



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Windanalyse im Bereich komplexer Gebäude am Beispiel eines
Industriestandortes in Wien Schwechat

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2012

Verfasserin: Verena Hirss

Studienrichtung: A415 Meteorologie

Betreuer: o. Univ. Prof. Dr. Reinhold Steinacker

Zusammenfassung

Die höchsten anthropogen verursachten Schadstoffemissionen befinden sich im Bereich urbaner Gebiete, genau in jenen Bereichen, in welchen die Mehrheit der Europäer (ca.70%) lebt. (Baklanov, 2005)

Diese Aussage der COST 715 Aktion zeigt die Wichtigkeit einer genauen Untersuchung der urbanen Luftströmungen.

Für eine wahre Darstellung der Windverhältnisse im städtischen Gebiet ist fundiertes Wissen über die aerodynamische Charakteristik einer Stadt notwendig, um Modelle und Vorhersagen von städtischen Winden und Turbulenzen auf allen Skalen treffen zu können. (Piringer et al., 2005)

In dieser Arbeit werden zunächst die regionalen Windverhältnisse zwischen Grossenzersdorf, dem Ort Mannswörth und dem Flughafen Wien diskutiert. Im Anschluss daran erfolgt eine Analyse der im Industriegebiet Mannswörth gemessenen Winddaten der Firmen Borealis und OMV. Dabei wird sowohl die Datenqualität als auch die Beeinflussung durch Hindernisse vor Ort untersucht. Da es sich bei den Messungen um firmeninterne Erhebungen handelt, wurden die Aufstellungsorte nicht gemäß WMO Standards oder ÖNORM Richtlinien gewählt, woraus eine teilweise erhebliche Beeinflussung resultiert.

Im Rahmen einer prognostischen Modellierung mit dem Modell MISKAM wurden die Gebäude des Industriegebiets Mannswörth digitalisiert und im Anschluss daran deren Einfluss auf die Windströmungen untersucht. Der Vergleich der mit MISKAM simulierten Felder diente der Interpretation der untersuchten Winddaten im Industriegebiet Mannswörth.

Das modellunabhängige Analyseverfahren VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) des Institutes für Meteorologie der Universität Wien dient der Untersuchung der regionalen Skala. Dafür werden Reanalysen von VERA für zwei Fallbeispiele mit den stündlich gemittelten Daten des Wiener Flughafens verglichen. In dem Vergleich wurden die zwei dem Flughafen nächsten Gitterpunktdaten des Modells VERA extrahiert und gegen die Stationsmessungen aufgetragen. Die Daten weisen vor allem bezüglich der Windrichtung eine gute Konsistenz auf. Bezüglich der Windgeschwindigkeit erfolgt im Modell eine leichte Überschätzung der gemessenen Daten.

Die ausgewerteten Daten repräsentieren die Daten der jeweiligen Skala; die untersuchten MISKAM Daten jene der lokalen, die VERA Reanalyse die entsprechende regionale Skala. Im Rahmen dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass eine einzelne Station nicht ausreicht um Aussagen über ein Gebiet zu treffen. Erfassungsfehler konnten teilweise erst im Vergleich mehrerer Stationen herausgefunden werden.

Die Untersuchung zeigt die Wichtigkeit regelmäßiger fachgerechter Wartung von Messgeräten sowie deren verarbeitender Software, um Fehlaufzeichnungen zu vermeiden.

Abstract

Urban areas are the site of most antropogenic pollutant emissions and where the vast majority of European citizens live. (ca. 70%) (Baklanov, 2005) COST 715 shows the importance of the analysis of urban wind flows. To represent the true wind at the urban site accurate knowlege of aerodynamic characteristics of cities is vital to discribe, model, and forecast the behavior of urban winds and turbulance at all scales. (Piringer et al., 2005) This thesis inspects the regional wind systems between the town Grossenzersdorf, Mannswörth and the -Viennese airport (Flughafen Wien). A more detailed wind analysis is done based on the data meassured by the companies Borealis and OMV in the industial park Mannswörth. Special attention is payed on data quality and obstacles which may influence wind device. The wind velocity and direction meassurements of the companies are not based on the guidelines of the WMO nor on the austrian guideline ÖNORM. So the results show partly strong influence.

The prognostic modeling is done with MISKAM, a 3 dimensional dispersion model. Therefore the buildings from industial park Mannswörth were included in the model followed by the obstacles influence analysis. The comparisson of the simulated and the winddata from the industry park mannswörth is used for interpretation.

The regioal scale analysis is done by the model independend VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) from the Department of Meteorology of the Univeristy of Vienna. Therefore the hourly based VERA reanalysis for two case studies were compared with the data of the airport vienna. For the comparisson the data of the two nearest gridpoints has been extracted. The plot shows a good correlation between the wind direction. The windspeed was generally lightly overestimated in the model compared to the meassured values.

The analized data represents the certain scales, MISKAM the one for the local and VERA the regional. This thesis shows that one single meassuring point can not represent the data of a certain area. The detection of Logging mistakes just can be found in the comparisson of more stations.

So, the thesis shows the importance of regular service intervals and the frequent check of the data processing software.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Gliederung	2
2. Theoretischer Hintergrund	3
2.1. Druckfeld und Wind in der freien Atmosphäre	3
2.1.1. Geostrophischer Wind	4
2.2. Die atmosphärische Grenzschicht	5
2.2.1. Logarithmisches Windprofil	6
2.2.2. Atmosphärische Stabilität	7
2.2.3. Rauigkeit an Oberflächen	9
2.2.4. Die städtische Grenzschicht	10
3. Windmessung	15
3.1. Messmethoden	15
3.2. Standortbestimmung für Windgeber	19
3.3. Windmessung in verbautem Gebiet	21
3.4. allgemeine Darstellung von Winddaten	22
3.4.1. Windrosen (und ihre Interpretation)	22
3.5. Besonderheiten in der Erfassung und Verarbeitung von Winddaten	22
3.5.1. Typische Verarbeitungsintervalle	22
3.5.2. Vektorielle Mittelung	23
3.5.3. Kalmen Problem	24
4. Windverhältnisse am Standort Mannswörth	27
4.1. Windverhältnisse im Raum Schwechat-Mannswörth	27
4.2. regionale Windverhältnisse	28
4.2.1. Mannswörth A4	28
4.2.2. Flughafen Wien	30
4.2.3. Grossenzersdorf	30
4.3. Stationsbeschreibung OMV/Borealis	34
4.3.1. Stationsbeschreibung Borealis	34
4.3.2. Stationsbeschreibung OMV	37

5. Ergebnisse	39
5.1. Borealis: Betriebsfeuerwehr, LDX	39
5.2. Borealis: E4X	48
5.3. Borealis: P5X	51
5.4. OMV	54
6. Modellierung von Strömungen	61
6.1. Prognostische Modellierung (MISKAM)	61
6.2. Analyse regionaler Windfelder (VERA)	72
A. Appendix	87
A.1. Technische Daten:	87
B. Statistik	91
B.1. Mittelwert	91
B.2. Streuung	91
B.3. Varianz	91
C. MISKAM Berechnungsgrundlage	93

Danksagung

Zu Beginn möchte ich Herrn o.Univ.Prof.Dr.Steinacker für die große Freiheit bei der Bearbeitung des Themas und die Unterstützung mit seinem fachkundigen Wissen danken. Ich danke der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, insbesondere Herrn Dr. Piringer für die Möglichkeit im Rahmen eines Fem-Tech Praktikums Teile dieser Diplomarbeit zu verfassen. An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Frau Dr. Baumann-Stanzer für die zahlreichen Anregungen bedanken, die maßgeblich zu dieser Arbeit beigetragen haben. Weiterer Dank gebührt Frau Mag. Rau, die mir mit Ihrem Wissen über das Modell MISKAM stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Petz für die anregenden Diskussionen im Bereich Datenverarbeitung und bei Herrn Mag. Skomorowski für die Hilfe im Kampf gegen \LaTeX bedanken.

Ich danke den Firmen Borealis und OMV für die Daten, die die Grundlage dieser Arbeit bilden, aber auch den Mitarbeitern, die sich um Zutritts- und Fotogenehmigungen gekümmert haben.

Ein großes Danke gebührt meiner Familie und meinem Freund Michael, die mich in dieser stressigen Zeit stets unterstützt haben.

1. Einleitung

1.1. Motivation

Der Bedarf an meteorologischen Beobachtungen in urbanen Gebieten steigt ständig. Die städtische Bevölkerung breitet sich aus und meteorologische Dienstleistungen sind zunehmend gefragt, um meteorologische Daten für detaillierte Prognosen für Bürger, Gebäude, Energieeinsparungen, Transport, Luftqualität, Gesundheit, Regenwasser und -Abflussprognosen, Windenergie, Versicherungen und Krisenmanagement bereitzustellen. Gleichzeitig ist es schwierig, in dicht verbautem Gebiet kompromisslos meteorologische Beobachtungen zu machen. Das ist so, weil es für die meisten urbanen Bereiche sehr schwierig ist, die Standards für Aufstellungsorte von Messgeräten und Beobachtungen anzuwenden (WMO, 2008). Wohngebiete wachsen immer mehr an Industriegebiete heran, wodurch im Fall eines Industrieunfalls mit gefährlichen Substanzen um ein Vielfaches mehr Menschen betroffen sind. Um im Notfall besser und vor allem schneller zu reagieren, ist es für Feuerwehren wichtig, über die Windverhältnisse vor Ort Bescheid zu wissen, da die freigesetzten Substanzen mit dem Wind transportiert werden. Die Windmessungen im Bereich von Industrieanlagen werden zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen verwendet: bei Störfällen mit luftgetragenen Freisetzungen als Entscheidungshilfe für Einsatzplanungen; bei Immissionsprognosen für geplante Betriebsänderungen; oder als einer von zahlreichen Parametern zur Dokumentation von Betriebszuständen.

Heute werden für die Immissionsberechnung in komplex verbauten Gebieten vermehrt Strömungsmodelle verwendet, um bei der Ausbreitungsmodellierung den Einfluss der Gebäude explizit zu berücksichtigen. Das prognostische Modell MISKAM wird in der vorliegenden Arbeit verwendet, um lokale Beeinflussungen der untersuchten Messstandorte anhand der Strömungssimulation nachzubilden. Die Modellergebnisse sollen der Überprüfung von Annahmen über Gebäudebeeinflussungen dienen, die anhand der statistischen Auswertung und dem Vergleich der Winddaten mehrerer Messgeräte im Bereich des Industriestandortes getroffen werden. Durch die Einbindung des Strömungsmodells VERA des IMG der Universität Wien sowie Windmessungen außerhalb der Industrieanlagen werden die Unterschiede zwischen lokaler und regionaler Skala erläutert. Diese Arbeit soll dazu dienen, die Firmen Borealis und OMV hinsichtlich der Optimierung der Aufstellungsorte zu beraten bzw. über Beeinflussung der Winderfassungssysteme durch Gebäudeumströmungen zu informieren.

1.2. Gliederung

Für die Betrachtung der Windanalyse im Bereich komplexer Gebäude am Beispiel eines Industriestandorts in Wien Schwechat wird zunächst im Kapitel **Theoretischer Hintergrund** die Größe Wind erläutert. Dabei werden die Begriffe Meso-, Lokal- und Mikroskala eingeführt.

Anschließend werden in dem Kapitel **Windmessung** unterschiedliche Messsysteme erläutert sowie Standortvorgaben aus nationalen und internationalen Richtlinien beschrieben. Dabei wird auf die Besonderheiten bei der Erfassung und Verarbeitung von Winddaten eingegangen.

Die **Windverhältnisse am Industriestandort Schwechat** werden anhand der Daten der TAWES Station Grossenzersdorf, einer Messstelle der Niederösterreichischen Landesregierung direkt im Ort Mannswörth, folglich auch nahe dem Untersuchungsgebiet, sowie den Messdaten der Austrocontrol am Flughafen Wien erörtert. Für die weitere Auswertung werden die Daten vom Flughafen Wien als Vergleichswerte herangezogen. Um die Gegebenheiten vor Ort zu veranschaulichen werden die Messstellen der Betriebsgelände OMV und Borealis mit Fotos vorgestellt und deren Umgebung beschrieben.

Das Kapitel **Ergebnisse** zeigt die graphische Auswertung der untersuchten Messdaten der Firmen Borealis und OMV. Dabei werden die Windmessungen an jeder Station einzeln untersucht und im Anschluss mit den Daten vom Flughafen Wien verglichen.

Die **Modellierung von Strömungen** wird im Kapitel 6 besprochen. Dafür wird Strömung mit dem Modell MISKAM simuliert. Die Gebäude des Betriebsgeländes wurden im Modell mit hoher räumlicher Auflösung berücksichtigt und der Einfluss der Gebäude auf die Umströmung auf der lokalen Skala untersucht. Die mit MISKAM berechneten Werte werden mit den Daten verglichen. Des Weiteren erfolgt in diesem Kapitel eine Analyse der regionalen Windverhältnisse für zwei Fallbeispiele. Diese werden mithilfe der Vienna Enhanced Resolution Analysis VERA untersucht und ebenfalls mit den gemessenen Daten vom Flughafen Wien verglichen.

In dem Kapitel **Conclusio** werden die Ergebnisse der untersuchten Messungen, der Modellierung und der Analyse zusammen betrachtet. Es werden Schlüsse hinsichtlich Nutzen und Einschränkungen bei Verwendung der Messdaten der firmeneigenen Stationen gezogen. Darauf basierend werden Empfehlungen für den weiteren Betrieb der Stationen gegeben .

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Druckfeld und Wind in der freien Atmosphäre

Schon relativ früh wurde der Luftdruck für die Meteorologie von großem Interesse. So werden seit 1820 Isobarenkarten angefertigt. Um 1850 wurde der Zusammenhang mit dem Windfeld erkannt. Über die Änderung des Drucks ist eine Korrelation mit Wetterlagen möglich. Viel aufschlussreicher ist jedoch der Zusammenhang von Druck mit Wind- und Temperaturfeld. Der Zusammenhang von Impuls (entspricht dem Wind) und dem Druckgradienten ist in den Impulsgleichungen ersichtlich. Bei der Verwendung der hydrostatischen Näherung kompensiert die Schwerkraft die vertikale Druckgradientkraft (nach Mayer, 2006).

Im z -System wird die zweidimensionale reibungsfreie Bewegungsgleichung auf der Tangentialebene folgendermaßen angeschrieben :

$$\frac{d\mathbf{v}_2}{dt} + \frac{1}{\rho} \nabla_2 p + f \mathbf{k} \times \mathbf{v}_2 = 0 \quad (2.1)$$

Wenn immer möglich wird in der synoptischen Praxis die Dichte über die Gasgleichung (2.2) ausgedrückt.

$$p = R\rho T \quad (2.2)$$

So lautet die zweidimensionale reibungsfreie Bewegungsgleichung (2.1) im p-System:

$$\frac{d\mathbf{v}_2}{dt} + \nabla_2 \Phi + f \mathbf{k} \times \mathbf{v}_2 = 0 \quad (2.3)$$

Der Übergang vom z -System ins p -System entspricht im mathematischen Sinn keiner echten Koordinatentransformation. Es wird weder das Dreibein gedreht noch bezüglich der Orthogonalität eine Änderung durchgeführt. Es ändert sich nur die Skalierung der vertikalen Achse. In Gleichung 2.3 ist ersichtlich, dass die Dichte ρ nicht mehr präsent ist. Aus dem Abstand der Isohypsen (Linien gleichen Geopotentials) in den Wetterkarten kann sofort auf die Druckgradientkraft und damit auch auf das Windfeld geschlossen werden. Wäre eine Diskontinuität im Druckfeld gegeben, würde das zu einer unendlich großen Druckgradientkraft führen und ein Schnitt der Isobaren wäre nicht auszuschließen.

Luft in Ruhe beschleunigt sich hin zum tieferen Druck, dabei liegt der höhere Druck zur

2. Theoretischer Hintergrund

Rechten. Aus dem Abstand der Isohypsen kann auf die Windgeschwindigkeit geschlossen werden, je weiter diese auseinander liegen, umso schwächer ist der Wind. In der freien Atmosphäre herrscht ein Gleichgewicht zwischen Geopotential- und Corioliskraft, während in der Grenzschicht ein Gleichgewicht zwischen Geopotentialgradientkraft, Corioliskraft und Reibungskraft herrscht, siehe dazu auch Abbildung 2.1.

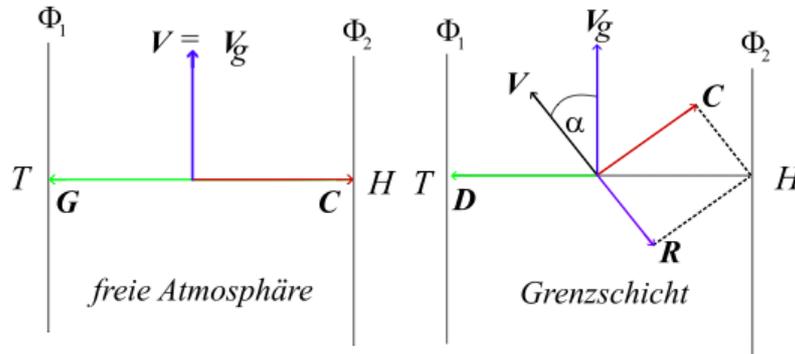


Abb. 2.1.: In der freien Atmosphäre äußert sich das Gleichgewicht zwischen Druckgradientkraft \mathbf{G} und Corioliskraft \mathbf{C} im geostrophischen Wind \mathbf{v}_g . Im Gegensatz dazu kommt in der Grenzschicht noch die Reibungskraft \mathbf{R} hinzu. Der wahre Wind schließt mit dem geostrophischen (nur hypothetischen) Wind den Winkel α ein. (aus Mayer, 2006)

2.1.1. Geostrophischer Wind

In der freien Atmosphäre gilt:

$$\nabla_2 \Phi = -f \mathbf{k} \times \mathbf{v}_2 \quad (2.4)$$

nun löst man Gleichung 2.4 nach \mathbf{v}_2 auf:

$$f \mathbf{k} \times \mathbf{v}_2 = -\nabla_2 \Phi \quad (2.5)$$

Nach Division durch f und der Anwendung von $\mathbf{k} \times$ auf Gleichung 2.5 erhält man:

$$\mathbf{k} \times \mathbf{k} \times \mathbf{v}_2 = -\frac{1}{f} \mathbf{k} \times \nabla_2 \Phi \quad (2.6)$$

Durch die zweimalige Anwendung von $\mathbf{k} \times$ erhält man eine Rotation um 180° , wodurch es zu einem Vorzeichenwechsel kommt. Schlussendlich führt das zu folgendem Ergebnis für den geostrophischen Wind:

$$\mathbf{v}_2 \equiv \mathbf{v}_g = \frac{1}{f} \mathbf{k} \times \nabla_2 \Phi \quad (2.7)$$

Da bei dem geostrophischen Wind keine vertikale Bewegung auftritt, ist er reibungs- und beschleunigungsfrei.

Die Darstellung des geostrophischen Wind erfolgt im z und im p - System folgendermaßen:

- Geostrophischer Wind im z - System:

$$\mathbf{v}_g = \frac{\alpha}{f} \mathbf{k} \times \nabla_{\mathbf{z}} p \quad (2.8)$$

- Geostrophischer Wind im p -System:

$$\mathbf{v}_g = \frac{1}{f} \mathbf{k} \times \nabla_p \Phi \quad (2.9)$$

Eine ausführlichere Herleitung des geostrophischen Windes ist bei Mayer (2006) nachzulesen.

2.2. Die atmosphärische Grenzschicht

Die unterste Schicht der Atmosphäre ist ausführlich erforscht, da sie den Großteil des täglichen Lebensraumes der Menschen bildet. Nach Stull (1997) wird die atmosphärische Grenzschicht als jener Teil der Troposphäre, der direkt von der Erdoberfläche beeinflusst wird und innerhalb einer Zeitskala von weniger als einer Stunde auf Oberflächeneinfluss reagiert, definiert. Des weiteren ist die Grenzschicht jene Schicht eines Fluides in der Nachbarschaft von materiellen Oberflächen, mit welcher ein signifikanter Austausch von Impuls, Wärme und Masse zwischen Fluid und Oberfläche stattfinden kann.

In der Troposphäre nimmt die Reibung mit Annäherung zum Untergrund zu und der Wind reduziert sich im Betrag gegenüber dem geostrophischen Wind. Es kommt, wie in Abbildung 2.1 schon erklärt, zu einer Richtungsabweichung von 30° bis 45° (Foken, 2006). Die mittlere Dicke der atmosphärischen Grenzschicht ist von der Bodenrauigkeit sowie von der thermischen Schichtung abhängig und liegt über Land bei ca. 1-2 km, über dem Ozean bei ca. 0,5 km, kann jedoch bei stark stabiler Schichtung auf bis zu 10 m zurückgehen. Auch der Tagesgang der atmosphärischen Grenzschicht zeigt eine starke Variabilität. So kommt es nach Sonnenaufgang zu einer Erwärmung der Atmosphäre durch turbulenten Wärmetransport vom Erdboden. Wird die nächtliche Inversion ausgeräumt, führt das zu einer Ausbildung einer Mischungsschicht, welche wiederum von der Entrainment-schicht begrenzt wird. Kurz vor Sonnenuntergang bildet sich durch die stabile nächtliche Grenzschicht eine Bodeninversion aus, mit meist nur geringer Mächtigkeit.

- **Inversion:** Inversionen sind nach Helbig et al. (1999) eine Form von besonders stabiler Schichtung. So bezieht sich der Begriff Inversion (= Umkehrung) auf einen mit der Höhe zunehmenden Temperaturverlauf der Atmosphäre. Dabei stellt diese Art der Schichtung eine Sperrschicht in der Atmosphäre dar. Wie Abbildung 2.6 zeigt, wird die städtische Grenzschicht in der Regel durch eine Inversion begrenzt.

Abhängig von ihrer Bildung unterscheidet man folgende Arten:

2. Theoretischer Hintergrund

- **Strahlungsinversion (auch nächtliche Inversion)** Die negative Strahlungsbilanz der Erdoberfläche, vor allem in wolkenlosen Nächten, führt nach Helbig et al. (1999) zur Abkühlung der Atmosphäre von der Erdoberfläche aus. Zu Beginn wird so nur eine dünne Schicht abgekühlt. Im Laufe der Nacht erfolgt der Energietransport aus der bodennächsten Atmosphäre zum Boden und dehnt sich im weiteren Verlauf in immer größere Höhen aus. Am frühen Morgen, etwa zur Zeit des Sonnenaufgangs, erreicht die Bodeninversion eine Ausdehnung von maximal einigen hundert Metern. Bei einer negativen Strahlungsbilanz kann die Oberfläche aber auch zu einer Wolken- oder Nebeldecke bzw. Partikelschicht gehören. Über dieser Partikelschicht kann sich eine Höheninversion aufbauen, durch den Wärmeinseleffekt einer Stadt wird die Ausbildung dieses Inversionstyps unterstützt.

Vor allem im Sommer erwärmt sich der Erdboden aufgrund der positiven Strahlungsbilanz durch die Sonneneinstrahlung nach Sonnenaufgang sehr schnell und führt zu einer Auflösung der Inversion vom Boden weg. Im Flachland haben die nächtlichen Inversionen die größte Häufigkeit zwischen Mai und Oktober, wobei deren Mächtigkeit eher gering ist. Damit unterscheiden sie sich von jenen die auch tagsüber anhalten.

