrtägigen Zeitreihenrechnungen erfasst werden.

Demgegenüber könnten die Rechnungen für neutrale Schichtung wegen deren geringen Häufigkeit entfallen und außerdem nur zwei anstatt drei stabile Schichtungen betrachtet werden.

5 GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER BERECHNETEN WIND- UND AUSBREITUNGSSTATISTIKEN

Berechnet werden synthetische Wind- und Ausbreitungsklassenstatistiken in einer horizontalen Auflösung von 500 m x 500 m. Somit stellen die berechneten Statistiken jeweils Mittelwerte für die o. g. Fläche dar. Die Auswertehöhe beträgt 10 m über Grund.

Die berechneten synthetischen Statistiken können im Fachinformationssystem METEOKART GIS per Mausklick für das zu betrachtende Untersuchungsgebiet flächendeckend abgerufen werden.

Dabei unterstützt das System sowohl eine graphische Darstellung des Ergebnisses an einem frei wählbaren Punkt in Form einer Windrose als auch das digitale Abspeichern der Ausbreitungsklassenstatistik im neuen TA Luft-Format.

Bei der Darstellung als Windrose werden zusätzliche Informationen über die Häufigkeit der Ausbreitungsklassen und die mittlere Windgeschwindigkeit tabellarisch dargestellt (Weiteres siehe Lohmeyer, 2004).

Für den Export in ein LASAT- bzw. AUSTAL2000-kompatibles Format wird ein Exportfilter vorgesehen. Die damit entstehenden Dateien (wetter.def und variabel.ztr) können direkt für nachgeschaltete Ausbreitungsrechnungen für flache Gebiete (ohne explizite Berücksichtigung von Topographie) genutzt werden. Zur Handhabung des Systems siehe Lohmeyer (2004).

6 AUSBLICK

Das für das Testgebiet „Osterzgebirge“ durchgeführte Projekt hat aufgezeigt, dass die Erstellung von synthetischen Windstatistiken auf der Grundlage von Windfeldberechnungen mit hochwertigen prognostischen Modellen möglich ist und überwiegend plausible Ergebnisse erzielt werden.

Im Nahbereich des Osterzgebirgskammes konnten die dortigen gemessenen Windverteilungen vom Modell überwiegend nicht richtig wiedergegeben werden, da vor allem der Böhmi-sche Wind in Kammnähe nicht erfasst wird. Eine Verbesserung der Modellierung in diesem Bereich wäre aus jetziger Sicht durch eine Erweiterung des Rechengbietes nach Süden und mehrtägige Zeitreihenrechnungen möglich. Dies wird im Rahmen von weiterführenden Arbeiten empfohlen.

Für die anderen Bereiche ergaben sich plausible Ergebnisse. In Zukunft könnte deshalb über eine Ausdehnung des Rechengbietes (z. B. in Richtung Westerzgebirge) nachgedacht werden. Dieses Folgegebiet sollte möglichst rechteckig sein, muss aber nicht zwingend nach Norden ausgerichtet sein, da das verwendete Modell auch mit gegenüber nach Norden verdrehten Rechengebieten arbeiten kann.

Unabhängig von einer Erweiterung des Untersuchungsgebietes in andere topographisch gegliederte Regionen Sachsens könnte darüber nachgedacht werden, zusätzliche Module zu entwickeln, die die Arbeit der Genehmigungsbehörden weiterführend erleichtern können. Solche Module wären beispielsweise:

- Modul zur Auswahl der zutreffendsten Statistik für Ausbreitungsrechnungen
- Integration eines vereinfachten Rechenmodells
- Modul zum Export dreidimensionaler Informationen für das Ausbreitungsmodell LASAT/AUSTAL2000.

7 LITERATUR

- AfUS (1998): Umweltatlas Dresden, 4. Ausgabe September 1998. AfUS = Amt für Umweltschutz
- ambimet (1996): Regionalwinde im Raum Heiligenstadt-Leinefelde - Expertise. ambimet Gesellschaft für Umweltmeteorologie GbR, Gauting. Projektzeitraum: September-Oktober 1996. Expertise im Auftrag von: Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer.
- Becker, T. (2004): Interpolationsverfahren für die Übertragung umweltmeteorologischer Parameter auf die Fläche. Überblick über verfügbare Systeme, Sensitivitätsstudie und Anwendungsprogrammierung für das System IMMIKART-GIS in ArcGIS. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Geograph. TU Dresden, 7. Januar 2004.
- Brenk, H.D. (1978): Ein anwendungsbezogenes Konzept zur Berechnung der Umweltbelastung durch Abluftemissionen kerntechnischer Anlagen für Standorte in der Bundesrepublik Deutschland. Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jül-1485, (Als Manuskript gedruckt ISSN-0366-0885).
- DWD (2004): Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik der DWD-Station Zinnwald-Georgenfeld, Messzeitraum 1994 - 2003.
- EROS Data Center (2000): GTOPO30 [global digital elevation model (DEM)], U. S. Geological Survey's EROS Data Center in Sioux Falls, South Dakota.
- Flemming, G. (2001): Angewandte Klimatologie von Sachsen - Basis- und Zustandsklima im Überblick. Tharandter Klimaprotokolle, Band 4. Tharandt, Januar 2001.
- Lohmeyer (2004): Handbuch zum Fachinformationssystem METEOKART GIS, Version 1.0, Oktober 2004. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70062-03-10 und 70100-03-10, Oktober 2004. Handbuch im Auftrag von: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- Kolb, H. (1976): Vergleich verschiedener Methoden der Übertragung von Statistiken der Ausbreitungsverhältnisse in orographisch modifiziertem Gelände. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 24, 57-68.

- Meteomedia & ArguSoft (2004): Ausdruck Windverteilungen an den Kachelmann-Stationen Altenberg und Dippoldiswalde. Aus Internet:
<http://www.argusoft.de/austmet\imap\index.html>.
- Schlünzen, H., Bigalke, K., Lüpkes, Ch. und Pankus, H (2001): Documentation of the Mesoscale Transport and Fluid Model METRAS PC as part of model system METRAS+. METRAS Technical Report 11, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg.
- SPACETEC (2000): A 17 Dresden - Bundesgrenze D/CR, Neubau der Bundesautobahn A 17, 3. Abschnitt, Anschlussstelle Pirna bis Bundesgrenze D/CR - Planfeststellung - Ergebnisse lufthygienischer Untersuchungen, Teil I Klimatische Untersuchung. EIBS GmbH, Dresden und SPACETEC Steinicke und Streifeneder GbR, Freiburg.
- Zenger, A. (1996): Unterschiedliche Verfahren zur Prognose atmosphärischer Immissionen im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen - Methoden, Möglichkeiten und Grenzen. In: Pfaff-Schley (Hrsg.): Die Umweltverträglichkeitsprüfung. Springer, Berlin.
- Zenger, A. (1998): Atmosphärische Ausbreitungsmodellierung. Grundlagen und Praxis. Springer-Verlag, Berlin, 1998.

A N H A N G A 1:
BODENNAHE STATIONÄRE WINDFELDER

A1 BODENNAHE STATIONÄRE WINDFELDER

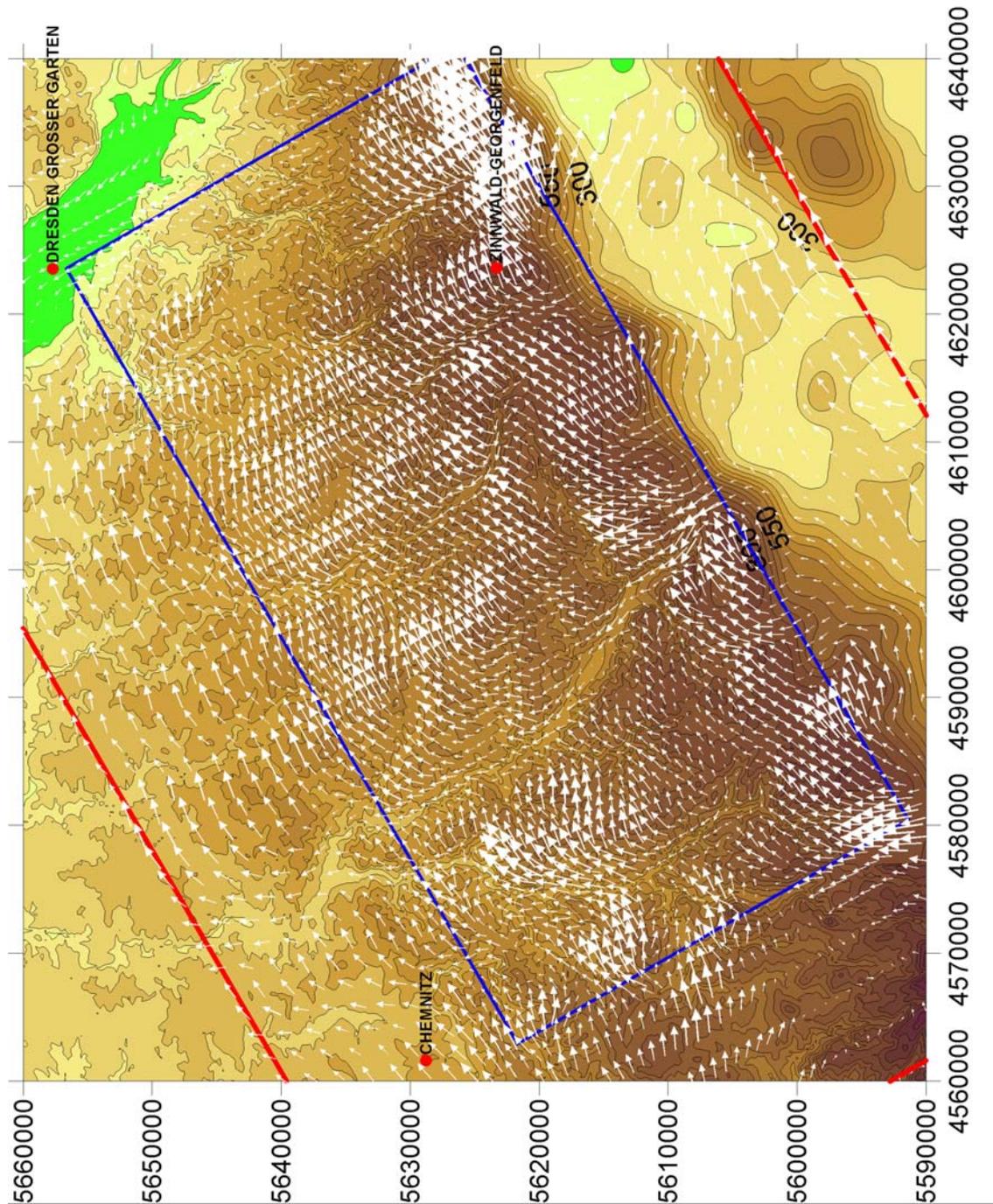


Abb. A1.1: Bodennahes Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophischen Wind von **3 m/s** und einer Schichtung von **7 K/km**