- **Mischungsschicht:** Die Mischungshöhe ist in der Umweltmeteorologie ein wichtiger Parameter, weil dieser jene Höhe definiert in welcher Schadstofffreisetzungen vom Grund vertikal durch Konvektion oder mechanische Turbulenz in einer Zeitskala von etwa einer Stunde oder weniger verteilt werden. (Piringer et al., 1998). Die Höhe der Mischungsschicht definieren Helbig et al. (1999) als Obergrenze einer dem Boden aufliegenden Schicht mit kräftiger vertikaler Durchmischung und annähernd trockenadiabatischem Temperaturgradient. Mit dem Tagesgang der Sonneneinstrahlung erfolgt die Erwärmung der Erdoberfläche, damit unterliegt auch die Höhe der Mischungsschicht einem Tagesgang. Die Mischungsschicht hat durch die verstärkte Erwärmung über dem Stadtgebiet eben dort eine größere Ausdehnung als über dem Umland. Die Ausprägung des Wärmeinseleffekts folgt einem Tagesgang, von einem mittäglichen Minimum zu einem Maximum in den Nachtstunden.

2.2.1. Logarithmisches Windprofil

Bei neutraler Schichtung in der atmosphärischen Grenzschicht verändert sich die Windgeschwindigkeit annähernd logarithmisch mit der Höhe und nähert sich in der freien Atmosphäre dem geostrophischen Wind. Die graphische Darstellung ist in Abbildung 2.2 ersichtlich. Wie sich dieses Profil bei Einfluss von Reibung verändert zeigt Abbildung 2.3. Bei Stull (1997) wird neben der Bodenrauigkeit auch die maßgebliche Beeinflussung des vertikalen Windprofils durch Gebäude, Brücken oder bauliche Veränderungen im Gelände erwähnt.

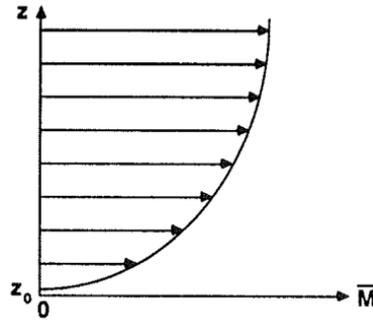


Abb. 2.2.: schematische Darstellung des Logarithmischen Windprofils aus Stull (1997)

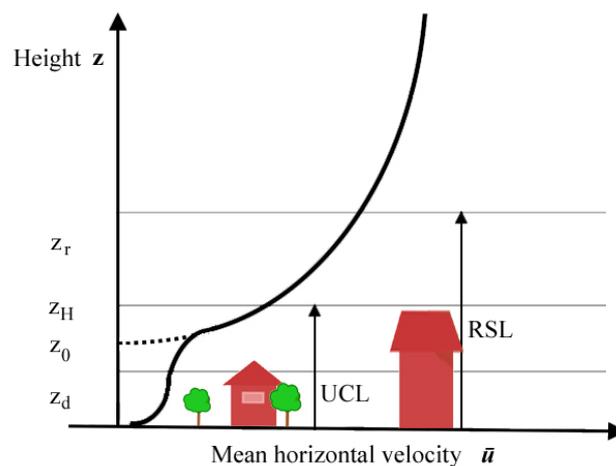


Abb. 2.3.: Logarithmisches Windprofil mit Rauigkeit, modifiziert nach Oke (WMO, 2008)

2.2.2. Atmosphärische Stabilität

Die Stabilität der Atmosphäre ist eng mit dem Begriff der Turbulenz verknüpft. Bei Helbig et al. (1999) werden folgende Stabilitätsklassen unterschieden:

- **Neutrale Temperaturschichtung:** wird der Energieaustausch eines Luftpartikels mit der Umgebung und auch Kondensation (im Partikel) ausgeschlossen, ergibt sich ein trockenadiabatischer Temperaturgradient von 0,98 K/100 m (Temperaturabnahme pro 100 m Höhendifferenz vom Boden weg).

Durch Temperaturabnahme kann der in der Luft vorhandene Wasserdampf den Sättigungsgrad erreichen und damit Kondensation auslösen. Damit wird die zur Verdampfung benötigte Energie wieder frei.

Je nachdem wieviel Wassermenge kondensiert, ist der feuchtadiabatische Temperaturgradient kleiner als 0,98 K pro 100 m. Ist der Temperaturgradient in der Atmosphäre trockenadiabatisch spricht man von einer neutralen Schichtung.

2. Theoretischer Hintergrund

- **Stabile Temperaturschichtung:** Ist die Temperaturabnahme geringer als die trockenadiabatische, so handelt es sich um eine trockenstabil geschichtete Atmosphäre. Nimmt die Temperatur mit der Höhe nicht ab sondern zu, so liegt eine besonders ausgeprägte Form dieser Schichtung vor, eine Inversion. Kommt es zu Kondensation, kann die Temperaturreduktion mit der Höhe zum Teil wesentlich kleiner als $0,98 \text{ K}/100\text{m}$ sein. Dabei sind Fälle möglich, bei welchen die Atmosphäre zwar trockenstabil aber auch feuchtlabil geschichtet ist. Tritt in solchen Fällen, z.B. durch Hebung, Kondensation ein kann es zu hochreichender konvektiver Bewölkung mit teils heftigem Niederschlag kommen.
- **Labile Temperaturschichtung:** Erfolgt eine Temperaturabnahme mit der Höhe größer als jene der trockenadiabatischen, wird die Schichtung als trockenlabil bezeichnet. Die ausgeprägteste Form einer trockenlabilen Schichtung ist meist in Bodennähe zu finden.

Der Austausch erfolgt bei diesen drei Schichtungszuständen folgendermaßen:

- Ist die Schichtung neutral, wird ein aus der Ruhelage nach oben (unten) bewegtes Luftpaket adiabatisch abgekühlt (erwärmt). Die Temperatur des Pakets nimmt bei Hebung um $0,98 \text{ K}/100 \text{ m}$ ab, bzw. zu beim Absinken. Somit hat das Luftpaket immer die gleiche Temperatur wie die neutral geschichtete Atmosphäre in seiner Umgebung. Dadurch ergibt sich ein Temperaturrückgang von $0,98 \text{ K}/100 \text{ m}$, die Ausgangsgeschwindigkeit wird beibehalten.
- Ist die Temperaturschichtung trockenstabil, bewegt sich ein adiabatisch abkühlendes (erwärmendes) Luftpaket in eine wärmere (kühlere) Umgebung, wird es abgebremst und in die Gegenrichtung wieder beschleunigt. Dadurch pendelt das Luftpaket um seine Ausgangslage.
- Ist die Schichtung trockenlabil, wird das aus der Position bewegte Luftpaket adiabatisch abgekühlt (erwärmt), dabei erfolgt eine Abkühlung um mehr als den adiabatischen Temperaturgradienten ($0,98 \text{ K}/100\text{m}$) in der Umgebungsatmosphäre. Das Luftpaket wird bei der Bewegung nach oben immer wärmer, bei einer Bewegung nach unten immer kälter als die Umgebung. Daraus resultiert eine immer stärkere Beschleunigung in die anfängliche Bewegungsrichtung.

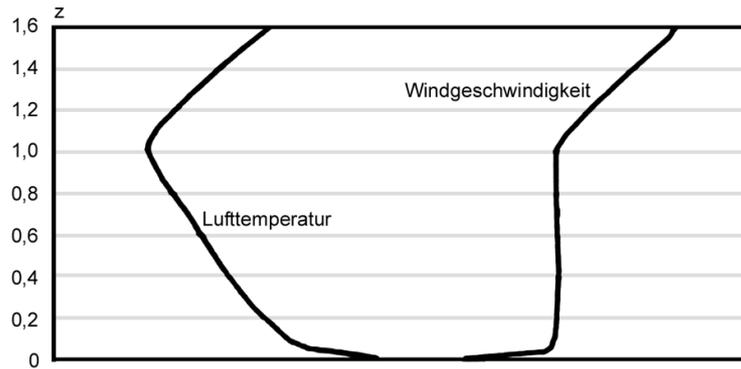


Abb. 2.4.: Schematisierte Darstellung von Lufttemperatur links und Windgeschwindigkeit rechts in Abhängigkeit der Höhe für labile Schichtung. Grafik modifiziert nach Helbig et al. (1999)

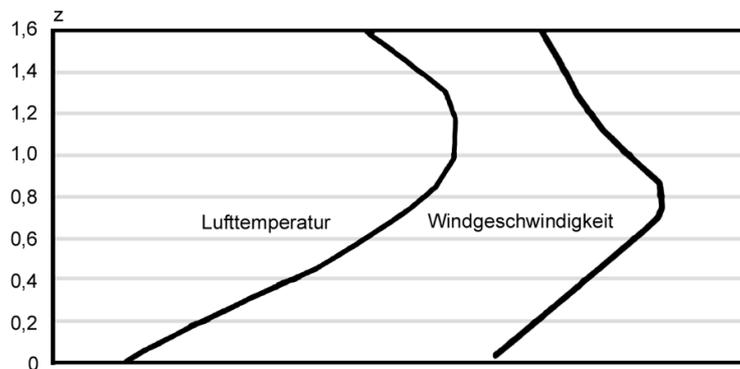


Abb. 2.5.: Schematisierte Darstellung von Lufttemperatur links und Windgeschwindigkeit rechts bei Inversionsschichtung in Abhängigkeit der Höhe. Grafik modifiziert nach Helbig et al. (1999)

2.2.3. Rauigkeit an Oberflächen

Im Normalfall wird durch den vorherrschenden Wind kein Boden mitgerissen (Ausnahmen: Hurrikan, Tornado...) . Daraus kann man nach Eugster (2008) schließen, dass die Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche gegen null geht. Diese Höhe wird mit z_0 bezeichnet.

Definiton:

$$\bar{u}(z_0) = 0 \tag{2.10}$$

Die Rauigkeit z_0 einer Oberfläche bestimmt massgeblich das vertikale Profil der Horizontalgeschwindigkeit \bar{u} . In der Ähnlichkeitstheorie wird angenommen, dass sich Schubspannungsgeschwindigkeit u_* in der bodennahen Grenzschicht nicht mit der Höhe ändert.

Aus der Definition

2. Theoretischer Hintergrund

$$u_* = \sqrt{-\overline{u'w'}} \quad (2.11)$$

geht hervor, dass sich somit auch der Impulsfluss

$$\overline{u'w'} \quad (2.12)$$

mit der Höhe nicht verändert. Das heißt, innerhalb der bodennahen Grenzschicht wirken neben der Reibungskraft der Oberfläche keine anderen Kräfte auf das Windfeld ein.

In der Realität ist weder die Landoberfläche komplett eben noch ist die Rauigkeitslänge z_0 überall gleich. Hier ist zu erwähnen, dass Messungen wesentlich durch die Rauigkeitsverhältnisse entlang des Windwegs beeinflusst werden.

2.2.4. Die städtische Grenzschicht

In diesem Kapitel wird auf die Unterschiede zwischen urbanen Gebieten und jenen ohne Hindernisse (Kapitel 2.2) eingegangen. Um die unterschiedlichen Betrachtungsweisen der städtischen Grenzschicht zu erklären sind einige Skalenbezeichnungen gebräuchlich. Die Einteilung erfolgt je nachdem für welchen Größenbereich eine Messung repräsentativ ist. Eine schematische Darstellung der städtischen Grenzschicht gibt die Abbildung 2.6.

Der bedeutendste Unterschied zwischen urbanen und ländlichen Gebieten liegt im vertikalen Austausch von Impuls, Hitze und Feuchte. Dieser Austausch erfolgt auf der ebenen Oberfläche nicht, jedoch schon in der urban Canopy layer UCL. Die UCL ist bei Piringer et al. (2005), als die Schicht zwischen Untergrund und in etwa dem Dachniveau der städtischen Gebäude definiert. Die UCL wird durch Straßenschluchten und den unterschiedlichen Gebäudeformen geprägt.

Die Ausdehnung der Rauigkeitsschicht (RSL) hängt stark von Windgeschwindigkeit und Stabilität (ob stabil, neutral oder instabil) ab. Die vertikale Ausdehnung der RSL wird normalerweise über die mittlere Gebäudehöhe h_r ausgedrückt. Über den Daumen gepeilt kann die Höhe der RSL mit 2-5 h_r angegeben werden. Messungen in dieser Höhe sind typischerweise für ein Gebiet von $10^2 - 10^4 m^2$ repräsentativ. Die exakten Dimensionen des beeinflussten Gebiets hängen von der genauen Messhöhe, der Rauigkeit der Oberfläche, Windgeschwindigkeit, -Richtung und atmosphärischer Stabilität ab. Wobei die Beeinflussung in der Nacht um einiges größer ist.

MESOSKALA:

Eine Stadt beeinflusst Wetter und Klima mit der Skala der ganzen Stadt, typischerweise mit einigen 10 Kilometern Ausdehnung, weshalb auch eine einzelne Station nicht repräsentativ für die gesamte Stadt sein kann.

Laut Oke (2004) generiert jeder Oberflächentypus in der lokalen Skala eine interne Grenzschicht (internal boundary layer), welche mit dem Windweg, abhängig von Rauigkeit und Stabilität, wächst. In ländlichen Gebieten variieren die Windwegverhältnisse von 1:10 bei instabilen Bedingungen bis zu 1:500 in stabilen Fällen.

Mesoskala

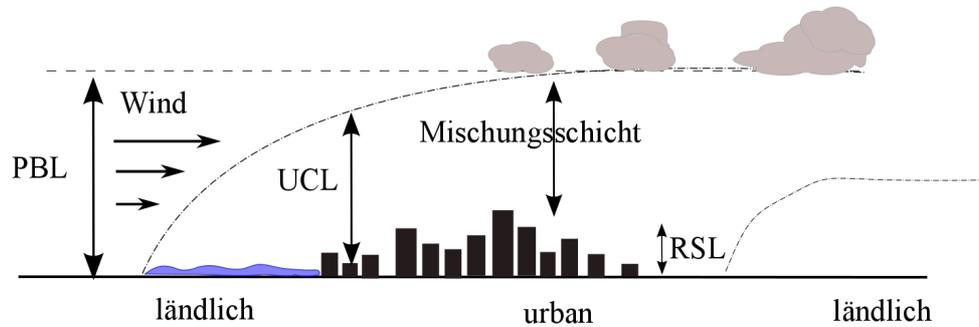


Abb. 2.6.: Mesoskala, für eine Betrachtung der Mesoskala wird nicht nur die urbane Gegend betrachtet, sondern es gehen auch Einflüsse des ländlichen Umlands ein. Grafik modifiziert nach Oke (2006).

Für urbane Flächen erhält man aufgrund der erhöhten thermischen und mechanischen Turbulenz bei neutraler Stabilität typische Werte von 1:100 (Hitzeinseleffekt mit großer Rauigkeit). Die Höhe der internen Grenzschicht wird über der Absetzungshöhe (displacement height), z_d (typische z_d Werte ca. ~ 0.5 bis $0.7z_H$) genommen. So bedeutet das für ein dicht verbautes Gebiet ($z_H = 10m$, kann jedoch innerstädtisch noch mehr sein), $z_r \geq 15m$ und dem Einflussbereich - Bereich wo der Wind vor Eintreffen beim Meßgerät herkommt(fetch) über ähnlichen urbanem Gebiet, meistens bei um die 0.8 km.

LOKALE SKALA:

Diese Skala beinhaltet klimatische Effekte von landschaftlichen Oberflächen wie Topographie, schließt aber mikroskalige Effekte aus. Die Abbildung 2.7 zeigt eine schematische Darstellung der lokalen Skala. In Städten heißt es auch das Klima der Nachbarschaften mit ähnlicher Art von urbaner Entwicklung (Bodenbedeckung, Größe und Ausdehnung von Gebäuden, Nutzung). Typische Skalen sind von einem bis zu einigen Kilometern.

MIKROSKALA:

Die typische Skala des urbanen Mikroklimas wird von einzelnen Elementen wie Gebäuden, Bäumen, Straßen, Gärten usw. vorgegeben. Die Ausdehnung kann von weniger als einem

2. Theoretischer Hintergrund

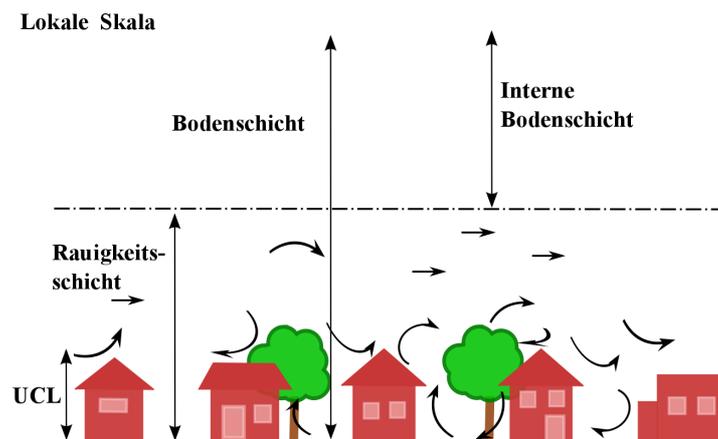


Abb. 2.7.: Lokale Skala, bei diesem Skalenausschnitt wird besonderes die Beeinflussung der Rauigkeitsschicht betrachtet. Dabei sind vor allem die Einflüsse durch Hindernisse und deren Auswirkungen von Interesse, Grafik modifiziert nach Oke (2006).

bis zu hunderten Metern reichen. Eine Übersicht über die Besonderheiten der Mikroskala zeigt die Abbildung 2.8.

Die WMO Richtlinien für frei aufgestellte Klimastationen sind so konzipiert, dass mikroklimatische Einflüsse auf die Messgrößen vermieden werden und so weit wie möglich einheitliche Messhöhen, Oberflächenbedeckung, Mindestabstände zu Hindernissen und kleineren horizontalen Beeinflussungen erreicht werden. Das Ziel sind Klimabeobachtungen frei von externen mikroklimatischen Signalen, um lokale Klimata zu charakterisieren.

In einem Strömungsversuch wurde der Einfluss eines Probekörpers mit einer Rauch ausstoßenden Modellbahn visualisiert. Für den Versuchsaufbau wurde eine spezielle Rauchflüssigkeit verwendet, welche zu einem Dampfausstoß der Bahn führt. Um die Windströmung zu simulieren wurde ein Tischventilator in geeignetem Abstand aufgestellt. Ein Ergebnis ist in Abbildung 2.9 zu sehen. Die Ähnlichkeit zur theoretischen Abbildung 2.8 ist sehr groß.

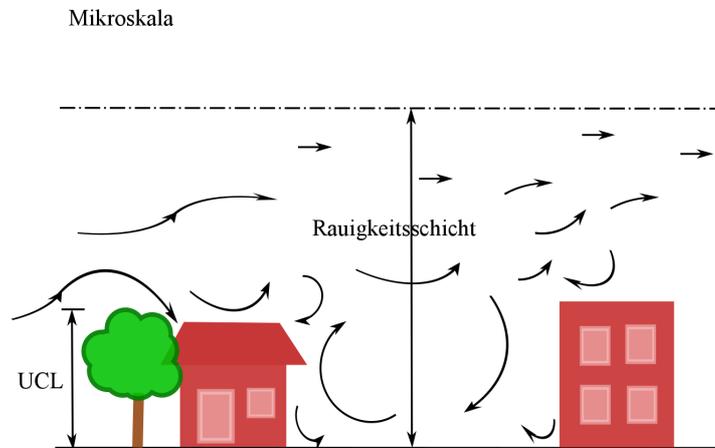


Abb. 2.8.: Mikroskala, innerhalb der Mikroskala werden die kleinräumigen Einflüsse durch Hindernisse untersucht, Grafik modifiziert nach Oke (2006)



Abb. 2.9.: Zwischen Modellbahn und Probekörper bildet sich ein Wirbel, aber auch hinter dem Hindernis sind Wirbel zu erkennen, in der sogenannten Kavitätszone.

3. Windmessung

Sehr oft wird unter 'Wind' die Luftversetzung in der horizontalen Ebene verstanden. Der Wind ist aber in jedem Fall eine vektorielle Größe, die sich aus Windrichtung (Herkunft) und Windgeschwindigkeit (als skalare Größe) zusammensetzt. Wie Eugster (2008) erläutert, versteht man unter Windgeschwindigkeit den in einer Zeiteinheit (z.B. Sekunden) horizontal bzw. vertikal zurückgelegten Windweg.

Die Messung von Windgeschwindigkeit und -richtung reagiert, wie auch in dem Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO, 2008) erwähnt, hochsensibel auf Ablenkungen und Änderungen der Strömung an Objekten. Die Beeinflussung durch diesen Effekt ist auf allen Skalen durch Änderungen in der Rauigkeit, z.B. durch Hügel, Täler, zu bemerken. Aber auch Bäume oder Gebäude, ja sogar der Halterungsarm des Messgeräts selbst, kann zu einer Beeinflussung führen.

3.1. Messmethoden

Nach den Richtlinien der WMO (2008) und auch der ÖNORM 9490-6 erfolgt Windmessung (außer anders angegeben) 10 m über Grund. Rotations-Anemometer sind derzeit die am häufigsten eingesetzten Geräte (werden jedoch zunehmend durch Ultraschall-Anemometer ersetzt, ÖNORM 9490-6). Wenn Instrumente kurzfristig außer Betrieb sind oder wenn die Messung nicht registriert wird, dann werden Richtung und Intensität abgeschätzt - wofür es eigene Richtlinien der WMO (2008) gibt. Zur Messung von Windgeschwindigkeit und -Richtung können verschiedene physikalische Prinzipien verwendet werden, jedes hat seine Vor- und Nachteile:

- **Schalenkreuz- und Propelleranemometer** Schalenkreuz- (Schalenstern-) und Propelleranemometer bestehen aus zwei Komponenten, einerseits dem Rotor mit Signalgenerator, siehe Abbildung 3.1, und einer Windfahne, Abbildung 3.2, welche die Richtung des Windes erfasst. Bei Rotations-Anemometern dreht sich ein Schalenstern um eine lotrechte Achse oder ein Propeller, der durch eine Windfahne in die Windrichtung gedreht wird, um eine waagrechte Achse. Die Windgeschwindigkeit wird aus der Wirkung des dynamischen Druckes der Luftströmung bestimmt. Es erfolgt also eine Messung der Drehzahl der Geberachse, welche von Windgeschwindigkeit und Bauform des Gebers abhängt. (ÖNORM 9490-6)

Bei Windgeschwindigkeiten kleiner 4 m/s kann die Kalibrierung der Schalenkreuzanemometer stark von der Linearität abweichen, wenn der Arm, der die Schalen mit der Rotationsachse verbindet, länger ist als die Durchmesser der Schalen.

3. Windmessung



Abb. 3.1.: Schalenkreuzanemometers der Firma Theodor Friedrichs (Manual Theodor Friedrich & CO)

Man sollte darauf achten, dass Lager und Signalgenerator eine niedrige Start- und Laufreibung haben, damit das Trägheitsmoment des Signalgenerators das Ansprechverhalten nicht zu stark beeinflusst.

- **Potentiometer** ist ein Widerstandselement: Durch Drehung ändert sich der Widerstandswert ähnlich wie bei einem Radio, die drehbare Lautstärkenkontrolle. Aufgrund von Abrieb kann laut Ing. Mack und Herrn Fass der Firma Kroneis, bei Wartungsintervallen von mehr als 5 Jahren, von einer fehlerhaften Messung ausgegangen werden, da dieses Element alle 2 Jahre gewartet werden sollte.