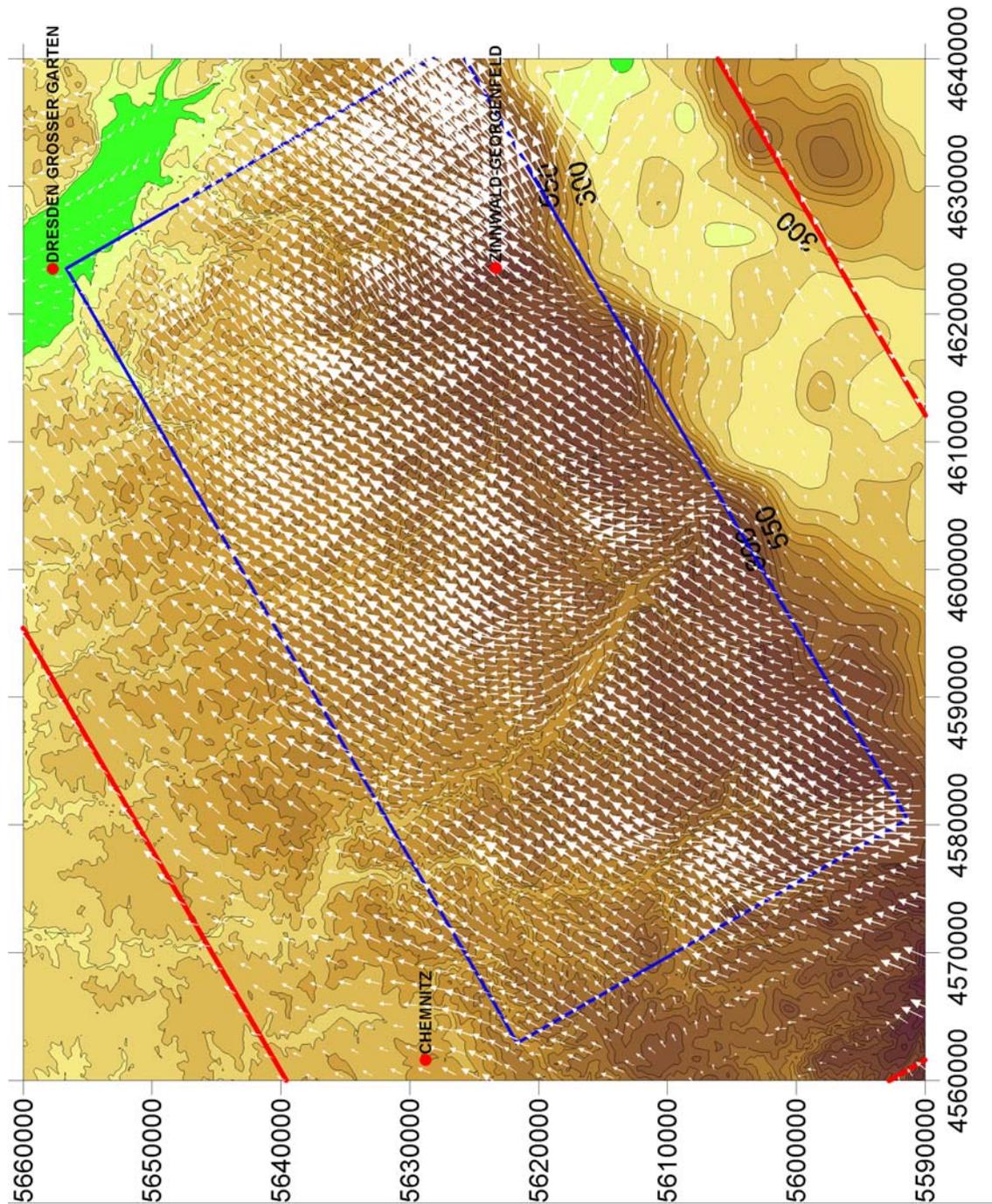


Abb. A1.2: Bodennahes Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophen Wind von **10 m/s** und einer Schichtung von **7 K/km**

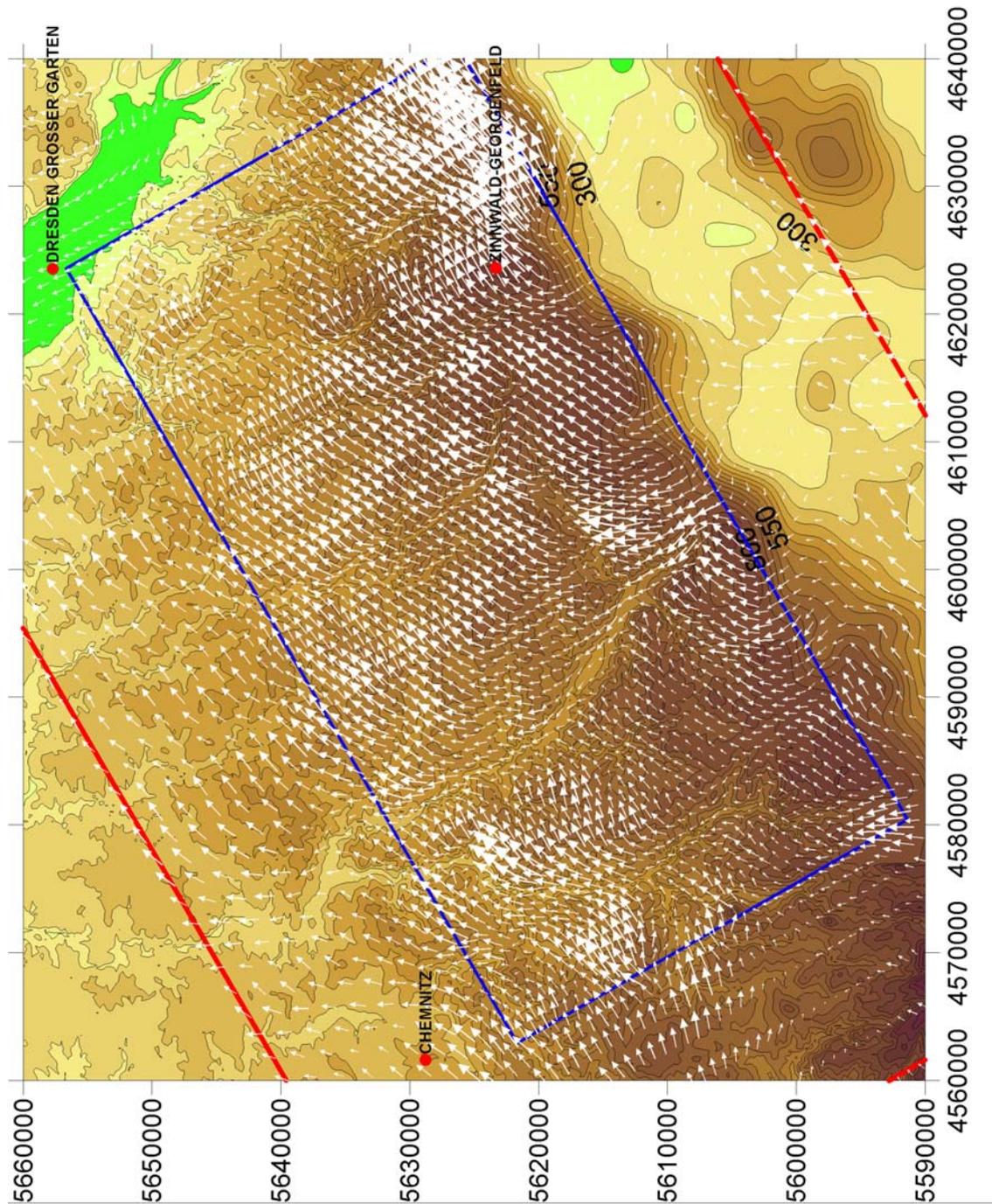


Abb. A1.3: Bodennahes Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophischen Wind von **3 m/s** und einer Schichtung von **3.5 K/km**