Probleme bei der Messung mit Schalenkreuzanemometern:

- **Ansprechgeschwindigkeit** Bei der Ansprechgeschwindigkeit handelt es sich um die kleinste Windgeschwindigkeit bei der Windsensoren Messwerte ausgeben (ÖNORM 9490-6). Das Problem bei der Ansprechgeschwindigkeit ist nicht nur der Wind, sondern auch die Trägheit des Geräts, welche dazu führt, dass der Anemometer viel rascher auf kurzzeitige Zunahme der Windstärke reagiert als bei einer gleichstarken kurzfristigen Abnahme.

Im Mittel resultiert daraus nach Eugster (2008) bei Drehung des Anemometers eine zu hohe, oder falls die Windgeschwindigkeit unterhalb der Ansprechgeschwindigkeit ist, eine zu niedrige Windgeschwindigkeitsausgabe. Die Abbildung 3.3 verdeutlicht den Einfluss der Trägheit auf die Messwerterfassung.



Abb. 3.2.: Schalenkreuzanemometer der Firma Theodor Friedrichs mit getrennter Windfahne, links und rechts Schalenkreuzanemometers der Firma Kroneis mit Windfahne direkt unterhalb der Windgeschwindigkeitserfassung, das Foto zeigt die Messstation Borealis BFW/LDX

Diese Geschwindigkeitsverfälschung kann bei manchen Geräten bis zu 10 % (WMO, 2008) des Messwerts betragen.

So sind laut Eugster (2008) Messdaten, welche mit Schalenkreuzanemometern gemessen werden bei windschwachen Lagen kritisch zu betrachten. Dies gilt vor allem wenn diese Daten als Grundlage für Ausbreitungsszenarien herangezogen werden.

- **Das Ultra Sonic Anemometer (USA)** misst die Zeit zwischen Aussendung und Empfang eines Ultraschallsignals über eine fixe Distanz, bei 2D USA über 2 horizontale Messstrecken, bei 3D USA's mit einer zusätzlichen vertikalen Messstrecke. Da Sonic Anemometer keine beweglichen Teile haben ist der Verschleiß niedriger und die Lebensdauer höher. Der Vorteil: wenn keine Messung erfolgt (Ausfall oder dergleichen), wird kein Signal aufgezeichnet. Im Gegensatz dazu wird bei einem Schalenkreuzannemometer auch dann aufgezeichnet, wenn dieser z.B. eingefroren ist. In dieser Arbeit werden Daten von zwei unterschiedliche Messvarianten von Sonic Anemometern verwendet: das Anemometer der Firma Gill Instruments hat über der Messdistanz eine Abdeckung. Die Sende- und Empfangssensoren sind schräg nach oben angeordnet, wodurch das Signal an der Abdeckung reflektiert wird und sich eine längere Messstrecke ergibt (Abbildung 3.4); der Sensor bleibt jedoch relativ klein. Das Messgerät der Firma Thies 3.5 hat ebenfalls vier kreuzweise angeordnete

3. Windmessung

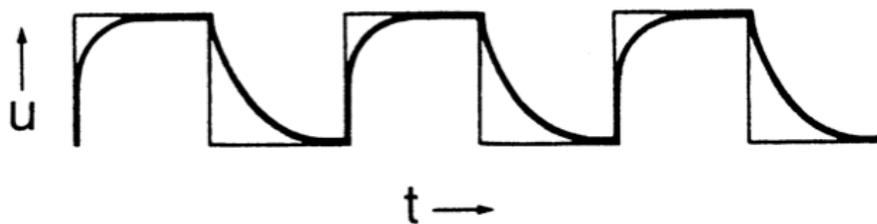


Abb. 3.3.: Ansprechverhalten eines Schalenkreuzanemometers (dicke Linie) zeigt sowohl Über- als auch Unterschätzung deutlich. Die dünne Linie entspricht einer rechteckigen Windgeschwindigkeitsfunktion. (Eugster, 2008)

Sensoren, es wird jedoch direkt, ohne Reflexion gemessen. Da auch für dieses Gerät eine hinreichend lange Messdistanz notwendig ist, fällt dieses etwas größer aus.



Abb. 3.4.: Bei dem Ultraschallanemometer auf dem Hauptgebäude ist die kompakte Bauweise zu erkennen, über die schräge Anordnung der Sensoren und der Abdeckung im oberen Bereich ist eine hinreichend lange Messstrecke gewährleistet. (aus Manual Gill Instruments)

- **Das PITOT'sche Staurohr:** Für die Bestimmung der Windgeschwindigkeit wird das pitot'sche Staurohr parallel zur Strömung ausgerichtet. An einer Öffnung wird der statische und der Staudruck gemessen, im Inneren des Geräts nur der statische Druck. Die Differenz der beiden Messungen ergibt die aktuelle Windgeschwindigkeit. Bei Windstille - Kalme - wird an beiden Enden der gleiche Druck gemessen. Somit ergibt die Differenz Null, folglich ist die Windgeschwindigkeit Null (WMO, 2008). Dieses Messprinzip kommt auch in der Luftfahrt bei der Geschwindigkeitsbestimmung zur Anwendung. Die Funktionsweise ist Abbildung 3.6 zu entnehmen.



Abb. 3.5.: 2D Ultraschallanemometer, über zwei Messstrecken mit je zwei Messköpfen können Windgeschwindigkeit (horizontal) als auch Windrichtung erfasst werden (aus Manual Adolf Thies GmbH & Co.KG)

- **Das Hitzedrahtanemometer**

Misst die Temperaturänderung (Kühlung) an einem dünnen Draht. Operationell ist dieses System jedoch eher nicht im Gebrauch, da es einerseits sehr zerbrechlich und sich andererseits die Kalibrierung in verschmutzter oder nasser Umgebung stark ändert. Deshalb wird der Gebrauch bei Niederschlag von der WMO (2008) nicht empfohlen. Die zugeführte elektrische Energie entspricht der abgegebenen Wärmeenergie pro Zeit.

- **Remote-Sensing Systeme - Dopplerwindmesser**

es wird mithilfe von Schall (SODAR), oder elektromagnetischen Wellen (Licht - LIDAR bzw. Mikrowellen - RADAR) auf die Windgeschwindigkeit geschlossen. Ein großer Vorteil dieser Remote Sensing Systeme: Sie können auch Windinformationen aus höheren Niveaus liefern. Da mit diesen Geräten sehr hohe Anschaffungskosten verbunden sind, findet man sie nur vereinzelt im ständigen Messbereich. Flächendeckend sind im ZAMG Windnetzwerk Schalenkreuzanemometer im Einsatz. (WMO, 2008)

3.2. Standortbestimmung für Windgeber

Windsensoren werden standardmäßig im offenen Gelände in 10 m Höhe angebracht. Offenes Gelände wird als Gebiet definiert, in welchem die Distanz zwischen Anemometer

3. Windmessung

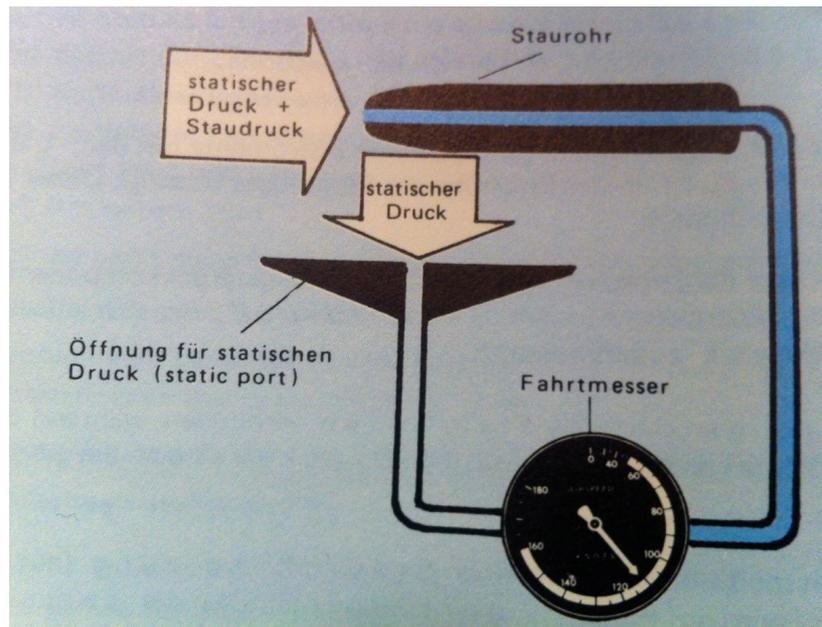


Abb. 3.6.: An dem Staurohr wird der statische und der Staudruck gemessen, am anderen Ende wird nur der statische Druck gemessen. In der Luftfahrt zeigt diese Methode an einem Fahrtmesser die Geschwindigkeit an - in der meteorologischen Anwendung ergibt sich auf die gleiche Weise die Windgeschwindigkeit.

und einem störenden Objekt mindestens ein Radius von 10 mal der Höhe des Objekts hat. Windmessungen, welche in direkter Nähe zu Baumreihen, Gebäuden oder anderen Objekten stattfinden, sind nicht repräsentativ und geben wenig Information über den ungestörten Wind.

Nach dem Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO, 2008) können Strömungsänderungen windabwärts des Hindernisses das 12 bis 15 fache der Gebäudehöhe erreichen. Damit würde die 10-fache Entfernung zum Hindernis nur dem absoluten Minimum entsprechen. Die ÖNORM 9490-6 gibt ebenfalls an, dass eine ungestörte Messung dann vorhanden ist, wenn der Abstand zwischen Hindernis und Messpunkt mindestens das 10 fache der Höhe ist.

In der Praxis ist es daher schwierig gute oder auch nur akzeptable Standorte für Windgeber zu finden. Die Wichtigkeit der Optimierung der Standorte von Windstationen kann gar nicht oft genug betont werden, weswegen es schwierig ist, universelle Richtlinien festzulegen.

Besonders wichtig: Die Sensoren sollten so weit wie möglich frei von lokalen Behinderungen sein. Die Instrumente sollen auf Messarmen mit einer Länge von mindestens drei mal der Mast oder Turmbreite sein. Wenn Windgeber auf Dächern von Gebäuden montiert werden, sollten diese mindestens eine Gebäudebreite über dem Dach angebracht werden.

Die Umgebung sollte gut dokumentiert werden dafür ist ein Plan der Stationsumgebung in einem Radius von mindestens zwei Kilometern anzufertigen. Diesbezüglich von Interesse sind Hindernisse, Vegetation, Höhen- und Niveauunterschiede u.s.w. zu dokumentieren. Ebenfalls müssen Änderungen in der Umgebung (neu wachsende Bäume, Gebäude, Sträucher...) im Stations-Logbuch vermerkt werden (WMO, 2008). Bei der Aufstellung eines Windgebers muss laut ÖNORM 9490-6 darauf geachtet werden, dass das Messsignal den Himmelsrichtungen richtig zugeordnet wird. Dafür muss das Gerät vor Inbetriebnahme 'eingenor-det' werden (auf jedem Messgerät befindet sich eine Nordmarke, welche mithilfe eines Geländepunkts oder einem Kompass ausgerichtet wird). Wo keine Messungen in Standardhöhe durchgeführt werden können, sollen Anemometer in jener Höhe aufgestellt werden, in welcher eine nicht allzu starke Beeinflussung besteht und die Messung so weit wie möglich dem 10 m Wind entspricht, welcher ohne Hindernisse in der Umgebung zu erwarten wäre.

Laut Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO, 2008) ist bei Frost darauf zu achten, dass spezielle Vorkehrungen getroffen werden, damit die Sensoren frei von Graupel- und Eisablagerungen bleiben. Bei manchen Stationen ist es sinnvoll, eine Heizung für exponierte Stellen z.B. eine thermisch kontrollierte Infrarotheizung anzubringen. Für manche Messsysteme sind eigene Graupel und Eisschilder entwickelt worden.

Um eine optimale Qualität der Daten zu sichern sind regelmäßige Plausibilitätskontrollen durchzuführen (ÖNORM 9490-6). Dafür sind Messreihen regelmäßig, mindestens einmal im Monat auf Vollständigkeit und Plausibilität (zumindest visuell) zu kontrollieren. Die Daten sollen im Hinblick auf Auffälligkeiten wie fehlerhafte Werte (konstante Werte über längeren Zeitraum: könnte bei einem Schalenkreuzanemometer z.B. auf ein festgefrorenes Anemometer hindeuten).

3.3. Windmessung in verbautem Gebiet

Den geeigneten Standort für ein Windmessgerät zu finden stellt sich besonders im urbanen Raum als große Herausforderung dar. Wenn ein paar Grundregeln beachtet werden, können jedoch ganz gute Messergebnisse erzielt werden. So kann ein Standort, an welchem es zu einer starken Beeinflussung kommt, Ressourcenverschwendung und auch der Grund für Fehler bei Schadstoffausbreitungsrechnungen sein.

Besonders schwierig gestaltet sich die Standortfrage bezüglich des Kriteriums des offenen Geländes, da Einflüsse von Objekten oder topographischen Effekten fast nicht auszuschließen sind. Das ist mit ein Grund, warum Standardhöhen für Windgeber im ländlichen Bereich auf 10 m über Grund festgelegt wird. Ein Anemometer sollte in nicht weniger als 10 mal der Objekthöhe in horizontaler Entfernung von beeinflussenden Objekten aufgestellt werden. So würde das für ein 10 m hohes Gebäude einen Mindestabstand von 100m

3. Windmessung

bedeuten. In typischen urbanen Bereichen ist es unmöglich solche Plätze zu finden und wenn schon, sind diese meist nicht repräsentativ für die Umgebung.

Im stark verbauten Gebiet kann sich laut dem Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO, 2008) diese Beeinflussung auf ca 1,5 mal der Gebäudehöhe ausweiten. Im oben genannten Beispiel wäre eine Anemometerhöhe von zumindest 15 m empfehlenswert. Wenn Gebäude viel höher sind als diese 10 m, wäre es unsinnig diese unterhalb oder eben genau auf Dachhöhe zu platzieren.

3.4. allgemeine Darstellung von Winddaten

3.4.1. Windrosen (und ihre Interpretation)

Die verbreitetste Darstellung von Winddatenzeitreihen erfolgt in einem Polarkoordinatensystem. Dabei entsprechen die 360° des Kreises genau den 360 Grad der Windrichtung, wobei 360° der Windherkunftsrichtung Nord zugeordnet, die weitere Verteilung erfolgt antizyklonal, im Uhrzeigersinn. In diesem Sinn entsprechen 90° östlicher, 180° südlicher und 270° westlicher Richtung. Die graphische Aufarbeitung dieser Windrosendarstellung befindet sich in Kapitel 5 .

Meist wird in dieser Darstellung die Windrichtung entsprechend der Häufigkeit ihres Vorkommens dargestellt. Ist auch die Windgeschwindigkeit von Interesse, muss die Art der Darstellung etwas modifiziert werden: Hierfür erfolgt ebenfalls eine Darstellung in einem Polarkoordinatensystem, welches in 36 Sektoren unterteilt ist. Dabei werden die Windrichtungen den Sektoren zugeordnet. Die Zuordnung in die Sektoren erfolgt mittels einer mathematischen Rundung nach einer Division der Windrichtung durch zehn. Dadurch ergeben sich folgende Hauptwindrichtungen zehn (so bedeutet das Windrichtung zwischen fünf und 15 Grad), 20, 30 bis 360.

3.5. Besonderheiten in der Erfassung und Verarbeitung von Winddaten

Bei der Erfassung und Verarbeitung muss mit größtmöglichem Bedacht gearbeitet werden, da eine falsche Anwendung dazu führen kann, dass die aufwendig gemessenen Daten unbrauchbar werden können. Um dies so gut wie möglich zu verhindern, müssen Datenerfassung, Verarbeitungsintervalle und auch die ausgewerteten Daten kontrolliert werden.

3.5.1. Typische Verarbeitungsintervalle

Es gibt keine allgemein gültige Bestimmung über die 'richtige' zeitliche Mittelung von Winddaten, da diese jeweils anwendungsspezifisch erfolgt. So ist es in der Klimatologie üblich, Tages- oder Monatsmittelwerte zu verarbeiten. Das erklärt sich dadurch, je länger man in die Vergangenheit geht, umso grobmaschiger werden die zur Verfügung stehenden Aufzeichnungen. Dadurch fallen kurzfristige Schwankungen nicht in dieses Arbeitsgebiet.

Im Gegensatz dazu steht die Synoptik. In diesem Bereich der Meteorologie sind vor allem die kurzfristigen Änderungen von großer Bedeutung. Häufig wird eine 10 minütige Mittelung verwendet. Mitunter ist für einige Anwendungen sogar eine noch feinere Auflösung notwendig (z.B. auf Flughäfen für Böenvorhersagen). Die in der Umweltmeteorologie üblichen Halbstundenwerte sind auf gesetzliche Vorgaben bezüglich Immissionsgrenzwerten für Luftschadstoffe in Österreich zurückzuführen. In dieser Arbeit werden Halbstundenmittelwerte der Winddaten als Datenbasis verwendet. Nur im Kapitel 6.2 werden für den Vergleich der Vera Reanalyse mit den tatsächlich am Flughafen Wien Schwechat gemessenen Werten stündliche Mittel verwendet. Vera Analysen werden stündlich erstellt, dabei wird ein Zehnminutenmittel auf die ersten 10 Minuten der vollen Stunde zugewiesen.

3.5.2. Vektorielle Mittelung

Um vektorielle Mittelung zu erklären muss zunächst der Begriff des Windvektors geklärt werden. Bei einem Windvektor (\vec{u}) handelt es sich um eine dreidimensionale Größe, durch welche die mittlere Strömung der Luft charakterisiert wird. Die Erläuterung der vektoriellen Mittelung wurde der ÖNORM 9490-6 entnommen.

$$\vec{u}(u, \alpha) \quad (3.1)$$

wobei \vec{u} dem Windvektor, u dem Betrag des Windvektors und α der Richtung des Windvektors (von Nord über Ost) entspricht. Bei einem Windvektor aus Nordost werden die Komponenten aus dem Polarkoordinatensystem mit den Beziehungen

$$u_1 = -\vec{u} \cdot \sin\alpha \quad (3.2)$$

u_1 entspricht der Komponente in x-Richtung (West-Ost-Richtung)

$$u_2 = -\vec{u} \cdot \cos\alpha \quad (3.3)$$

u_2 Komponente in y-Richtung (Süd-Nord-Richtung) umgerechnet.

Die Mittelwerte der Komponenten u_1 und u_2 werden nach den Formel 3.2 und 3.3 berechnet:

$$\overline{u_1} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n u_{1i} \quad (3.4)$$

$$\overline{u_2} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n u_{2i} \quad (3.5)$$

hier entspricht i dem Summationsindex und n der Anzahl der Einzelwerte im Mittelungsintervall.

Aus den beiden gemittelten Windkomponenten wird die mittlere Windgeschwindigkeit \bar{u} mit

$$\bar{u} = \sqrt{\overline{u_1}^2 + \overline{u_2}^2} \quad (3.6)$$

3. Windmessung

und die mittlere Windrichtung $\bar{\alpha}'$ zunächst aus

$$\bar{\alpha}' = \arctan \left| \frac{\bar{u}_1}{\bar{u}_2} \right| \quad (3.7)$$

mit $0^\circ \leq \bar{\alpha}' \leq 90^\circ$ berechnet. Der endgültige Richtungswinkel $\bar{\alpha}'$ lässt sich mit Hilfe der Vorzeichen der Komponenten nach Tabelle 3.1 bestimmen:

3.5.3. Kalmen Problem

Definitionsgemäß wird Kalme nach dem Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO, 2008) eine Windrichtung von Null Grad zugeordnet, d.h. Windgeschwindigkeiten $< 0,8 \text{ m s}^{-1}$ (dieser Richtwert stammt noch aus einer Zeit, in der die Ansprechgeschwindigkeit der Messsysteme in diesem Bereich lag). Mit einem modernen Windsensor sind selbst kleinste Luftbewegungen im Bereich von 0,05 m/s messbar - das hängt immer von der Ansprechgeschwindigkeit der Messsysteme ab. Messwerte von Nordwind sollten ausschließlich als 360° abgespeichert werden. Ist dies nicht korrekt umgesetzt, kann es zu einer falsch interpretierten Windrose führen. Null sollte im optimalen Zustand nur dann ausgegeben werden, wenn weder Windgeschwindigkeit noch Windrichtung gemessen werden. Werden null und 360 im mathematischen Sinn als ident betrachtet, führt das zu einer überproportionalen Gewichtung des Nordwindes. (WMO, 2008) Wie sich so ein Kalmenfehler in einer Windrose zeigt, ist in Abbildung 3.7 ersichtlich.

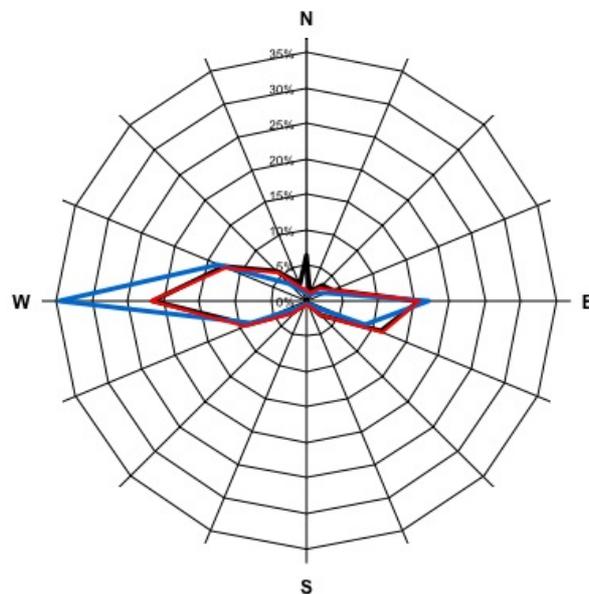


Abb. 3.7.: Beispiel einer mehrjährigen Messreihe, anonymisiert. Richtung Norden ist der Kalmenfehler deutlich durch die Spitze der schwarzen Linie zu erkennen (von Mag. Knauder und Petz (ZAMG) zur Verfügung gestellt)

3.5. Besonderheiten in der Erfassung und Verarbeitung von Winddaten

u_1	< 0	≤ 0	> 0	≥ 0
u_2	≤ 0	> 0	≥ 0	< 0
$\bar{\alpha}'$	$\bar{\alpha}'$	$180^\circ - \bar{\alpha}'$	$180 + \bar{\alpha}'$	$360^\circ - \bar{\alpha}'$

Tabelle 3.1.: Zuordnung der Windrichtung α gemäß den Vorzeichen der Komponenten.(nach ÖNORM 9490-6)

4. Windverhältnisse am Standort Mannswörth

4.1. Windverhältnisse im Raum Schwechat-Mannswörth

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Frage der Windmessung in komplex verbautem Gebiet, dargestellt am Beispiel des Industriestandorts Mannswörth. Das Industriegebiet Mannswörth befindet sich ca. zwei km außerhalb von Wien in südöstlicher Richtung. Im Westen grenzt das Gebiet direkt an Schwechat, im Norden an die Flughafenautobahn und den Ort Mannswörth. Südlich und westlich grenzt es an landwirtschaftliche Agrarflächen. Zwischen den beiden Firmen OMV und Borealis verläuft lediglich eine schmale Straße. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 4.1 eine Luftaufnahme des Areals. Zur Untersuchung gelangen die Windmessungen der beiden Firmen .