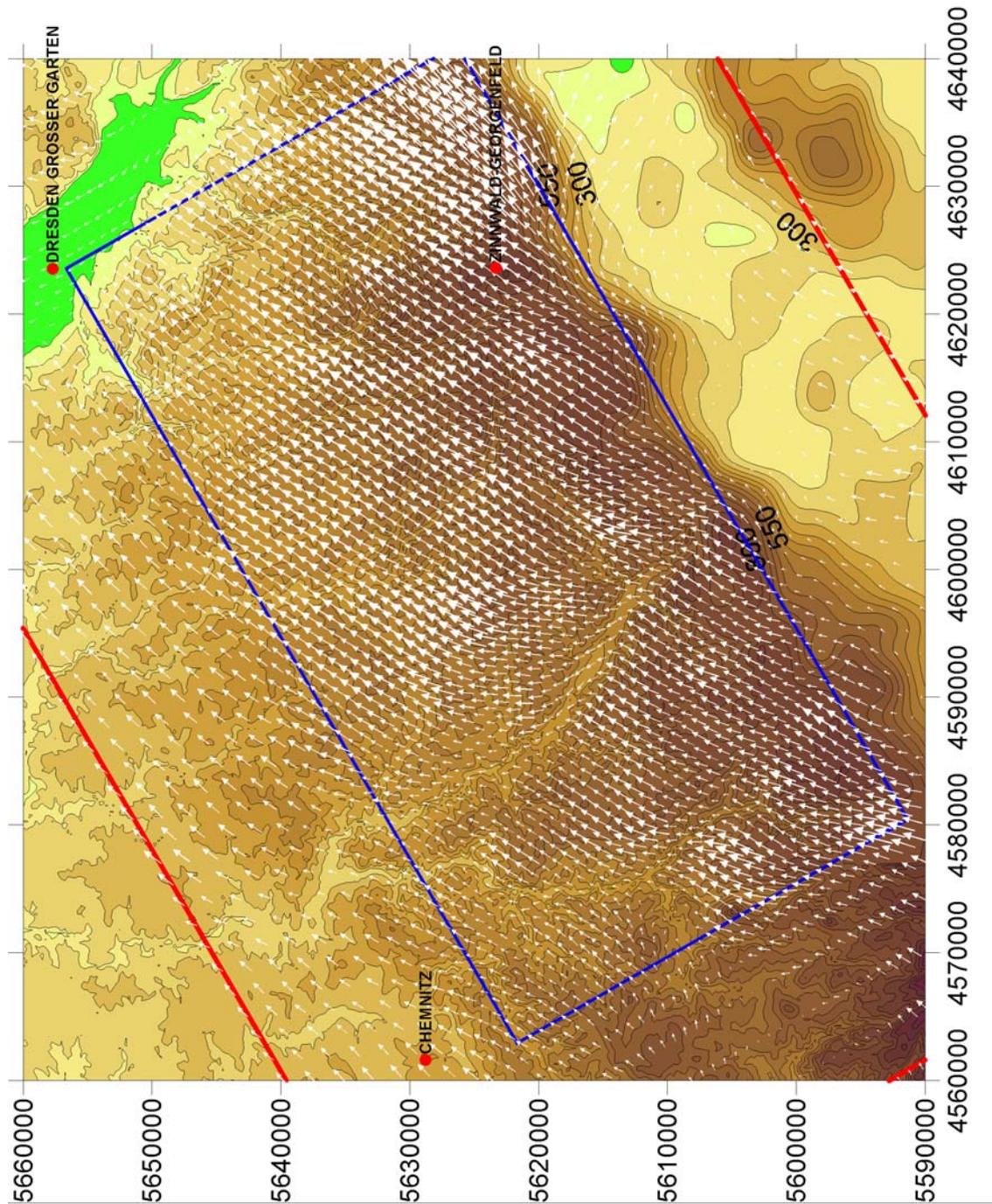


Abb. A1.4: Bodennahes Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophen Wind von **10 m/s** und einer Schichtung von **3.5 K/km**