Abb. 4.1.: Übersichtsplan des Industriegebietes Mannswörth, in rot sind die Messpunkte hervorgehoben: Hauptgebäude OMV, die zwei Messungen auf dem Dach der Betriebsfeuerwehr LDX/BFW und Messpunkte auf den zwei Betriebsanlagen E4X und P5X der Firma Borealis. modifizierter Plan aus Google earth (2012)

Auf dem Firmengelände der OMV befindet sich auf dem Hauptgebäude (Höhe 50 m; folgend als OMV Hauptgebäude bezeichnet) im östlichen Bereich des Industriegebiets

4. Windverhältnisse am Standort Mannswörth

ein Windgeber in 56 m Höhe (Koordinaten: 16.494°, 48.145°). Ein weiterer Windgeber befindet sich in unmittelbarer Nähe des Hauptgebäudes direkt über der Betriebsfeuerwehr. Bei dieser werden jedoch die gemessenen Werte nicht aufgezeichnet.

Auf dem Firmengelände der Borealis befinden sich vier Windgeber; alle zeichnen die gemessenen Werte auf. Auf dem Dach der Betriebsfeuerwehr der Borealis befinden sich zwei Windgeber: ein älteres Messgerät in 16 m (folgend: LDX) Höhe und ein etwas niedrigeres auf 15 m (folgend: BFW). Weitere Messpunkte befinden sich auf einer Betriebsanlage in etwa der Mitte des Betriebsgebiets der Firma Borealis in 11 m (folgend: E4X) und im südlichen Bereich auf einer winddurchlässigen Brücke zwischen zwei Betriebsanlagen (P5X) in 11 m.

Als Referenzmessungen werden die Landesmessstelle Mannswörth/A4 (Betreiber: Niederösterreichische Landesregierung) und die Daten des Flughafens Wiens verwendet. Es ist zu beachten, dass die Daten vom Flughafen Wien zwar ins Tawes Netz der ZAMG eingespielt werden, die Windmessung aber in Knoten (kt; 1 kt = 1,852 km/h = 0,5144 m/s (ÖNORM 9490-6)) erfolgt. Da für die Anwendungen am Flughafen vor allem Starkwinde bzw. starke Schwankungen der Windverhältnisse von Interesse sind, werden dort Windinformationen kleiner als zwei Knoten nicht aufgezeichnet. Des Weiteren erfolgte laut Herrn Mitternast von der Austrocontrol im Jahr 2006 eine Umstellung von Schalenkreuzanemometer auf Ultraschallanemometer. Es wird davon ausgegangen, dass dies vor allem bei niedrigen Windgeschwindigkeiten zu bemerken ist. Des Weiteren wird die Tawes Station Grossenzersdorf zu Vergleichen herangezogen.

4.2. regionale Windverhältnisse

Die regionalen Windverhältnisse werden anhand der Stationen Mannswörth/A4 (Niederösterreichische Landesregierung), der Messungen der Austrocontrol vom Flughafen Wien sowie der Station Grossenzersdorf im folgenden erläutert.

4.2.1. Mannswörth A4

Die Messstelle befindet sich in unmittelbarer Nähe der beiden Firmenstandorte OMV und Borealis (Abbildung 4.1 bzw. ??), an einer Autobahnbrücke auf einer Höhe von 159 m über Nullniveau. Vor Durchsicht der gemessenen Daten wurde davon ausgegangen, dass dieser Messpunkt als Repräsentativ für das unbekannte Gelände angesehen werden kann. Bei der Besichtigung vor Ort konnte jedoch die Nähe zu einer Lärmschutzwand, welche die Bewohner des Ortes Mannswörth vor dem Lärm der Autobahn schützt, bemerkt werden. Da die Lärmschutzwand räumlich so nahe ist wird ein Störungseinfluss vermutet. Ein weiterer Einfluss auf den Windweg wird auch durch die entlang der Autobahn befindlichen Tanks der OMV vermutet.

Bei dem Windgeber handelt es sich laut Frau E. Scheicher (2012), NÖ Landesregierung Abteilung BD4 Umwelttechnik vom Referat für Luftgüteüberwachung, um ein kombiniertes Schalenkreuzanemometer der Firma Kroneis, Type 262/262R. Einmal jährlich wird

der Sensor einem Service unterzogen.



Abb. 4.2.: Luftgütestation Mannswörth/A4 der niederösterreichischen Landesregierung. Wie nach WMO (2008) gefordert, befindet sich der Messkopf 10 m über Grund.

Für die Auswertung stehen von dieser Station Messdaten aus dem Zeitraum zwischen 4.7.2007 und 31.3.2012 zur Verfügung. Es werden, wie bei umweltmeteorologischen Untersuchungen üblich, Halbstundenmittelwerte ausgewertet (Details Kapitel 3.5.1, typische Verarbeitungsintervalle).

Wie in Abbildung 4.3 ersichtlich, ist eine Häufung der Windrichtungen aus OstNordOst und OstSüdOst und aus WestSüdWest bis WestNordWest zu bemerken. Es kommt zu leichten tages- bzw. jahreszeitlichen Schwankungen. Teilweise tritt eine leichte Südkomponente, welche durch den Verlauf der Danubiastraße zu erklären ist, auf.

Im weiteren Verlauf werden die Daten der Messpunkte auf dem Betriebsgelände der Firmen Borealis und OMV jeweils mit den Daten vom Flughafen Wien in einem Korellogramm verglichen. Je ähnlicher die Daten sind, umso eher sind diese auf einer Diagonalachse angeordnet. Der Flughafen Wien wurde wegen der guten Datenqualität (Einhaltung der WMO Richtlinien, welche durch die Überwachung der Mitarbeiter der Austrocontrol gewährleistet sind), als auch wegen der räumlichen Nähe und der ähnlichen Topographie zum Industriegebiet Mannswörth als Referenzstation ausgewählt.

Betrachtet man die Abbildung 4.4, ist die Konsistenz der Daten gut an der starken Ausprägung der Diagonalachse zu erkennen. Der annähernd weiße Bereich zwischen 200 und 250 Grad erklärt sich durch lokale Beeinflussung an der Station Mannswörth A4. Um Unstetigkeit zu vermeiden wurde die Grafik leicht modifiziert. Dabei wurden die am Flughafen Wien gemessenen Daten zwischen 180 und 360 Grad in den rechten oberen Bereich der Gra-

4. Windverhältnisse am Standort Mannswörth

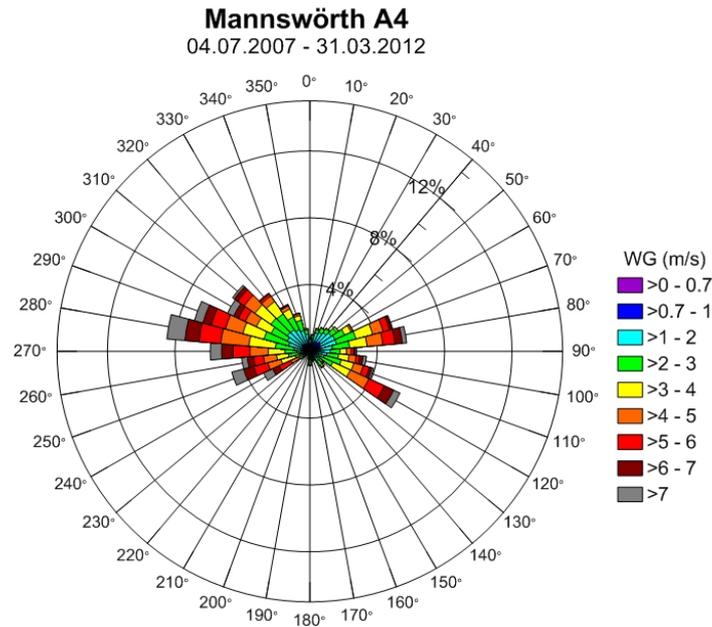


Abb. 4.3.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station Mannswörth A4 in dem Zeitraum 4.7.2007 bis 31.3.2012. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die Häufigkeit.

fik verschoben. Mit den Winddaten der Station Mannswörth A4 wurde ähnlich verfahrenes erfolgte jedoch ein Verschieben der Daten 180 bis 360 Grad unter den linken Rand der Grafik.

4.2.2. Flughafen Wien

Die Messstelle am Flughafen befindet sich ca. 4 km vom Industriegebiet Mannswörth entfernt, in einer Höhe von 183m über Nullniveau und wird von der Austrocontol Group GmbH. betrieben. Die Messung erfolgt in Knoten. Wie weiter oben schon erwähnt, wird seit 2006 die Messung mithilfe eines Ultraschallanemometers durchgeführt. Betrachtet wird der Zeitraum von 1.1.2006 bis 31.3.2012.

Die Abbildung 4.5 zeigt eine starke Ausprägung von zwei Hauptwindrichtungen: SüdOst und WestNordWest bis NordNordWest. Durch jahreszeitliche Schwankungen kommt es zeitweise zur Ausprägung einer südlichen Komponente. (sämtliche ausgewertete Windrosen befinden sich im Anhang auf einer CD)

4.2.3. Grossenzersdorf

Die Station Grossenzersdorf wird von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) betrieben und in das TAWES (teilautomatisches Wettererfassungssystem) Netz eingespeist- es werden die Halbstundenmittelwerte in der Zeit von 1.3.2007 bis zum 31.3.2012 betrachtet.

Auch bei der Station Grossenzersdorf sind zwei Hauptwindrichtungen zu beobachten, welche sich folgendermaßen aufteilen: ein Maximum ist zwischen OstSüdOst und SüdSüdOst zu beobachten, das andere erstreckt sich im 4. Quadranten von WestNordWest bis Nord-NordWest. Auch in der Betrachtung der einzelnen Jahre ist diese einheitliche Aufteilung auffallend. Die jährlichen Diagramme befinden sich auf der CD im Anhang.

Gesamt gesehen kann man aus den ausgewerteten Daten erkennen, dass die Anströmung mehrheitlich aus südöstlicher und nordwestlicher Richtung erfolgt. Diesbezüglich ist aber eine Versetzung um ca. 30 Grad an der Messstelle Mannswörth A4 zu bemerken. Jetzt gilt es herauszufinden, ob diese Abweichung durch lokale Beeinflussung oder durch andere Strömungsverhältnisse vor Ort zu erklären sind.

4. Windverhältnisse am Standort Mannswörth

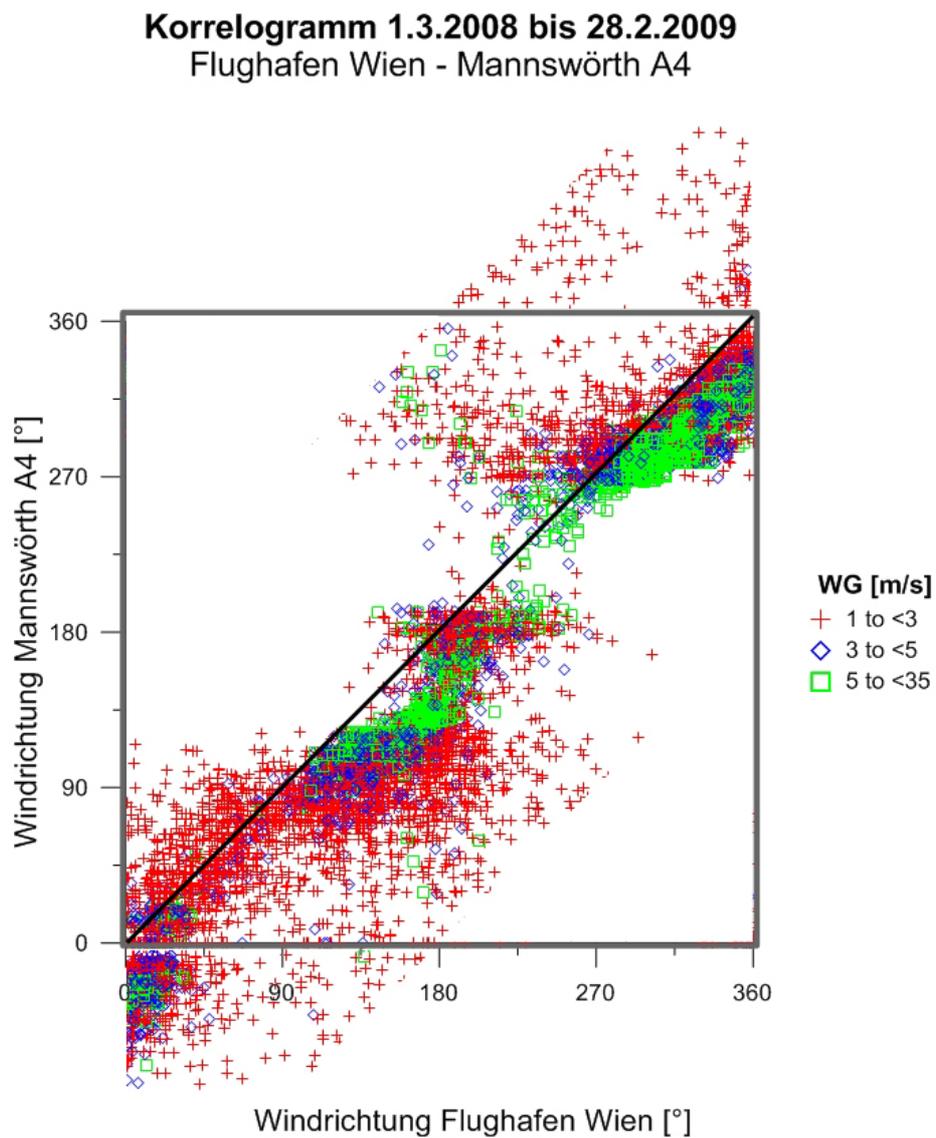


Abb. 4.4.: Vergleich der Windrichtungen der Windmessungen der Stationen Mannswörth A/4 und Flughafen Wien im Zeitraum 1.1.2008 bis 28.2.2009. Den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten sind die Farben rot (schwach), blau (mittel) und grün (stark Wind) zugeordnet.

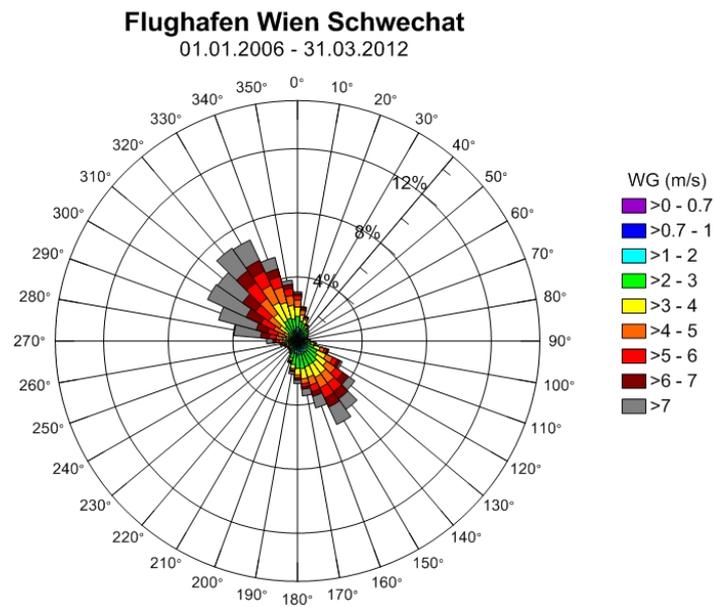


Abb. 4.5.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station Flughafen Wien in dem Zeitraum 1.1.2006 bis 31.3.2012. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die Häufigkeit.

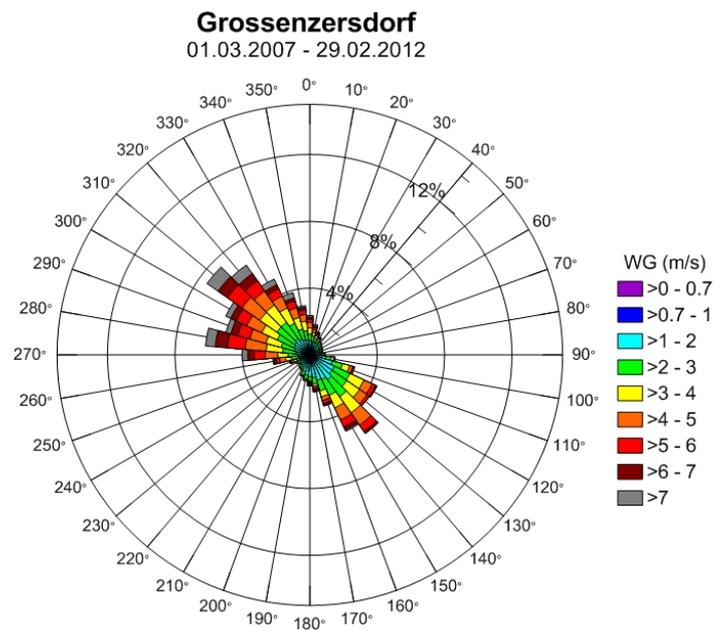


Abb. 4.6.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station Grossenzersdorf in dem Zeitraum 1.3.2007 bis 31.3.2012. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die Häufigkeit.

4. Windverhältnisse am Standort Mannswörth

4.3. Stationsbeschreibung OMV/Borealis

Im Folgenden wird die Umgebungssituation der Messgeber auf dem Betriebsgelände OMV und Borealis erläutert.

4.3.1. Stationsbeschreibung Borealis

Betriebsfeuerwehr (BFW, LDX)

Wie in Abbildung 4.7 zu sehen ist, befinden sich auf dem Dach der Betriebsfeuerwehr zwei unterschiedliche Messsysteme. Ein älteres Winderfassungssystem der Firma Kroneis (LDX) direkt an der Gebäudekante (nördlich) und eine komplette Industriewetterstation der Firma Theodor Friedrichs (BFW) ca. 3 m südlich, in der Höhe um 1 m versetzt. Die Station BFW liefert die gemessenen Daten direkt in die Feuerwache und wird bei eventuellen Freisetzungen als Grundlage für Ausbreitungsrechnungen verwendet.

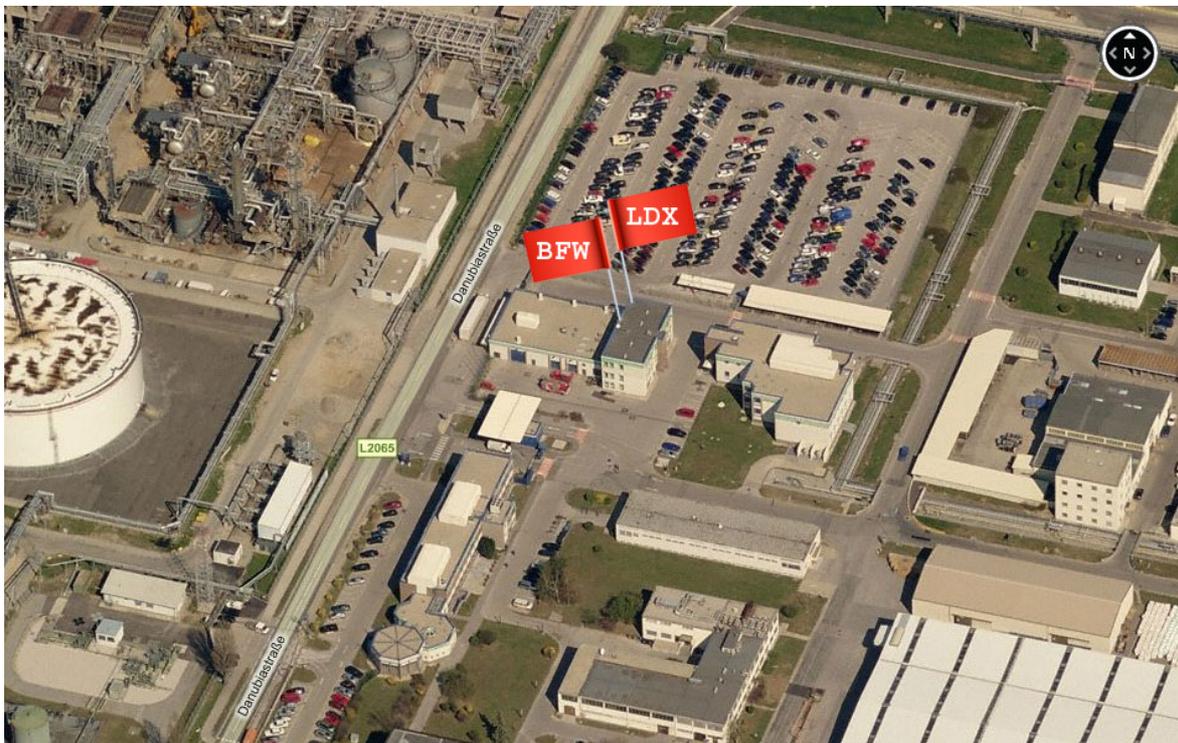


Abb. 4.7.: Umgebungsplan der Windgeber Borealis Betriebsfeuerwehr und LDX, die roten Fahnen zeigen den genauen Standort des jeweiligen Anemometers. modifizierter Plan aus BingMaps (2012)

Das Gebäude hat eine Höhe von 12m, direkt an das Gebäude anschließend befinden sich in westlicher Richtung Garagen, deren Gebäudehöhe beträgt: 6 m. Die Dachbedeckung der Feuerwache ist Attika, jene auf den Garagen Schotter. Ebenfalls westlich befindet sich hinter den Garagen die Danubiastraße. Dahinter beginnt das Firmengelände der Firma OMV. Dabei ist zu erwähnen, dass in diesem Bereich der Firma OMV Tanks mit einer

Höhe von ca 20 m und eine große Ansammlung von Rohrgebilden sind. Nördlich der Feuerwache befindet sich im Anschluss an die Zufahrt ein großer Parkplatz und überdachte Stellplätze für Fahrräder. Östlich der Wache ist ein stufenförmiges Gebäude, mit gleicher Höhe wie die Feuerwache. Darauf aufgesetzt ist ein ca 2m hoher Komplex.

Südlich des stufenförmigen Gebäudes befindet sich die Sporthalle der Firma Borealis mit einer Höhe von 6 m. Direkt südlich der Garagen ist eine Freifläche, woran weiter südlich eine LKW Ein- und Ausfahrt und der Haupteingang der Firma Borealis folgt. Beide Gebäude haben eine Höhe von 5 m, wobei auf das Hauptgebäude wieder zweimal ein etwa 2 m hoher Komplex aufgesetzt ist.

Betriebsanlage E4X

Die Messstation E4X befindet sich 160 m über Nullniveau auf dem Dach einer Betriebsanlage mit 7 m Höhe auf einem 3 m hohen Mast. Im Nahbereich der Messstelle befindet sich auf dem Dach noch eine Gebäudeerhöhung um ca. 2 m auf 9 m. Die Dachbedeckung ist aus Schotter.

Bei dem verwendeten Gerät handelt es sich um ein Messgerät der Firma Kroneis. Die gemessenen Windinformationen werden im Rahmen der Überwachung der Betriebsanlage (Verarbeitung von Mineralöl) automatisch mitgespeichert.

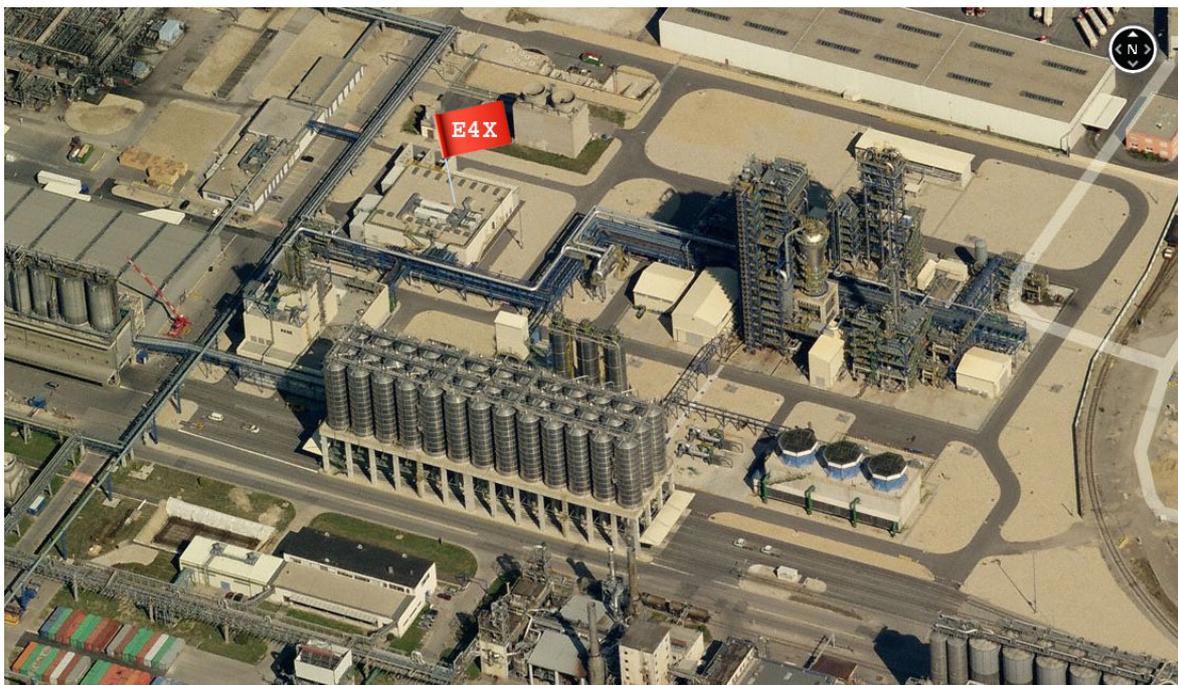


Abb. 4.8.: Umgebungsplan des Windgebers Borealis E4X auf dem Dach einer Betriebsanlage. Die rote Fahne zeigt den genauen Standort des Windgebers. modifizierter Plan aus BingMaps (2012)

Wie Abbildung 4.8 zeigt, grenzt die Betriebsanlage westlich an eine Rohrleitung (ca. 6m über Grund) sowie an ein Gebäude mit einer Höhe von ebenfalls 6 m. Auch südlich grenzt

4. Windverhältnisse am Standort Mannswörth

die Anlage an eine Rohrleitung. Dahinter befindet sich ein ca. 9 m hohes Gebäude mit einer zweifach aufgesetzten, nach oben verjüngenden Betriebsanlage. Südöstlich befindet sich eine 15 m hohe Ansammlung von Tanks. Im Osten grenzt an die Anlage ebenfalls an jene oben erwähnte Rohrleitung und eine von Rohren umgebene Betriebsanlage mit 25 m. Im nördlichen Bereich der Betriebsanlage befinden sich zwei Gebäude, umgeben von einer Wiese, eines mit einer Höhe von 5 m ein zweites mit einer Höhe von ca. 15 m und zwei direkt aufgesetzten Rohren mit einer Öffnung.

Betriebsanlage P5X

Die Winderfassung für die Station P5X befindet sich am südlichen Ende des Betriebsgeländes. Bei dem Messsystem handelt es sich, wie bei der anderen Station, welche im Rahmen des Betriebsablaufs (Verarbeitung von Mineralöl) die meteorologischen Daten miterfasst, um einen Windgeber der Firma Kroneis. Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Messstellen befindet sich diese nicht auf einem Gebäude, sondern auf einer durchströmten Pipelinebrücke mit einer Höhe von 7 m auf einem zusätzlichen Mast mit 3 m auf 160 m über Nullniveau.

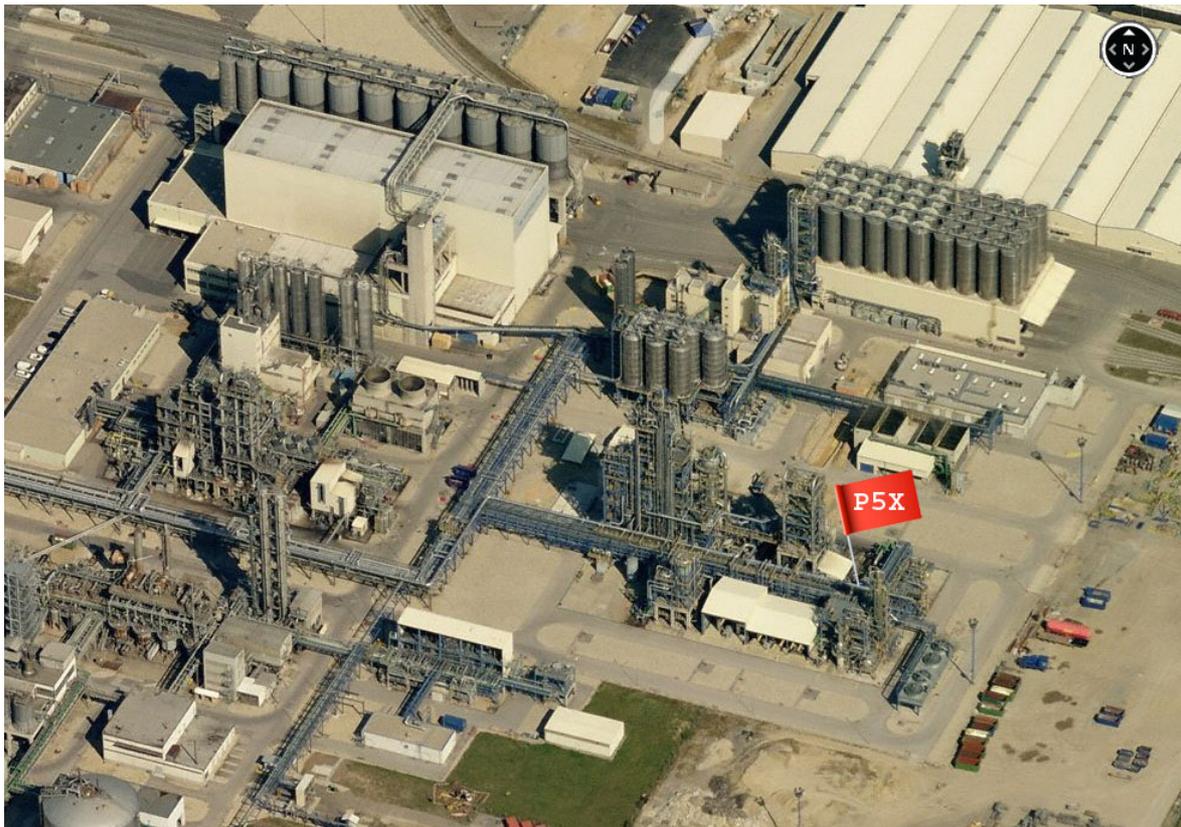


Abb. 4.9.: Umgebungsplan des Windgebers Borealis P5X. Das Anemometer befindet sich zwischen zwei Betriebsanlagen über einer Pipelinebrücke. Die rote Fahne zeigt den genauen Standort des Windgebers. modifizierter Plan aus BingMaps (2012)

Die Umgebung der Station P5X ist die komplexeste. Wie schon erwähnt, befindet sich

der Windgeber zwischen zwei Betriebsanlagen. Die nördliche Anlage hat mittig einen Aufbau von ca 20m und westlich davon noch einen Aufbau mit einer Höhe von ca. 17 m. Die südliche Anlage hat eine Gebäudehöhe von ca. 8 m, ebenfalls in etwa mittig befindet sich eine Erhöhung auf ca. 17m. Östlich grenzen die Betriebsanlagen an einen Lagerplatz. Anschließend an den Lagerplatz befinden sich Felder mit niedrigem Bewuchs. Etwas nördlich erkennt man eine Betriebsanlage mit einer Ansammlung von Tanks und einer Höhe von ca. 17m.

4.3.2. Stationsbeschreibung OMV

Die Messung auf dem OMV Hauptgebäude befindet sich in größter Höhe, die Windmessung erfolgt auf 56 m über Grund. Der Messgeber ist auf einer Plattform direkt auf dem Gebäude montiert.

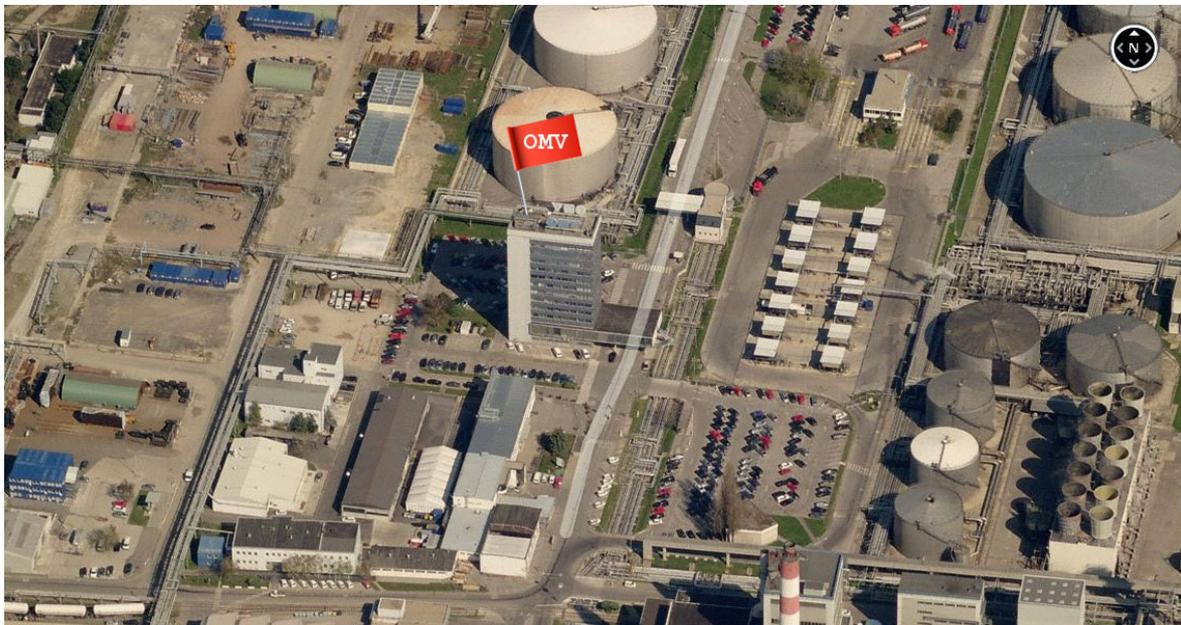


Abb. 4.10.: Umgebungsplan des Windgebers auf dem OMV Hauptgebäude. Die rote Fahne zeigt den genauen Standort des Windgebers. modifizierter Plan aus BingMaps (2012)

Neben der Plattform befinden sich am nördlichen und südlichen Rand direkt auf dem Dach ca. 2m große OMV Logo-Buchstaben. Bis auf einen Schornstein mit 100m Höhe (mittig am südlichen Rand von Abbildung 4.10 ist dieser noch anhand der rot-weiß-roten Markierung zu erkennen) sind alle umgebenden Gebäude niedriger.

Südlich, westlich und nördlich ist das Gebäude von einem Parkplatz umgeben. Im Süden grenzt daran ein Gebäudekomplex mit 8m , in dem sich die Betriebsfeuerwehr der Firma OMV befindet. Im östlichen Bereich grenzt direkt an das Hauptgebäude ein einstöckiger Anbau, unter welchem sich eine Autodurchfahrt befindet. Nördlich schließen an den Parkplatz Tanks mit einer Höhe von 25 m.

4. *Windverhältnisse am Standort Mannswörth*

Die technischen Details der Windstationen sind dem Anhang zu entnehmen (Appendix A.1). Ebenfalls wird auf die Messwertdichte eingegangen und das Ausmaß fehlerhafter Werte erläutert.

5. Ergebnisse

5.1. Borealis: Betriebsfeuerwehr, LDX

Bei der Station BFW kommt es zu einer Häufung der Windrichtungen aus nördlicher, südöst- und südwestlicher Richtung. Auffällig ist auch die starke Ausprägung der Schwachwindereignisse aus süd- bzw südsüdöstlicher Richtung.

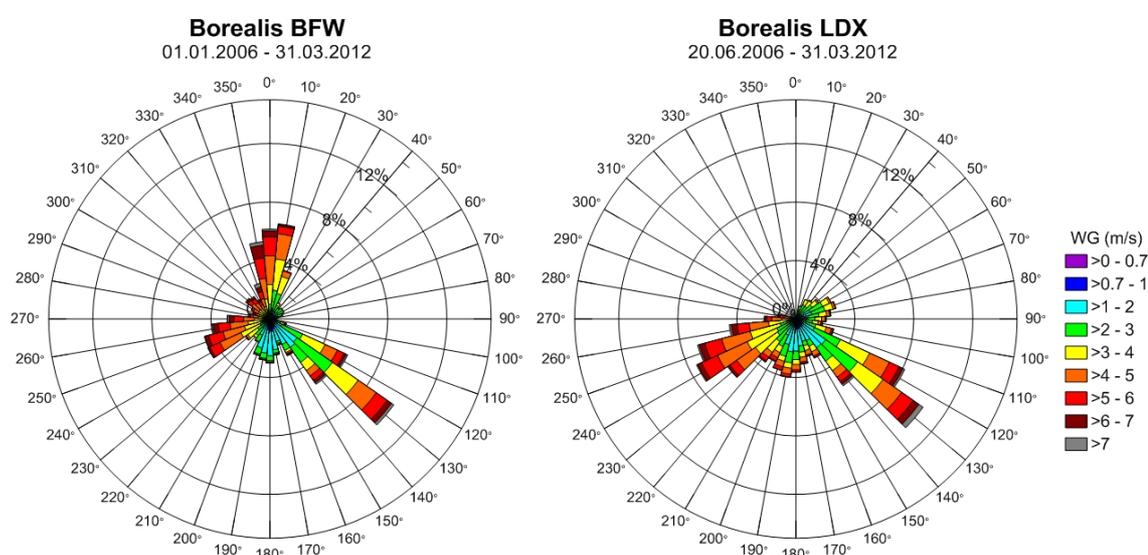


Abb. 5.1.: Die Windrosen zeigen die gemessenen Daten der Station Borealis BFW im Zeitraum 1.1.2006 bis 31.3.2012 sowie Borealis LDX im Zeitraum 20.6.2006 bis 31.3.2012 im direkten Vergleich. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

Im Gegensatz dazu bemerkt man in Abbildung 5.1 bei der Station LDX den fehlenden Ast in Richtung Norden. Aufgrund dieses Unterschieds und der räumlichen Nähe zur Station BFW wurde bei der Firma Kroneis diesbezüglich nachgefragt. Dabei ist zu klären, ob es sich um einen systematischen Fehler oder einen Gebäudeeinfluss handelt. Da in Richtung Norden keine Gebäude direkt angrenzen, kann diese Beeinflussung nur vom Objekt, auf dem der Windgeber steht oder einem fehlerhaften Messgerät stammen. Dazu wird im Anschluss in Kapitel 6.1 eine Strömungssimulation mit dem Modell WINMISKAM gerechnet.

Betrachtet man nun die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten der Station Betriebsfeuerwehr in Abbildung 5.2 vor allem bezüglich der niedrigen Windgeschwindigkei-

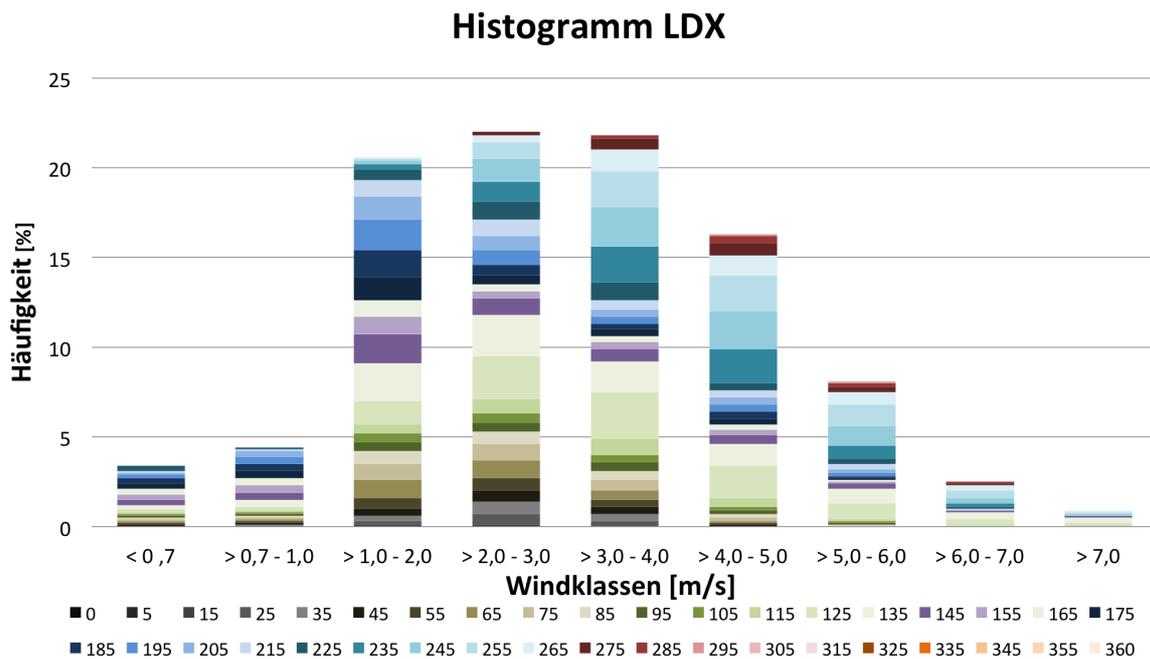


Abb. 5.3.: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten (Balken), sowie der Windrichtungen je Geschwindigkeitsklasse (Farben)

ein Verschieben der Daten 180 bis 360 Grad unter den linken Rand der Grafik.

In Abbildung 5.5 werden die Daten der Messstation LDX gegen jene vom Flughafen Wien gegeneinander aufgetragen. Die Abwesenheit von nördlichen Messwerten bei der Station LDX ist durch die annähernd weiße Fläche im oberen Bereich der Grafik zu erkennen. Ebenso ist die Aufteilung jener fehlenden Nord-Messwerte auf die Windrichtungen 10 bis 270 Grad zu erkennen. Auffällig ist auch die Häufung hoher Windgeschwindigkeiten im Bereich um 270 Grad.

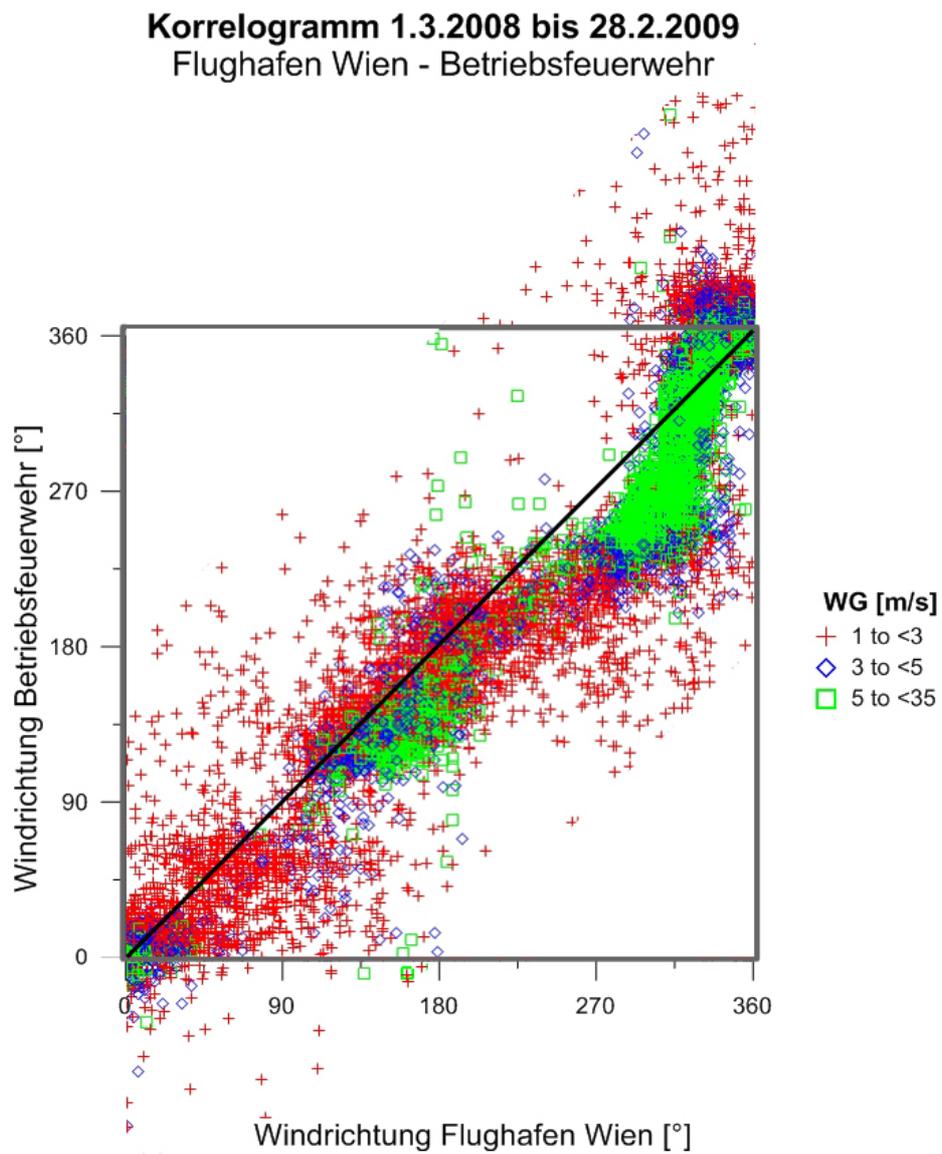


Abb. 5.4.: In dem Streudiagramm werden die Daten der Station Betriebsfeuerwehr (BFW) gegen jene vom Flughafen Wien Schwechat aufgetragen. Den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten sind die Farben rot (schwach), blau (mittel), und grün (stark Wind) zugeordnet