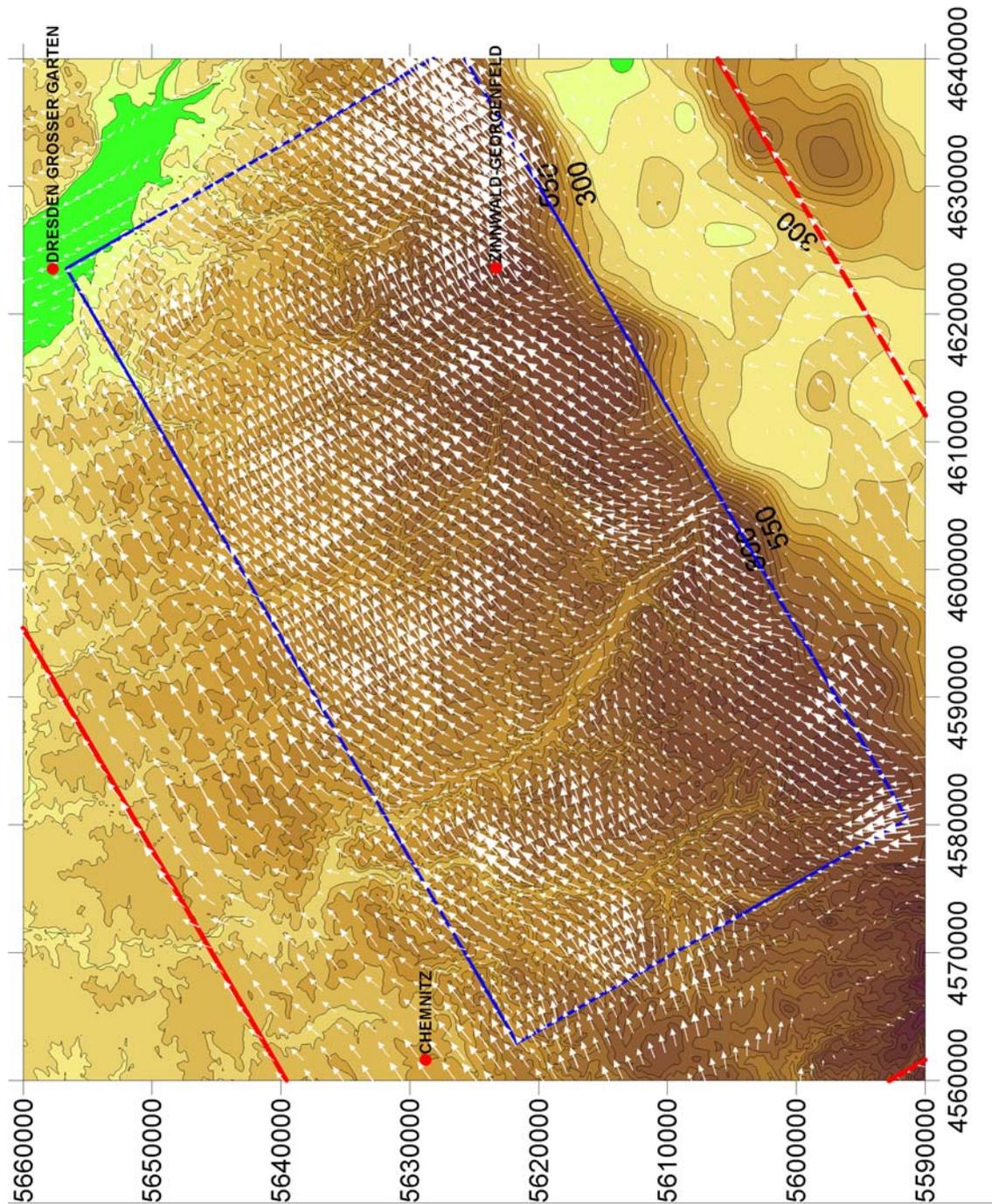


Abb. A1.5: Bodennahes Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophischen Wind von **3 m/s** und einer Schichtung von **1.75 K/km**

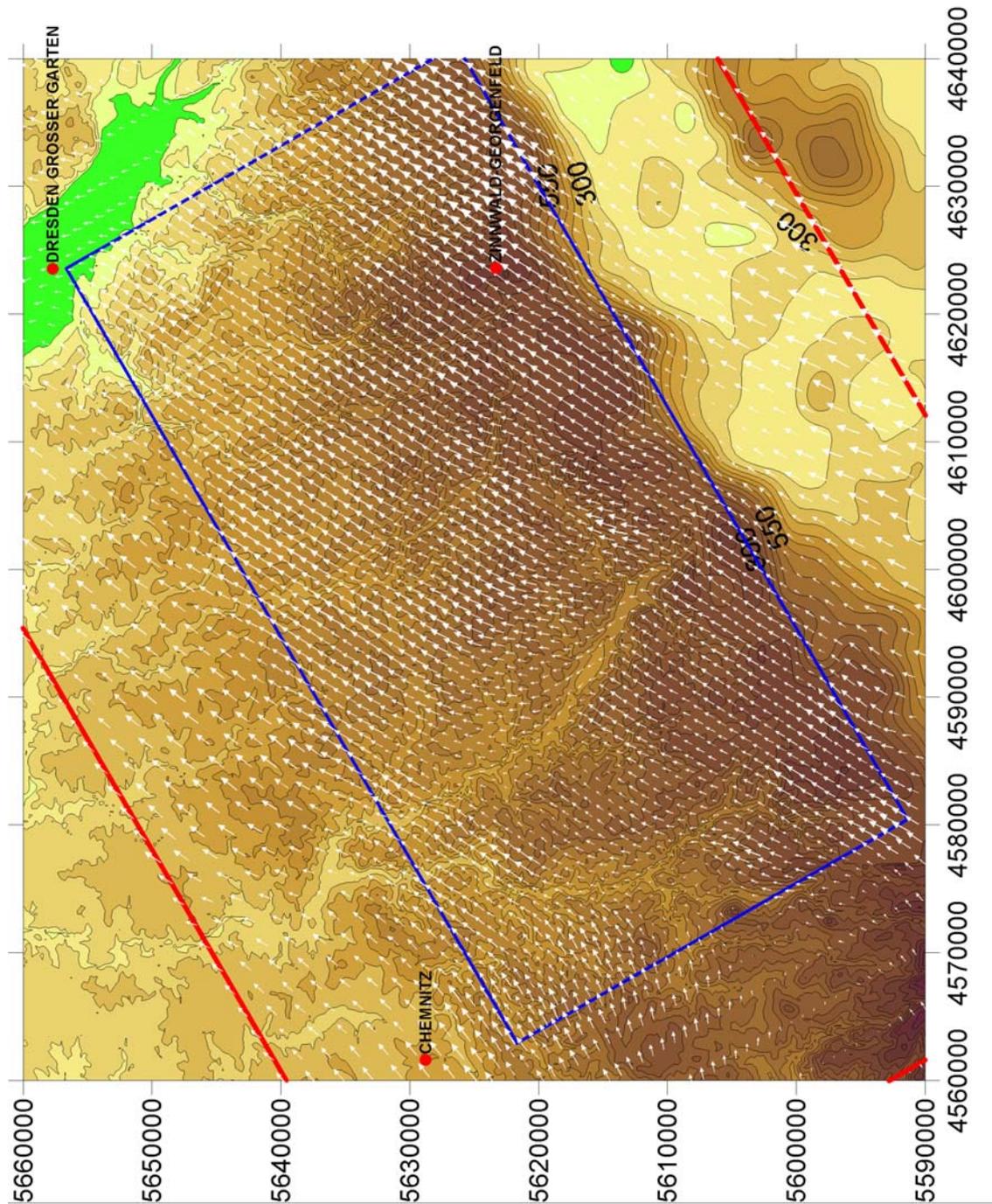


Abb. A1.6: Bodennahes Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophischen Wind von **10 m/s** und einer Schichtung von **1.75 K/km**