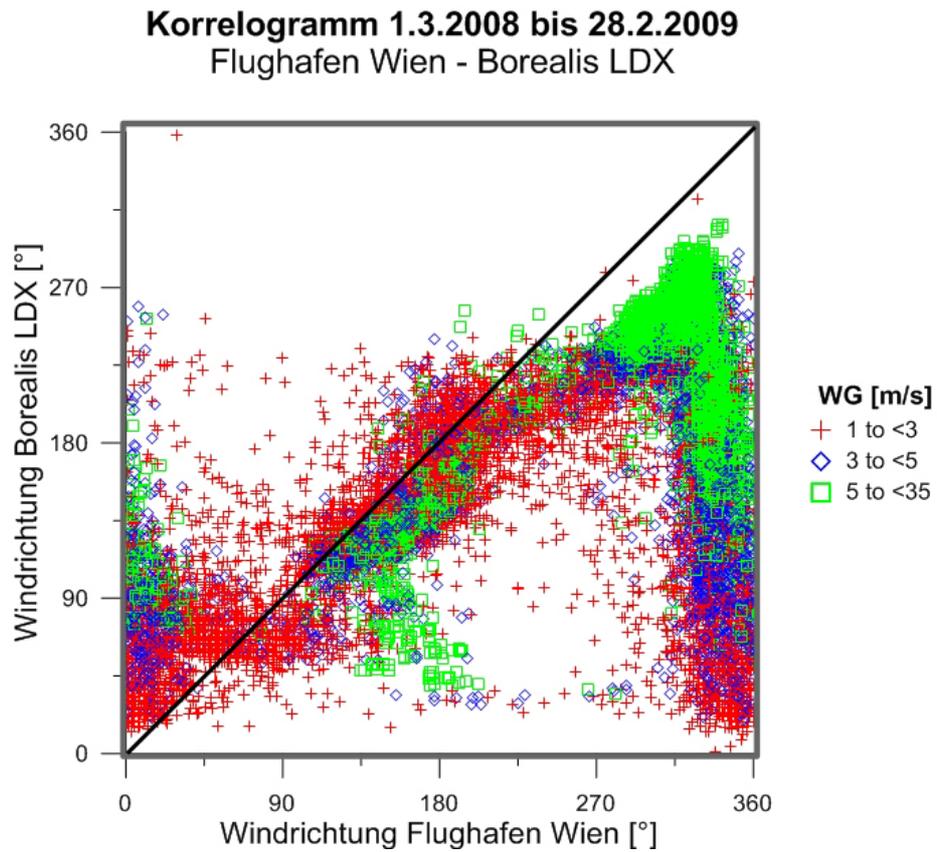


Abb. 5.5.: In dem Streudiagramm werden die Daten der Messstation LDX gegen jene vom Flughafen Wien Schwechat aufgetragen. Den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten sind die Farben rot (schwach), blau (mittel), und grün (stark Wind) zugeordnet

Borealis BFW: nähere Betrachtung der südlichen Windkomponente

Da im Laufe der Datenanalyse der Station Borealis BFW auch eine jahres- bzw. tageszeitliche Unterscheidung durchgeführt wurde, konnte sowohl bei der Unterscheidung Tag /Nacht, Winter/Tag/Nacht als auch Sommer/Tag/Nacht eine starke Variabilität der südlichen Schwachwinde bis 2 m/s festgestellt werden. Die Grafik 5.6 zeigt in den Nachtstunden eine mehr als doppelt so häufige Windgeschwindigkeit bis 2 m/s vor allem in den Sektoren zwischen 180 bis 220 Grad. Für eine bessere Übersicht wurden die Daten der Station von Tag und Nacht in einer gemeinsamen Grafik gegeneinander aufgetragen (siehe Abbildung 5.7). Dabei wird der Unterschied zwischen Tag und Nacht noch einmal eindeutig verifiziert. Nachdem Abbildung 5.6 diesen Unterschied bei den Windgeschwindigkeiten bis 2 m/s zeigt, werden in Abbildung 5.8 die unterschiedlichen Windgeschwindigkeitsklassen bis 2 m/s jeweils für Tag und Nacht gegeneinander aufgetragen. Schon bei der Windgeschwindigkeitsklasse bemerkt man, dass sich die Windgeschwindigkeiten kleiner 0,7 m/s im Unterschied Tag (hellblau)/Nacht (dunkelblau) fast verdoppeln. Auch bei den Windgeschwindigkeiten $>0,7$ bis 1 m/s zeigt sich dieser Umstand im Unterschied Tag (hellrot)/Nacht (dunkelrot). Die Windgeschwindigkeiten >1 bis 2 m/s zeigen diese starke Variabilität ebenfalls bei der Betrachtung der Windgeschwindigkeit von Tag (hellgrün) und Nacht (dunkelgrün).

Um diesem Phänomen auf den Grund zu gehen wurde die Topographie der Umgebung der Station Borealis BFW eingehend betrachtet. Dabei konnte festgestellt werden, dass v.a im Bereich 180 bis 220 Grad eine Geländeerhöhung im Umkreis von etwa einem halben km südlich der Station innerhalb dieser es zu einem Geländeanstieg von 20m kommt. Somit kommt es vermutlich in den Nachtstunden aufgrund des Hangs zu einem Kaltluftabfluss. Die Abbildung 5.9 verdeutlicht diesen auf kurzer Distanz doch relativ steilen Anstieg durch einen blauen Stich, der zugehörige Geländeschnitt ist blau umrahmt. Es wurden die Position des Windgebers (160m über NN) und jener Punkt im Gelände markiert an welche eine Höhe von 180m über NN erreicht wird. Ebenfalls ist zu erkennen, dass sich südlich des Betriebsgeländes unverbautes Gebiet befindet, dies würde für die Annahme sprechen.

Betrachtet man nun die Abbildungen 5.6,5.7 und 5.8 bezüglich der südöstlichen Komponente kann diese Variabilität nicht im gleichen Ausmaß, sondern nur wesentlich geringer festgestellt werden. Vergleicht man nun diese Erkenntnis mit dem Geländeschnitt entlang der grünen Linie in Abbildung 5.9, zeigt das Geländeprofil einen wesentlich gleichmäßigeren Anstieg der Höhe. Im Vergleich zum blauen Schnitt zeigt sich eine wesentlich schwächere Steigung, erst nach 3,5 km werden 180 m über NN erreicht.

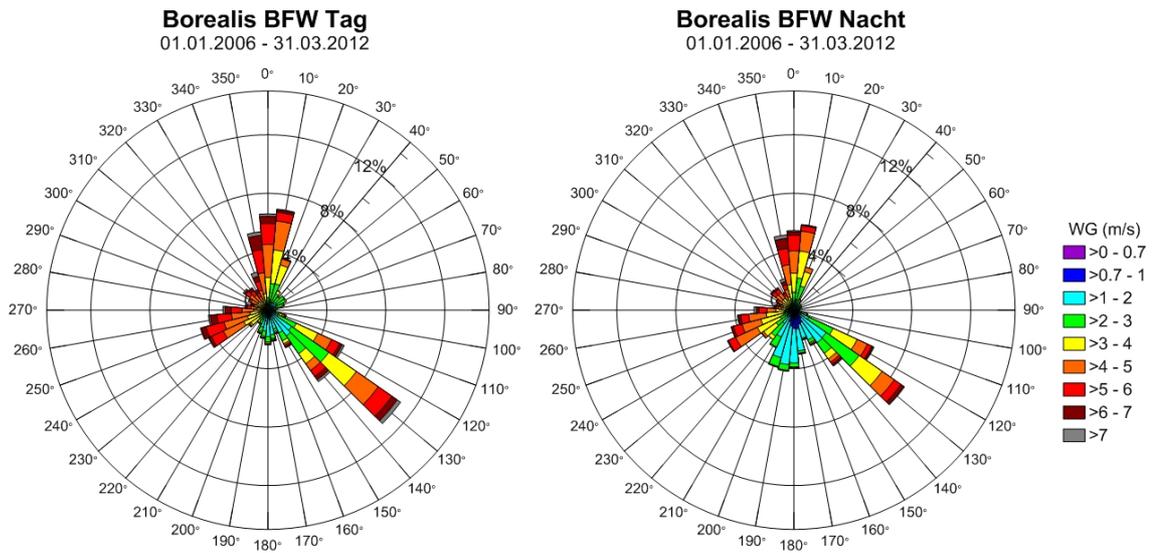


Abb. 5.6.: Die Windrosen zeigen die gemessenen Daten der Station Borealis BFW im Zeitraum 1.1.2006 bis 31.3.2012 Tag (links), Nacht(rechts) im direkten Vergleich. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

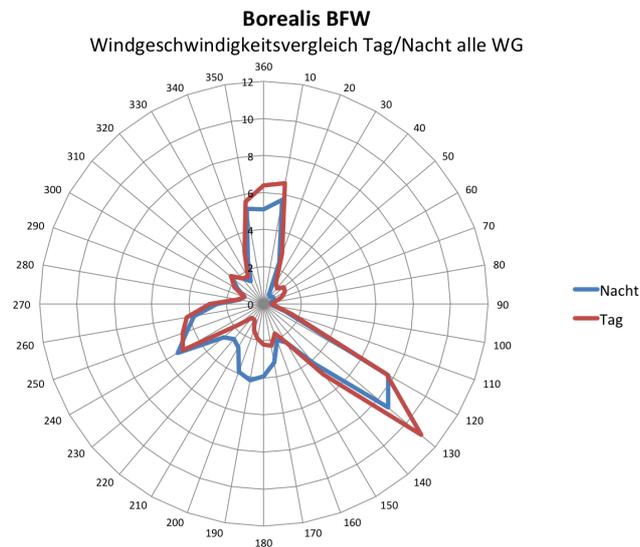


Abb. 5.7.: Für einen direkten Windrosenvergleich werden die Winddaten der Station Borealis BFW Tag (rot) und Nacht (blau) gemeinsam dargestellt.

5. Ergebnisse

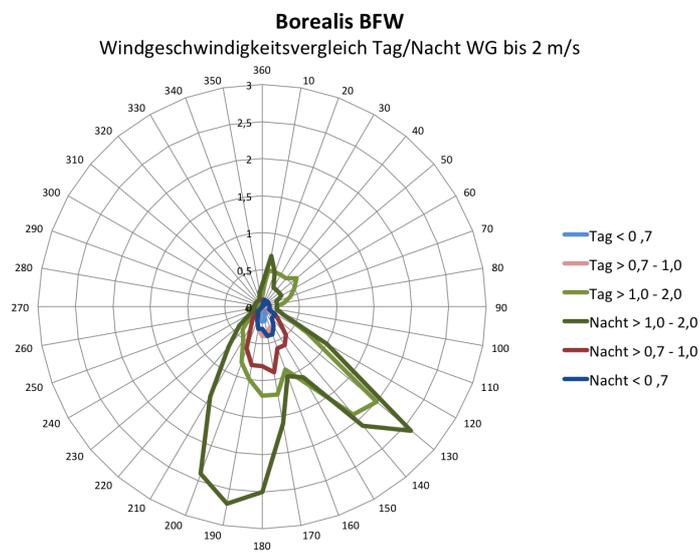


Abb. 5.8.: Der Vergleich der Winddaten der Station Borealis BFW erfolgt hier für unterschiedliche Windgeschwindigkeitsklassen: $<0,7$ m/s (blau), $>0,7-1,0$ m/s (rot) und $>1,0-2,0$ m/s (grün), wobei der helle Farbton für die tagsüber und der dunkle Farbton für die nächtlich erfassten Daten steht.

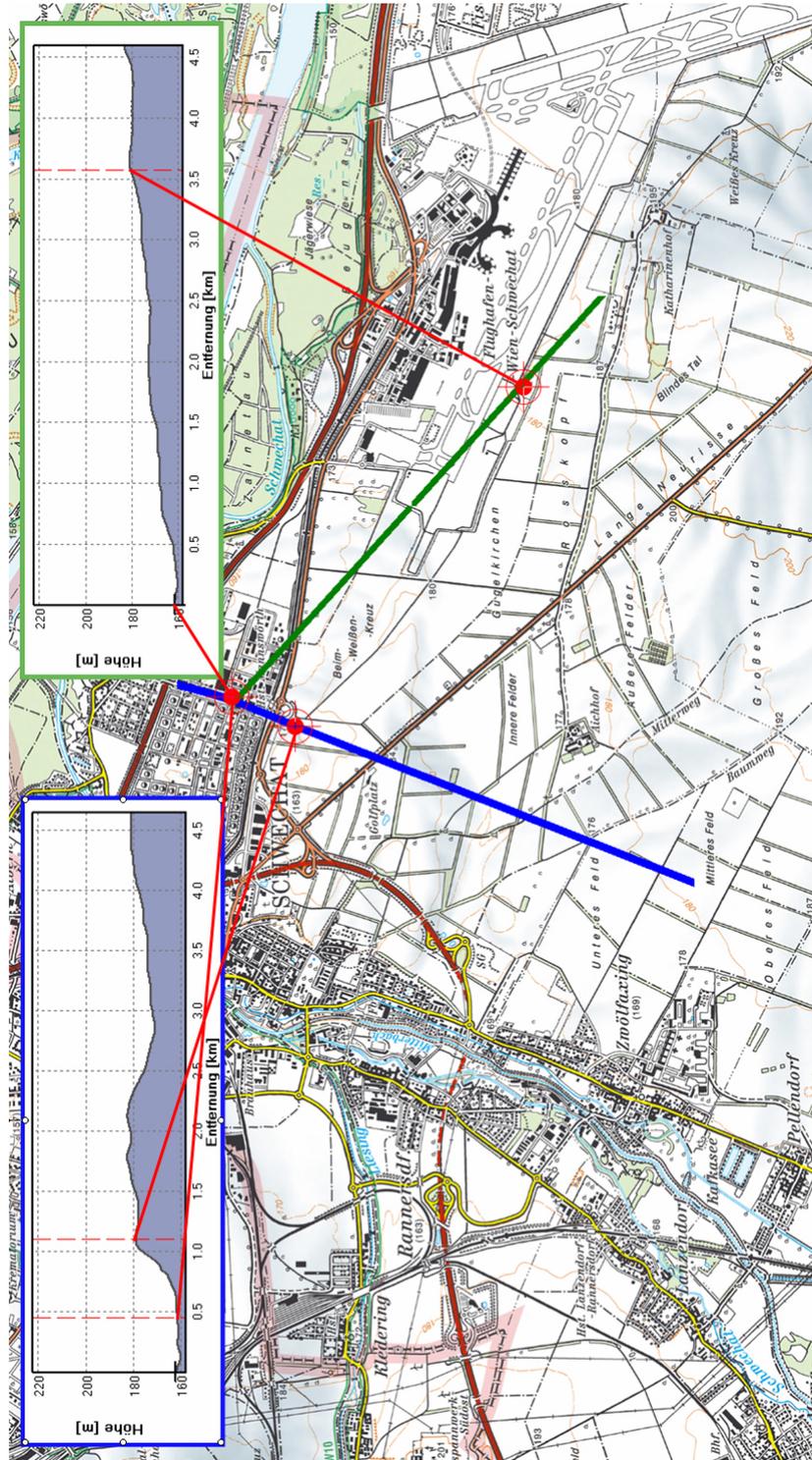


Abb. 5.9.: Höhenkarte der Umgebung der Station Borealis BFW. Um ein detailliertes Geländeprofil zu erhalten, wurde ein Schnitt entlang der blauen Linie und ein zweiter entlang der grünen Linie gelegt. Die entsprechenden Geländeprofile befinden sich in den jeweils farblich angepassten Boxen. Mithilfe roter Markierungen wurden neuralgische Punkte sowohl in der Grafik als auch im Geländeprofil markiert. modifiziert aus A map des BEV (2012)

5.2. Borealis: E4X

Anhand der Windrose in Abbildung 5.10 ist zu erkennen, dass es zwei Hauptwindrichtungen SüdSüdost und Nordwest gibt. Zusätzlich bildet sich eine Nebenwindrichtung in östlicher Richtung aus. Diese Nebenkeule ist fast ausschließlich bei niedrigen Windgeschwindigkeiten bis zu 3 m/s erkennbar. Betrachtet man nun den Umgebungsplan der Station E4X in Abbildung 4.8 im Kapitel 4.3.1 bemerkt man direkt auf dem Dach im östlichen Bereich der Winderfassung einen silbernen Aufsatz, welcher bei schwacher Windgeschwindigkeit aus Richtung 90 Grad zu einer Beeinflussung führt.

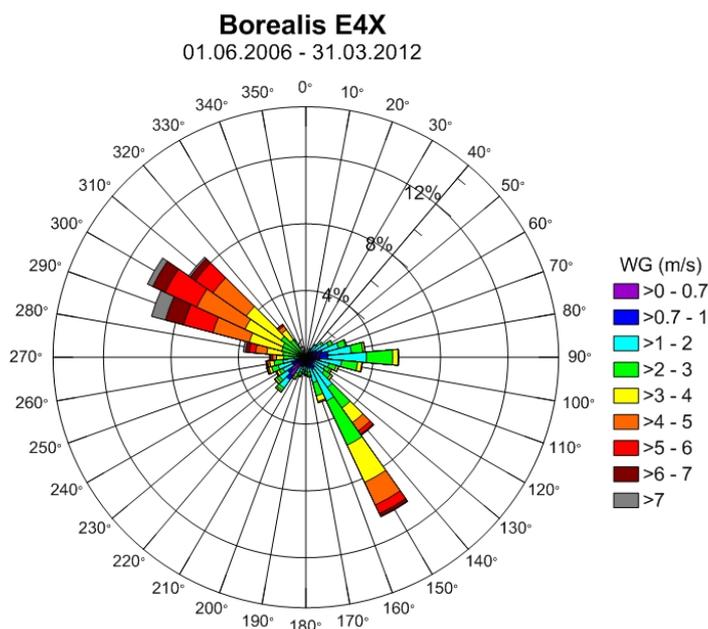


Abb. 5.10.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station Borealis E4X im Zeitraum 1.6.2006 bis 31.3.2012. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

Für die weitere Auswertung ist es von besonderem Interesse, dass stärkere Windgeschwindigkeiten vermehrt im nordwestlichen Sektor auftreten. Das spiegelt sich auch in der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten für die Station E4X (Abbildung 5.11) wieder.

Bei Betrachtung des Histogramms in Abbildung 5.11 ist zu bemerken, dass die Windrichtung Ost nur bei Windgeschwindigkeiten bis max. 4 m/s (grüner Bereich) auftritt. Ebenfalls bemerkt man die Aufteilung der Windgeschwindigkeiten 0 bis 1 m/s auf alle Windrichtungen, außer auf den 4. Quadranten (fast keine Rottöne erkennbar). Ab Windgeschwindigkeit 2 beginnt eine Verschiebung in Richtung NordWest bis schließlich fast alle Windgeschwindigkeiten größer 6 m/s aus nordwestlicher Richtung stammen (rotbrauner Bereich im Histogramm). Die Windrichtung Südost tritt bei Windgeschwindigkeiten von 1 bis 5 m/s am häufigsten auf, bei höheren Windgeschwindigkeiten kommt es nur noch

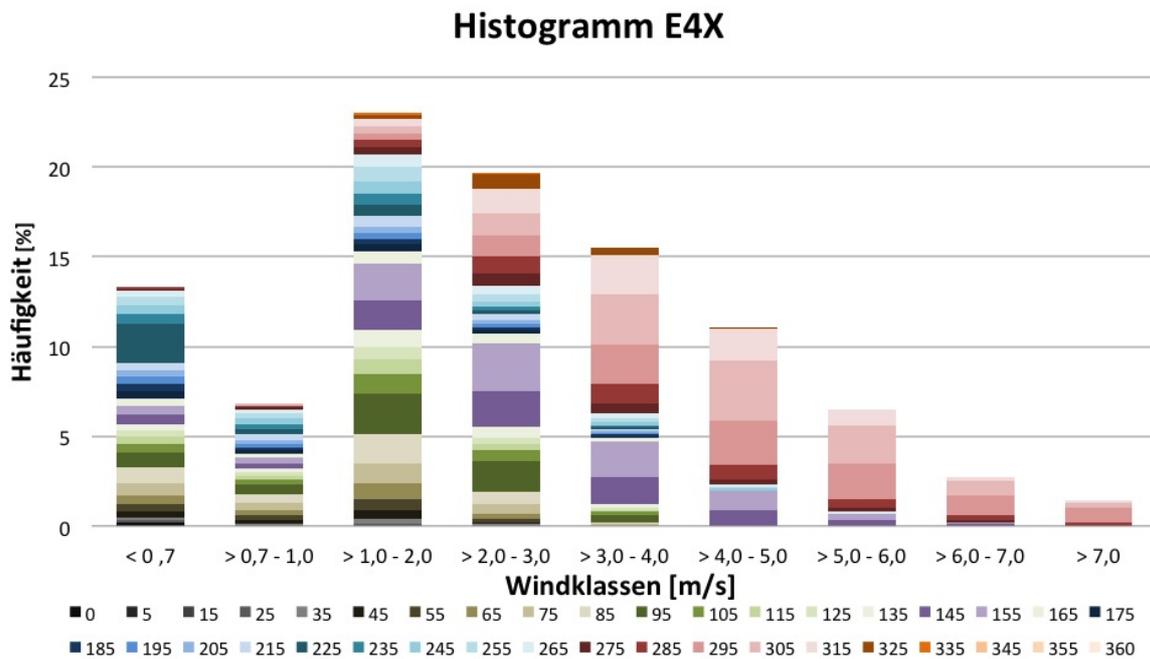


Abb. 5.11.: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten (Balken), sowie der Windrichtungen je Geschwindigkeitsklasse (Farben)

viel seltener zu dieser Windrichtung.

In dem Korrelogramm in Abbildung 5.12 wurde der Bereich 220 Grad mit blauen Pfeilen markiert. Die Messwerte liegen bei 220 Grad auffällig exakt auf einer Linie. Da dies v.a. bei niedrigen Windgeschwindigkeiten auftritt, ist das Hinweis auf einen Fehler im Messsystem. Dieser Fehler würde bei der einfachen Betrachtung der Windrose nicht auffallen und konnte erst mithilfe der Darstellung im Streudiagramm identifiziert werden.

Die erstellte Summenhäufigkeit der Station Borealis E4X in Abbildung 5.13 verdeutlicht die Auffälligkeit aus Abbildung 5.12 im Bereich 220 bis 225 Grad durch einen Knick.

Der Aufstellungsort der Station stellt sich als weniger beeinflusst dar, als zu Beginn bei der Besichtigung vor Ort vermutet. Um den Effekt durch das Hindernis im Bereich 90 Grad zu eliminieren, sollte die Station von dem aktuellen Standort (mittig auf dem Gebäude) hin zu der nordwestlichen Ecke verlegt werden.

5. Ergebnisse

Korrelogramm 1.3.2008 bis 28.2.2009 Flughafen Wien - Borealis E4X

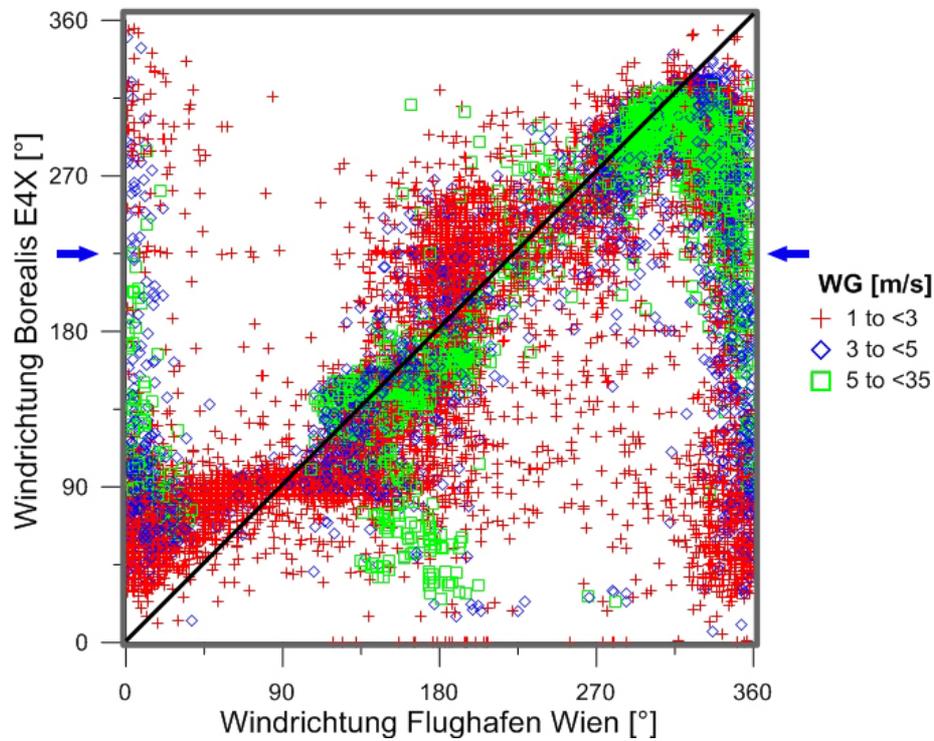


Abb. 5.12.: In dem Streudiagramm werden die Daten der Messstation E4X gegen jene vom Flughafen Wien Schwechat aufgetragen. Den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten sind die Farben rot (schwach), blau (mittel), und grün (stark Wind) zugeordnet

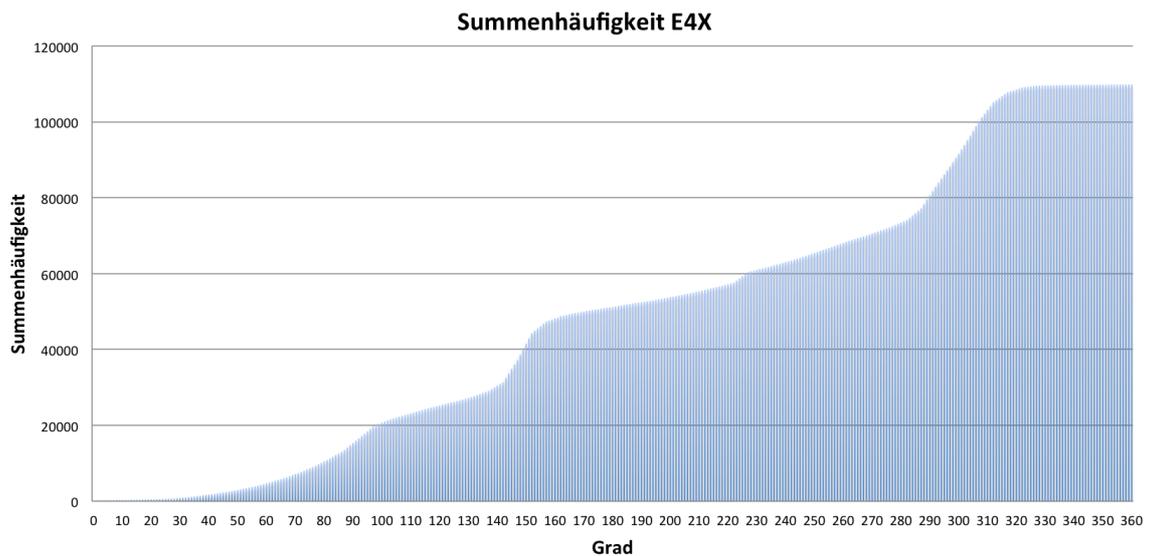


Abb. 5.13.: Die Summenhäufigkeit der Windrichtung wird über den gesamten gemessenen Zeitraum in ein Gradschritten aufgetragen.

5.3. Borealis: P5X

Bei der Betrachtung von Abbildung 5.14 sind zwei Hauptwindrichtungen zu erkennen. Einerseits ist eine stark ausgeprägte Südkomponente zu bemerken, andererseits eine aus Richtung WestNordWest. Die schwachen Windgeschwindigkeiten zwischen 290 und 340 Grad sind durch die hohe Rauigkeit im westlichen Bereich der Winderfassungsanlage zu erklären. Die mit etwa 6 % der gemessenen Werte, doch recht häufig auftretende Nebenkeule im Bereich 220 Grad wird etwas weiter unten im Anschluss an die Abbildung 5.16 besprochen.

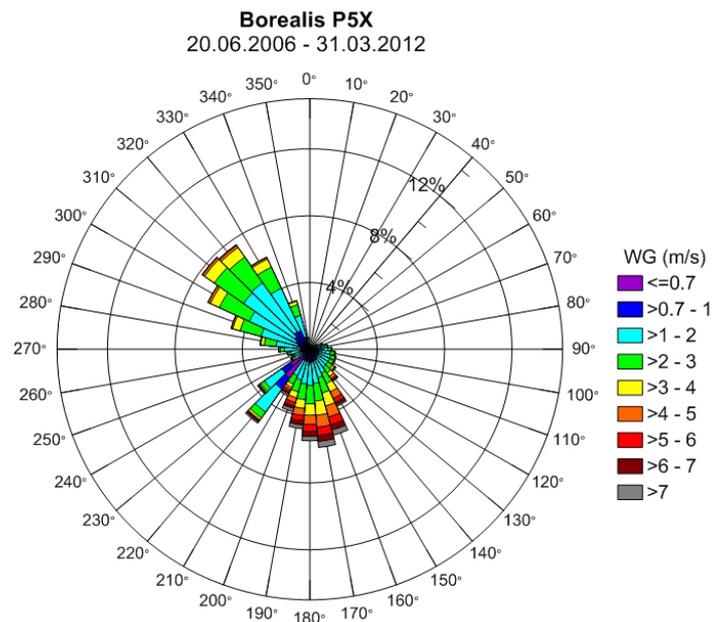


Abb. 5.14.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station Borealis P5X im Zeitraum 20.6.2006 bis 31.3.2012. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

Das Histogramm der Station Borealis P5X in Abbildung 5.15 zeigt das Fehlen der nördlichen Windrichtungen (keine schwarz - grauen Farben im Diagramm). Hingegen ist im Vergleich zu den vorigen Stationen eine starke Ausprägung der nordwestlichen Sektoren, vor allem bei den niedrigen Windgeschwindigkeiten zu bemerken. Die stärkste Häufung wird diesbezüglich bei Windgeschwindigkeiten zwischen 1 und 2 m/s bemerkt. Allgemein werden bei dieser Station eher niedrige Windgeschwindigkeiten gemessen (fast 80% aller Werte zwischen WG 0 bis 3 m/s). Allein im Bereich 1-2 m/s werden fast 40% aller Windgeschwindigkeiten erfasst. Je höher die Windgeschwindigkeit wird, umso eher werden Windrichtungen mit Südkomponente notiert (blauer Farbbereich).

Im Korrelogramm Flughafen Wien - Borealis P5X in Abbildung 5.16 ist zu erkennen, dass die stärkeren Windgeschwindigkeiten bei nördlichen Richtungen gemessen werden. Wie schon bei Abbildung 5.12 ist wieder eine Häufung der Schwachwinde in genau dem

5. Ergebnisse

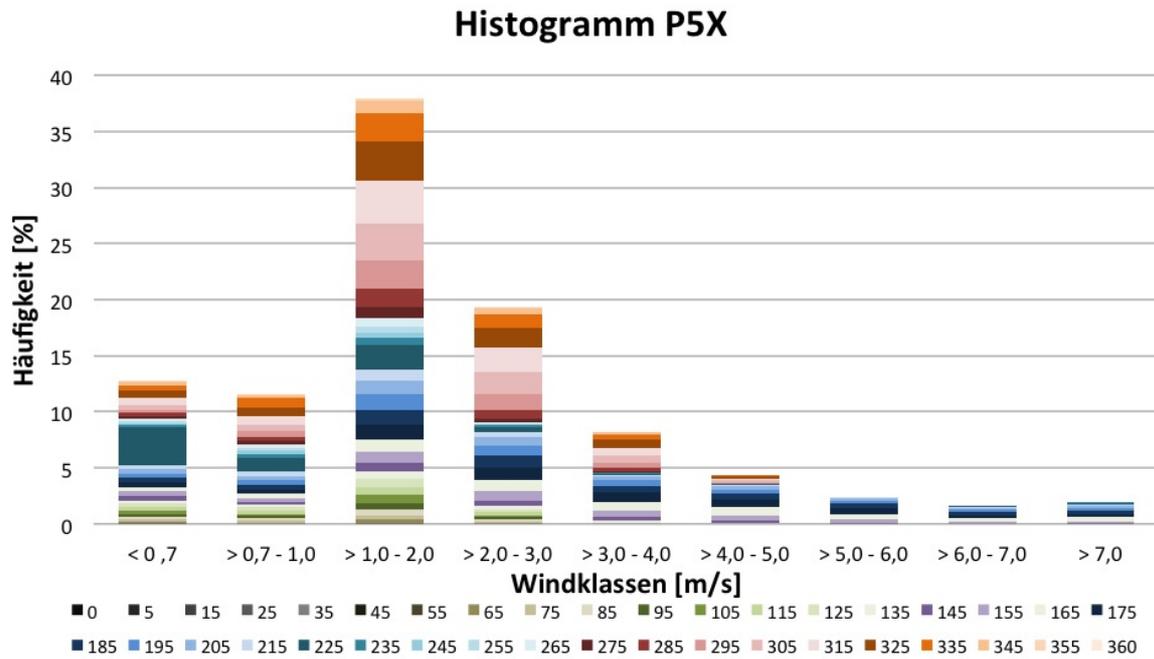


Abb. 5.15.: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten (Balken), sowie der Windrichtungen je Geschwindigkeitsklasse (Farben)

gleichen Bereich, nämlich bei 220 Grad zu erkennen. Diese Auffälligkeit ist ebenfalls wieder mit blauen Pfeilen markiert. Dazu ist anzumerken, dass die Südwestliche Nebenkeule in Abbildung 5.14 auf eben diesen Fehler im Verarbeitungssystem zurückzuführen ist.

Die Summenhäufigkeit der Station Borealis P5X in Abbildung 5.17 verdeutlicht die Auffälligkeit aus Abbildung 5.16 im Bereich 220 bis 225 Grad durch einen stark ausgeprägten Knick.

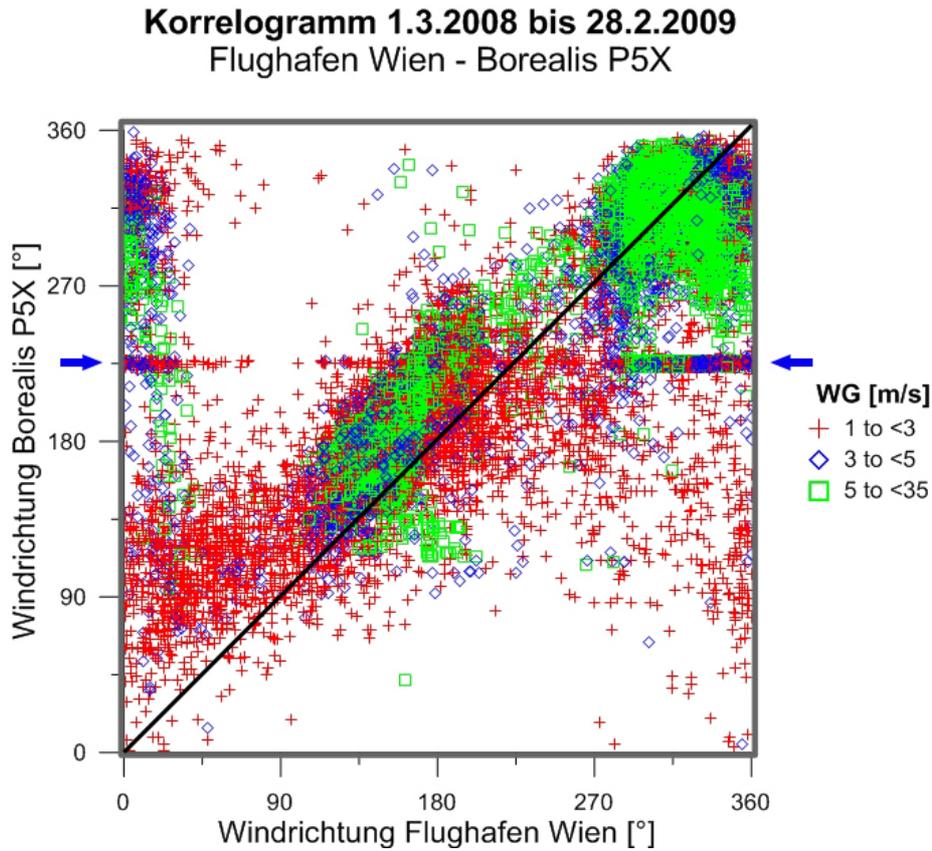


Abb. 5.16.: In dem Streudiagramm werden die Daten der Messstation P5X gegen jene vom Flughafen Wien Schwechat aufgetragen. Den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten sind die Farben rot (schwach), blau (mittel), und grün (stark Wind) zugeordnet

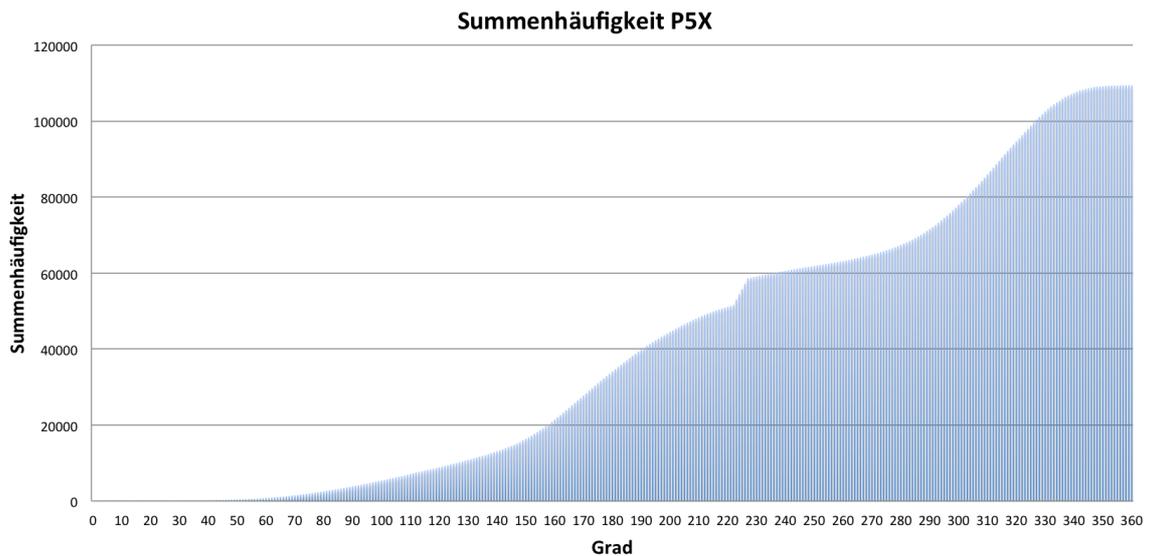


Abb. 5.17.: Die Summenhäufigkeit der Windrichtung wird über den gesamten gemessenen Zeitraum in ein Gradschritten aufgetragen.

5.4. OMV

Die Windrose der Station OMV Hauptgebäude zeigt in Abbildung 5.18 deutlich die zwei Hauptwindrichtungen, SüdSüdost und WestNordWest. Des weiteren bilden sich zwei Nebenmaxima in Richtung Nordost und Südsüdwest. Da diese ausgeprägten Nebenkeulen genau normal aufeinander stehen und Gebäudeeinfluss aufgrund der Höhe der Messstation ausgeschlossen werden kann, wird von einem Erfassungsfehler ausgegangen (Der Umgebungsplan im Kapitel 4.10 verdeutlicht dies). Um diese Beeinflussung der Messung zu eliminieren werden alle Windgeschwindigkeiten kleiner 1 m/s herausgefiltert und entsprechend der Windgeschwindigkeiten verteilt. Die Abbildung 5.18 zeigt die Windrose vor bzw. Abbildung 5.19 nach der Filterung. Die weitere Auswertung der Windrosen erfolgt für die modifizierten Werte.

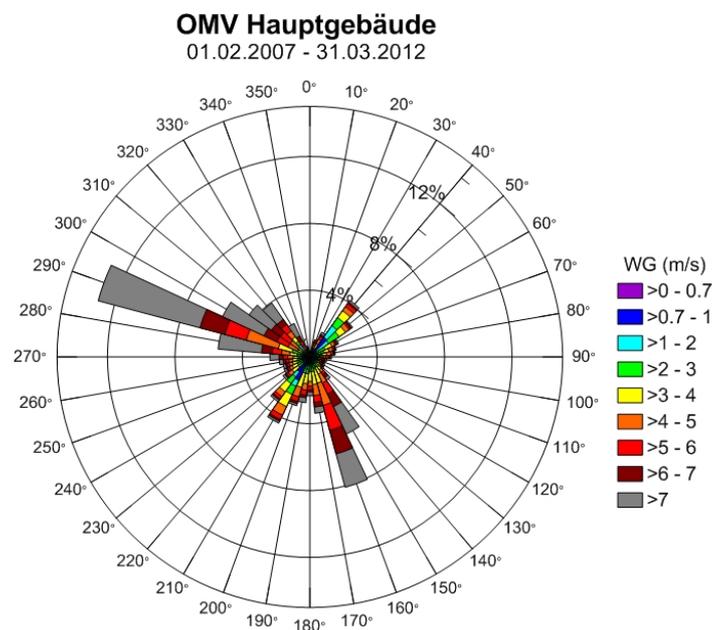


Abb. 5.18.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station OMV Hauptgebäude im Zeitraum 1.2.2007 bis 31.3.2012. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

Bei der Durchsicht der jährlichen Windrosen (die jährliche Darstellung der Windrosen für die Station OMV befinden sich im Appendix auf einer CD) wurde eine auffällige Häufung bei der Windrichtung WestNordWest festgestellt (Abbildung 5.20). Da diese Häufung nur in dem Zeitraum um das Jahr 2009 auftritt und laut Firma OMV in diesem Zeitraum keine Umbauten im Nahbereich der Messstelle vorgenommen wurden und auch sonst keine Erklärung für dieses Phänomen gefunden werden konnte, wurde bei der Firma Kroneis nachgefragt. Herr Ing. Ernst Mack (2012), welcher die Bereiche Werkstatt und Elektronik bei der Firma Kroneis betreut, erklärt diese Auffälligkeit mit einem Datenverarbeitungsfehler. Wie Abbildung 5.21 belegt, ist dieser Fehler nach 2009 nicht mehr zu bemerken.

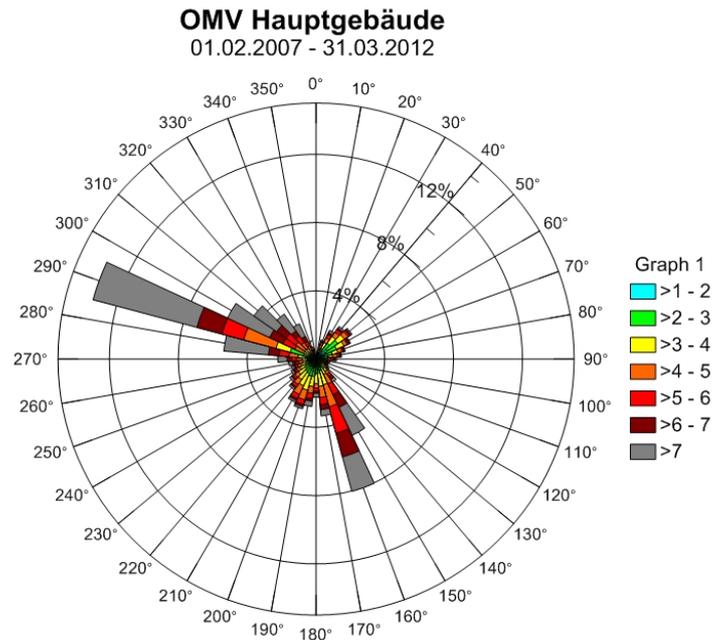


Abb. 5.19.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station OMV Hauptgebäude im Zeitraum 11.2.2007 bis 31.3.2012 dieses mal jedoch ohne Schwachwind. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

Das Histogramm der Station OMV Hauptgebäude in Abbildung 5.22 zeigt wie zu erwarten, aufgrund der großen Messhöhe die stärkste Ausprägung von Starkwinden ($> 7,0$ m/s). Gleichzeitig ist zu erkennen, dass im Bereich der größten Geschwindigkeit die roten Farbnuancen dominieren (nordwestliche Sektoren). Allgemein verzeichnet die Station über alle Windklassen eine Vielzahl an Nordwestwinden. In der Windklasse $< 0,7$ m/s werden fast keine Werte registriert (Filterung!). Windgeschwindigkeiten zwischen 0,7 und 5 m/s zeigen eine annähernde Gleichverteilung auf alle Windrichtungen.

Werden nun zum Vergleich die Messdaten vom Flughafen Wien gegen die Daten der Station OMV Hauptgebäude wie in Abbildung 5.23 aufgetragen, ist der oben besprochene Fehler ebenfalls zu erkennen. Die Daten aus dem fehlerhaften Messbereich wurden mit blauen Pfeilen markiert. Abgesehen davon bemerkt man bei Windgeschwindigkeiten größer 5 m/s eine starke Streuung. Diese Tatsache ist damit zu erklären, dass die Messung am Flughafen auf Standardniveau, erfolgt die Messung am OMV Hauptgebäude jedoch fast 6 mal so hoch.

Betrachtet man bezüglich dieser Auffälligkeit die Summenhäufigkeit der Station OMV Hauptgebäude in Abbildung 5.24 ist ein leichter Knick im Bereich 290 zu bemerken.

Eine Inspektion durch die Firma Kroneis wurde in der Zwischenzeit in die Wege geleitet.