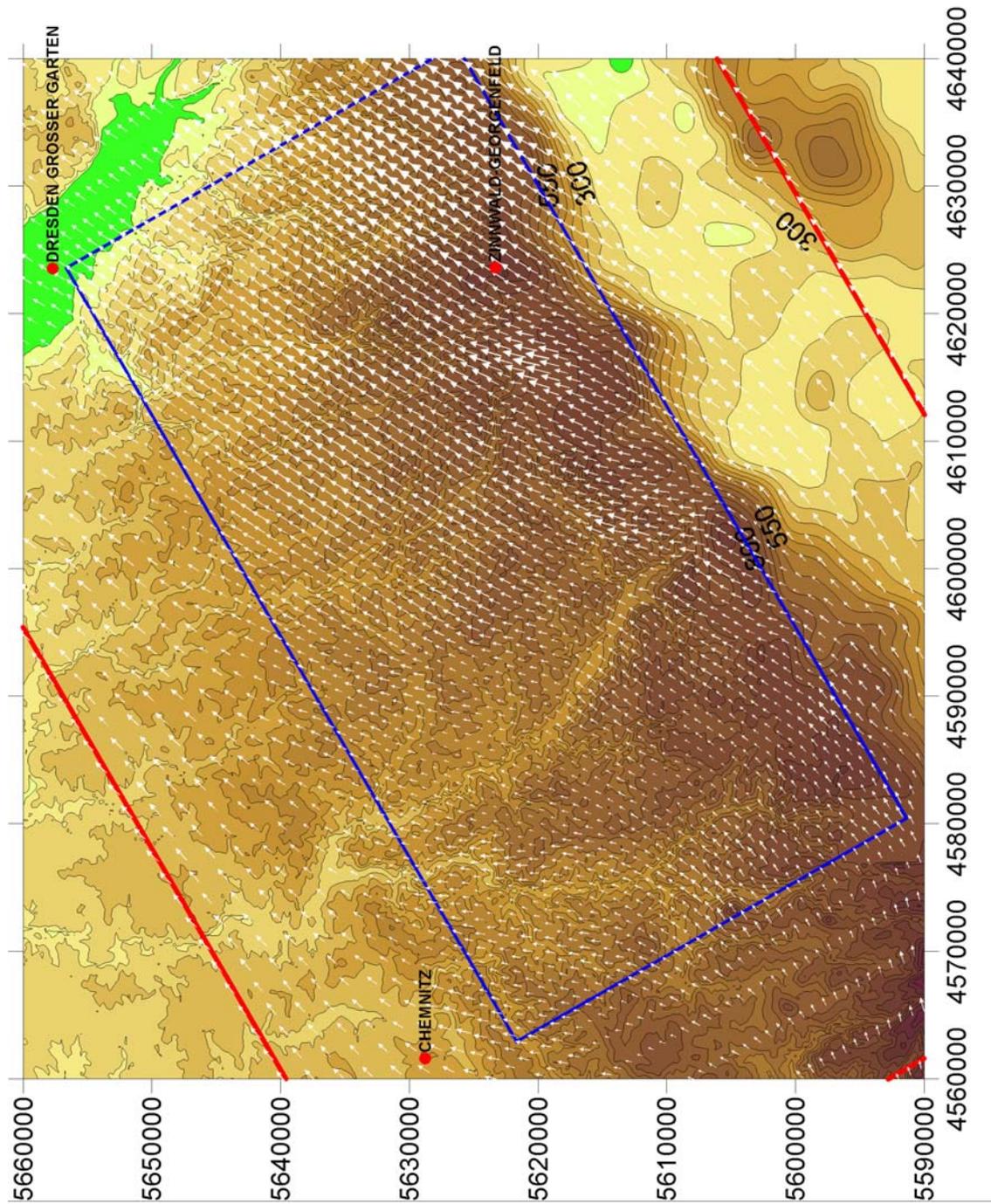


Abb. A1.7: Bodennahes Windfeld für eine Abströmung von 270 Grad mit einem geostrophen Wind von **10 m/s** und einer **neutralen** Schichtung. (bis 1500 m üNN).

A N H A N G A2:
ZEITREIHE HÖHENWINDDATEN SACHSEN UND BODENNAHE DATEN DER
STATION ZINNWALD-GEORGENFELD FÜR 1997

A2 ZEITREIHE HÖHENWINDDATEN SACHSEN UND BODENNAHE DATEN DER STATION ZINNWALD-GEORGENFELD FÜR 1997

Aufgrund der nicht möglichen Reproduzierbarkeit der Windrichtungsmessungen an der Station Zinnwald-Georgenfeld im Rahmen des hier vorgelegten Projektes wurde die Zeitreihe des Höhenwindes und des bodennahen Windes an der Zinnwalder Messstation für das Jahr 1997 vergleichend gegenübergestellt (**Abb. A2.1**).

Die **Abb. A2.1** zeigt für einige Zeiträume ein gutes Zusammenspiel zwischen großräumigem und lokalem Wind (z. B. zwischen 21.04. und 11.05.1997 oder zwischen 18.11. und 30.11.1997). In diesen Zeiten wird die bodennahe Windrichtung durch den Höhenwind in 850 hPa bestimmt, wobei in der Regel bodennah etwas nach links gedrehte Windrichtungen auftreten (z. B. in 850 hPa 270° , bodennah: $230 - 240^\circ$). Die Drehung des Windes mit abnehmender Höhe ist durch bodennahe Reibungseffekte bedingt und in dieser Größenordnung plausibel.

Die Situationen mit bodennahen südlichen Winden treten vermehrt in den Wintermonaten auf und sind in der Regel vollständig vom Höhenwind entkoppelt (z. B. um den 02.03., den 09.10., den 19.10. und den 08.12.1997). Diese Situationen stellen die Zeiten mit Böhmischen Wind dar und werden von der Rechenmethodik in der jetzigen Form nicht erfasst.

Im Sommer (z. B. im Bereich 21.07. oder 15.06.1997) treten bodennah vermehrt Nordwestwinde auf, obwohl die großräumige Strömung andere Strömungsrichtungen zeigt (Ost- oder Westwinde). Auch diese Situationen sind durch eine Entkopplung des lokalen Windes von der großräumigen Strömung geprägt und bringen die Hauptwindrichtung West-Nord-West mit sich.

Da diese Effekte nur im Sommer auftreten, ist die Wahrscheinlichkeit, dass Ablenkungseffekte des Großen Lugsteines im Nahbereich der Zinnwalder Messstation zur Hauptwindrichtung West-Nord-West beitragen, gering. Vielmehr werden regionale Effekte vermutet, die vom Modell in der jetzigen Form jedoch nicht wiedergegeben werden.

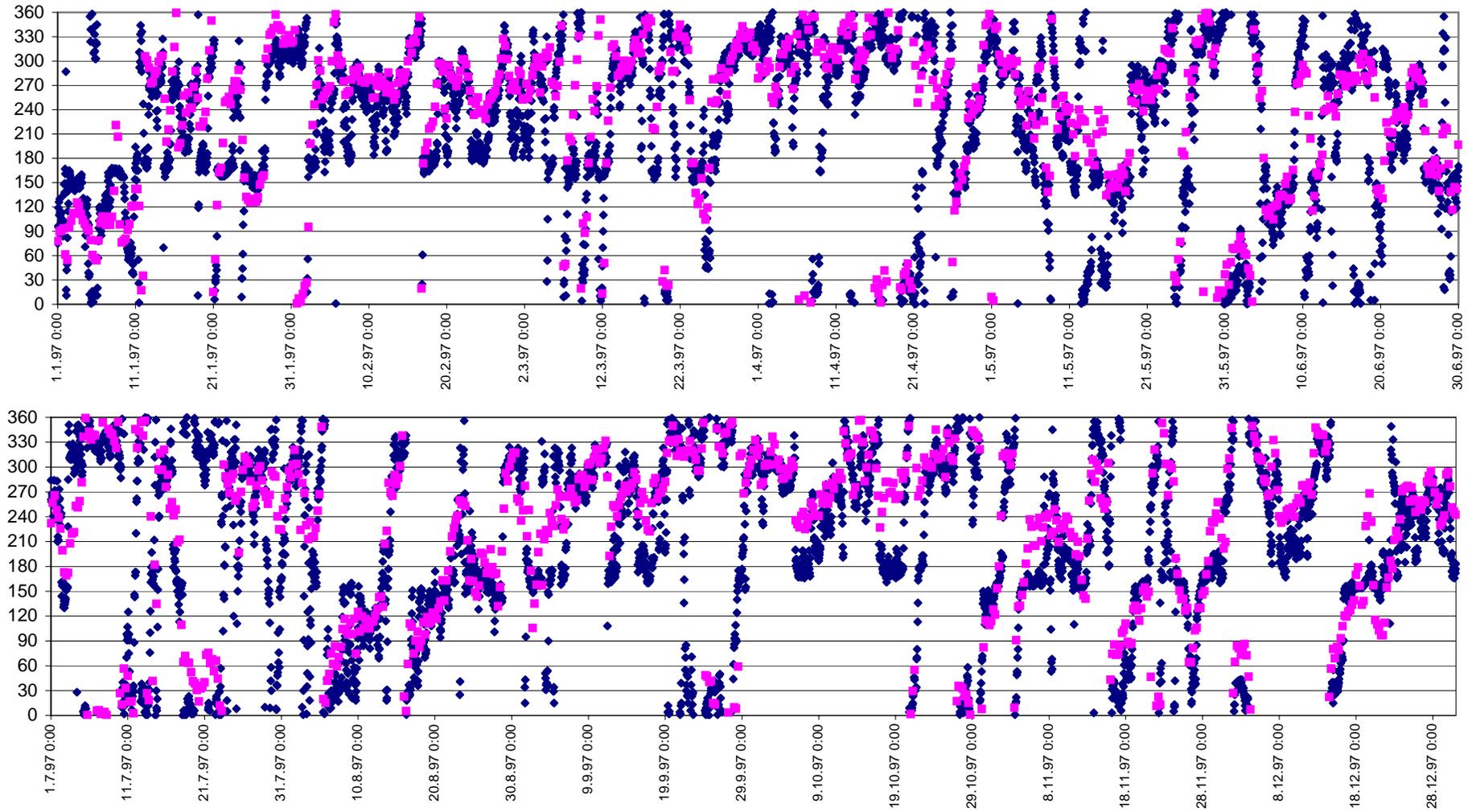


Abb. A2.1: Vergleich Windrichtungszeitreihe Höhenwind über Sachsen in 850 hPa (rot) mit Windrichtungszeitreihe an der bodennahen Messstation Zinnwald-Georgenfeld (blau) für das Jahr 1997 (1. Halbjahr: oben; 2. Halbjahr: unten).