5. Ergebnisse

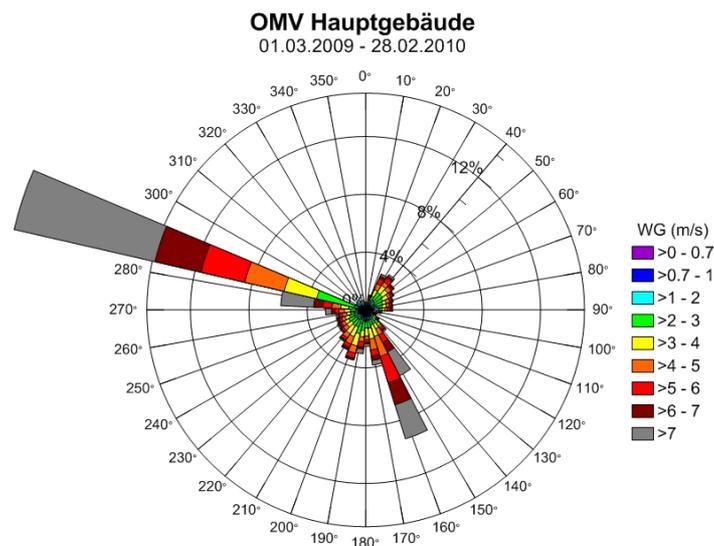


Abb. 5.20.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station OMV Hauptgebäude im Zeitraum 1.3.2009 bis 28.2.2010 mit starkem Ausschlag im Bereich um 290 Grad. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

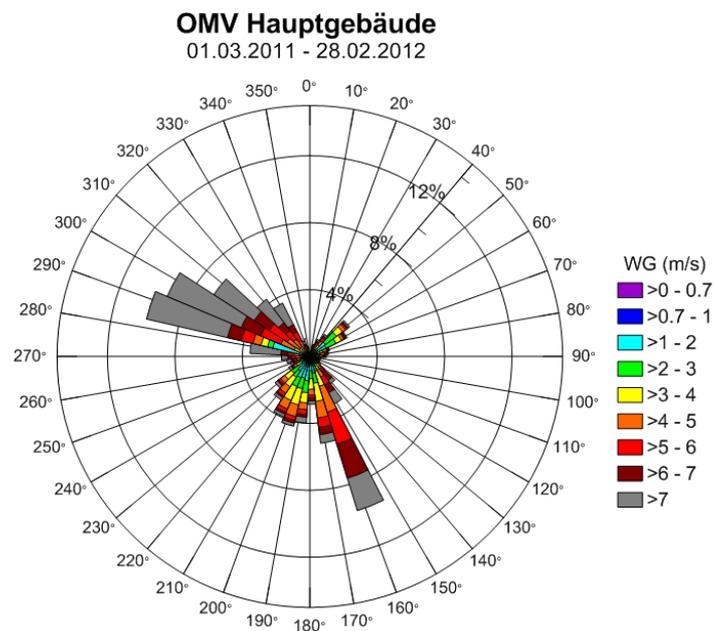


Abb. 5.21.: Die Windrose zeigt die gemessenen Daten der Station OMV Hauptgebäude im Zeitraum 1.3.2011 bis 28.2.2012. Die Windrichtung wird durch 36 Sektoren angegeben, die Windgeschwindigkeit wird durch Farben gekennzeichnet, die Länge des farbigen Balkens zeigt die prozentuelle Häufigkeit.

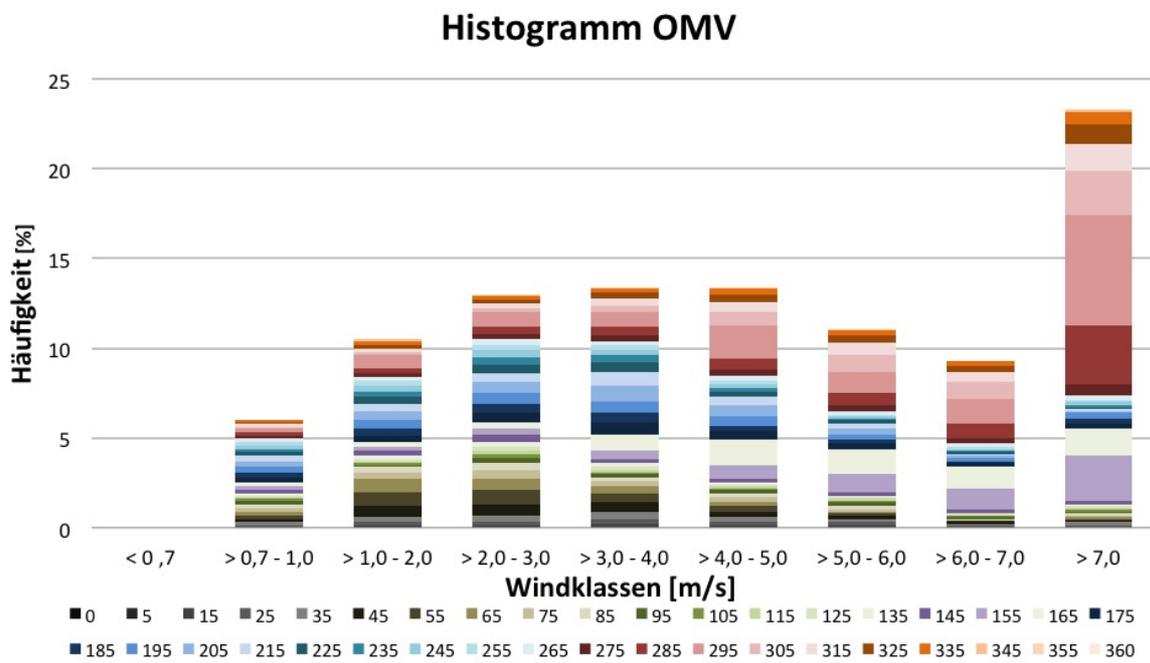


Abb. 5.22.: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten (Balken), sowie der Windrichtungen je Geschwindigkeitsklasse (Farben)

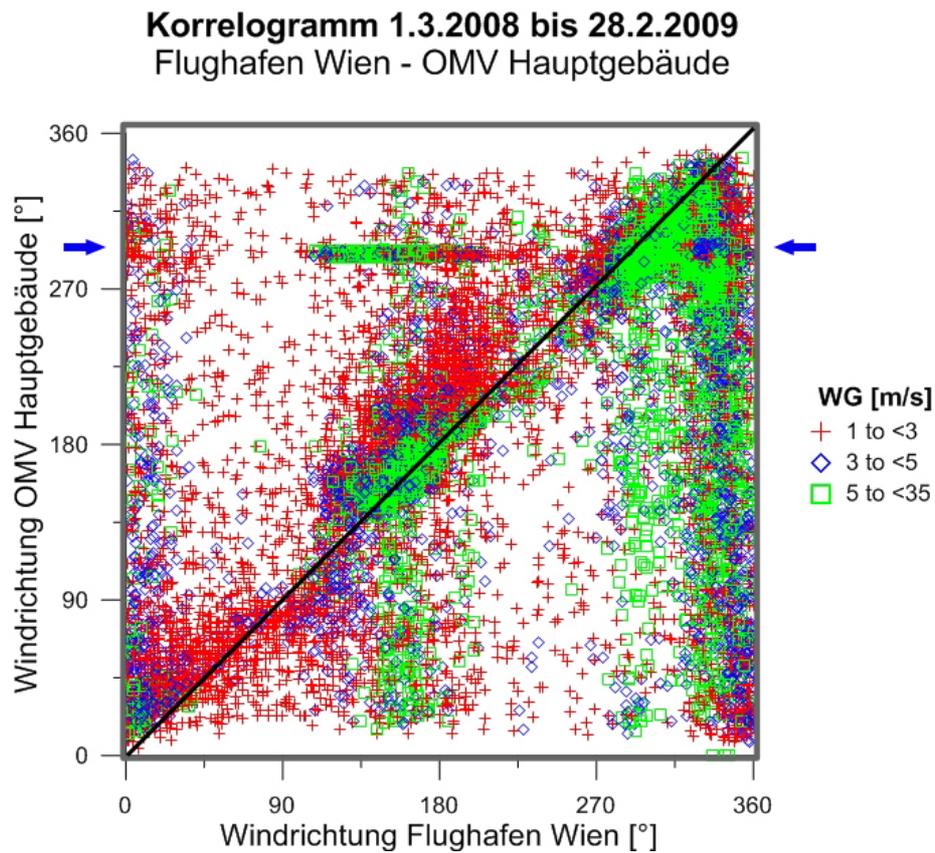


Abb. 5.23.: In dem Streudiagramm werden die Daten der Messstation OMV Hauptgebäude gegen jene vom Flughafen Wien Schwechat aufgetragen. Den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten sind die Farben rot (schwach), blau (mittel), und grün (stark Wind) zugeordnet

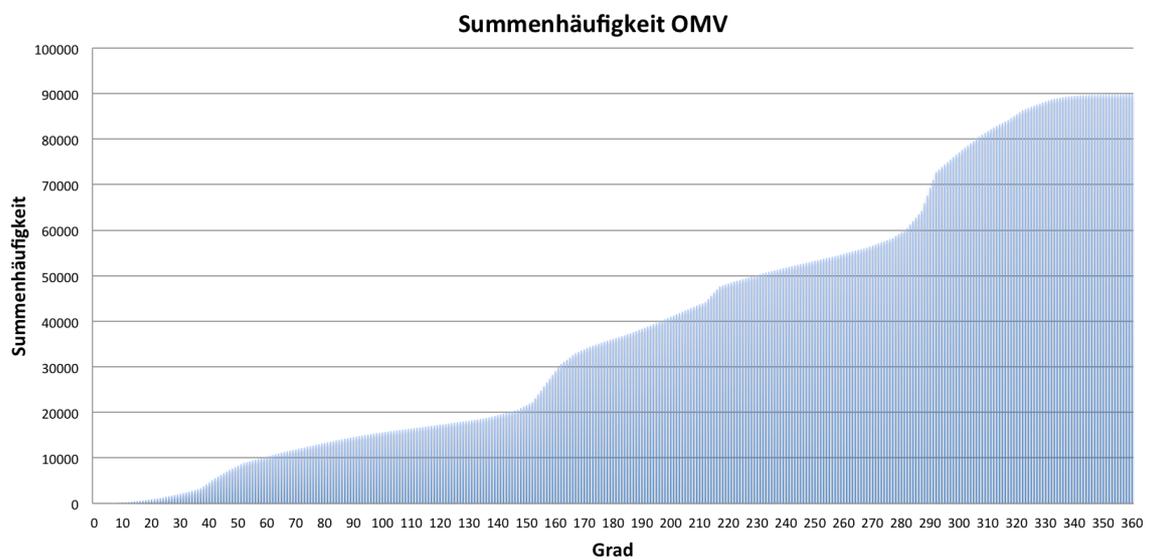


Abb. 5.24.: Die Summenhäufigkeit der Windrichtung wird über den gesamten gemessenen Zeitraum in ein Gradschitten aufgetragen.

6. Modellierung von Strömungen

6.1. Prognostische Modellierung (MISKAM)

Bei WinMISKAM (Eichhorn, 1989; Eichhorn und Kniffka, 2010) handelt es sich um ein kleinräumiges Strömungsmodell. Es ist ein physikalisches Modell zur Berechnung von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen im Bereich komplexer Gebäudestrukturen mit Ausdehnungen von einigen 100 m bei einer Gitterauflösung von 1 bis 10 m. Dabei handelte es sich um ein CFD Modell (Computal Fluid Dynamics modell, auf deutsch numerische Strömungsdynamik). Die Strömungsberechnung in MISKAM beruht auf der Lösung der vollständigen dreidimensionalen Bewegungsgleichungen. Das Modell ist nicht anwendbar in steilen Topographien, bei labiler thermischer Schichtung und bei Übersättigung. Thermische Effekte werden nicht berücksichtigt (wie z.B. das Aufheizen von Fassaden durch Sonnenstrahlung).

Die ablenkende Kraft der Erdrotation wird aufgrund der geringen Ausdehnung des Modellgebiets nicht berücksichtigt. Der turbulente Impulstransport wird mittels horizontaler und vertikaler Austauschkoefizienten berücksichtigt. Auf diese Weise werden kleinräumige Windfelder realitätsnah wiedergegeben. Der turbulente Impulstransport wird mittels horizontaler und vertikaler Austauschkoefizienten berücksichtigt. Dadurch werden auch kleine Windfelder realitätsnah wiedergegeben. MISKAM eignet sich daher gut zur Simulation der Strömungsverhältnisse in Straßenschluchten. Dabei können Gebäudestrukturen wie Einzelgebäude, Gebäudegruppen oder Straßenzüge berücksichtigt werden. Unter Teilnahme der ZAMG wurde im Rahmen der COST-Aktion 732 („Quality assurance and improvement of microscale meteorological models“) MISKAM anhand von Windkanaldaten der Universität Hamburg international evaluiert (Schatzmann et al., 2010). Der Testfall basiert auf einem Strömungs- und Ausbreitungsexperiment des amerikanischen Militärs in der „Great Basin“ – Wüste im Jahr 2001. Dabei wurde eine „Stadt“ (200 x 200 m Feld) von 12 x 10 handelsüblichen Containern rekonstruiert („Mock Urban Setting Test (MUST) – Configuration“). Dieser Datensatz zeigt, dass das Modell MISKAM geeignet ist, die komplexen Strömungs- und Konzentrationsverhältnisse im verbauten Gebiet korrekt wiederzugeben.

In MISKAM kommt das MacCormack upstream Verfahren zum Einsatz

Die verwendete MacCormack Methode ist ein weit verbreitetes Diskretisierungsschema für die numerische Lösung von hyperbolischen Differentialgleichungen. Die MacCormack Methode ist einfach zu programmieren und wurde von Robert MacCormack 1969 eingeführt.

6. Modellierung von Strömungen

Dabei handelt es sich wie in folgender Gleichung dargestellt:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + a \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (6.1)$$

um einen Lösungsprozess in 2 Schritten - einem 'Predictorschritt' gefolgt von einem 'Correctorschritt'. Bei dem 'Predictorschritt' wird ein provisorischer Wert für u für ein Zeitlevel $u + 1$ u_i^{n+1} eingeführt.

Daraus folgt für Gleichung 6.1:

$$u_i^{n+1} = u_i^{n+\frac{1}{2}} - a \frac{\Delta t}{2\Delta x} (u_i^{n+1} - u_{i-1}^{n+1}) \quad (6.2)$$

Zu beachten ist, dass der 'Correctorschritt' rückwärts finite Differenzen für räumliche Abweichungen abschätzt. So wird im 'Correctorschritt' $\frac{\Delta t}{2}$ im Gegensatz zu Δt im 'Predictorschritt' verwendet. Ersetzt man nun $u_i^{n+\frac{1}{2}}$ durch das zeitliche Mittel erhält man

$$u_i^{n+\frac{1}{2}} = \frac{u_i^n + u_i^{n+1}}{2} \quad (6.3)$$

und erhält den 'Correctorschritt' als:

$$u_i^{n+1} = \frac{u_i^n + u_i^{n+1}}{2} - a \frac{\Delta t}{2\Delta x (u_i^{n+1} - u_{i-1}^{n+1})} \quad (6.4)$$

Die MacCormack Methode ist für die Lösung nicht linearer Gleichungen geeignet. Die besten Ergebnisse werden für nichtlineare Gleichungen erzielt.

Für die folgenden Berechnungen wurde folgendes Produkt verwendet:

MODELLNAME: WinMiskam

Version: 6.1

AUTOR: Dr. Joachim Eichhorn, Institut für Physik der Atmosphäre der Johannes Gutenberg Universität, 55099 Mainz; MISKAM ist ein kommerzielles Produkt des Ingenieurbüros Lohmayer GmbH & Co.KG

MISKAM ist großteils in fortran90 programmiert, zum Betrieb ist ein 32 Bit Betriebssystem notwendig (Windows XP oder Windows 7)

Da das untersuchte Gebiet sehr groß ist, wurde eine eigenständige Berechnung mit jeweils hochaufgelöstem Gebiet einmal im Bereich der Firma OMV und einmal im Bereich der Firma Borealis gerechnet, wobei darauf geachtet wurde, die Gitterauflösung im Hauptgebiet klein zu halten. Genaue Übersichtspläne über alle eingebundenen Gebäude befinden sich im Appendix, in der im Modellgitter realisierten Form. Dabei ist zu erwähnen, dass für die Digitalisierung der Gebäude nur einige wenige Gebäudehöhen bekannt waren. Deswegen wurde ein Großteil der Gebäude mithilfe von Google Maps und Bing Maps über die vogelperspektivische Darstellung höhentechnisch abgeschätzt. Ebenfalls ist zu erwähnen, dass bei dem Modell MISKAM eine Zelle nur als markiert gilt, wenn mehr als 50 % einer solchen Zelle belegt sind. Einerseits ist es damit durch die Zellengröße nicht möglich Gebäude kleiner als 50 cm darzustellen. Auf der anderen Seite sind gerade

in Industrieanlagen und vor allem bei den Firmen Borealis und OMV eine Vielzahl an Rohrleitungen mit unterschiedlichsten Durchmessern vorhanden, wie in Kapitel 4 in den Abbildungen der Umgebungspläne der Windmessenanlagen ersichtlich ist. Bei der Einbindung dieser Rohrleitungen wurden nur jene schematisch digitalisiert, wo eine Ansammlung von größeren Verbänden bemerkt wurde. Der Effekt der Zellenbelegung betrifft nicht nur die Horizontale, sondern ist auch in der Vertikalen zu bemerken. Die starke Änderung der Zellengröße bemerkt man bei der Betrachtung der Darstellung der eingebundenen Gebäude einerseits mit hoher Gitterauflösung im Bereich des Firmengeländes OMV, Grafik C.2 (im Appendix) und andererseits für das Firmengelände Borealis, Grafik C.1 (ebenfalls im Appendix). Die beiden Grafiken zeigen, je weiter man sich von der höheren Auflösung der Zellen wegbewegt, umso eher werden auch größere Gebäude nicht bzw. stark verändert dargestellt.

Die Abbildungen 6.1 und 6.2 zeigen Beispiele für die Darstellung mit dem Modell MISKAM in dem Bereich OMV Hauptgebäude, einmal in einer Höhe, in welcher die Gebäude der Umgebung noch dargestellt werden, einmal auf jener Höhe, auf welcher sich auch das Anemometer zur Datenerfassung befindet.

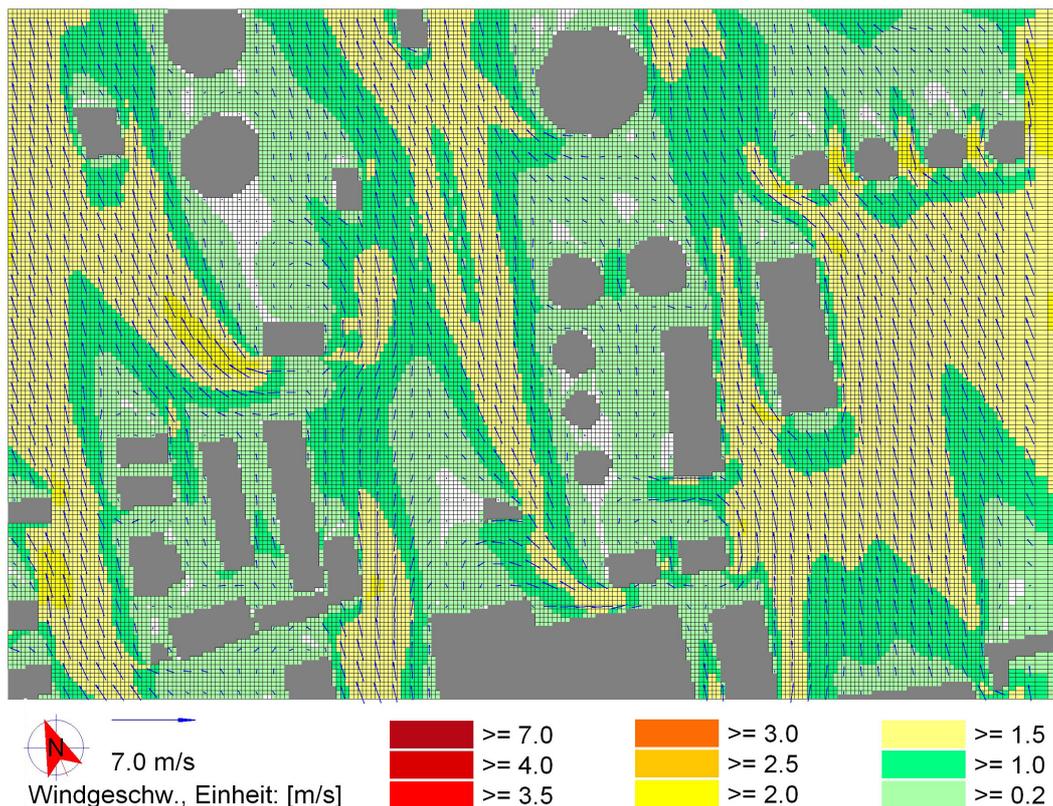


Abb. 6.1.: MISKAM Windfeld am OMV Gelände in Niveau 4; bei Umgebungswind aus 180 Grad mit 4 m/s. Niveau 4 entspricht einem Level von 3-4 m

Weitere Grafiken, welche mit MISKAM erzeugt wurden, befinden sich im Appendix (CD). Um die MISKAM Ergebnisse mit den tatsächlich gemessenen Windwerten zu vergleichen,

6. Modellierung von Strömungen

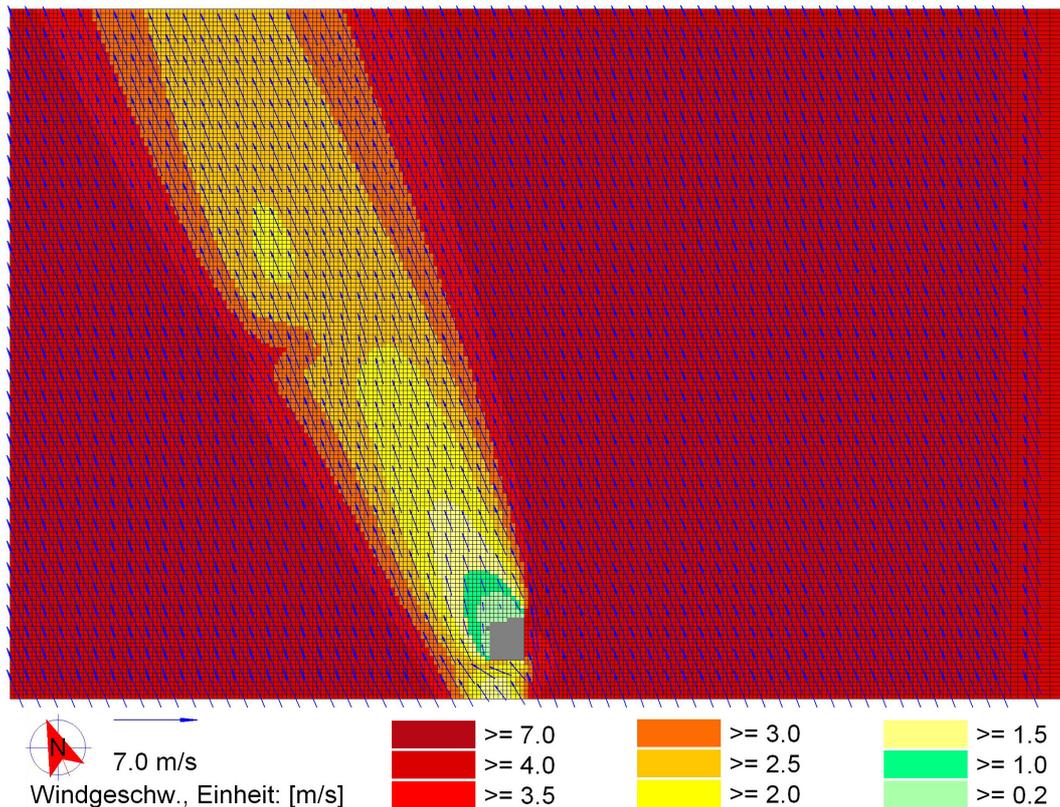


Abb. 6.2.: MISKAM Windfeld am OMV Gelände, Niveau Anemometerhöhe; bei Umgebungswind aus 180 Grad mit 4 m/s

wird zunächst die Station Flughafen Wien Schwechat betrachtet, da sich diese aufgrund der Analyse in Abschnitt 4 als am wenigsten lokal beeinflusst und daher für das Untersuchungsgebiet als am Repäsentativsten herausgestellt hat.

Als Anfangsbedingung wurde für MISKAM eine Einströmgeschwindigkeit von 4 m/s angenommen. Dieser Wert ergibt sich nach der Betrachtung aller Stationsmesswerte: Windgeschwindigkeiten um 4 m/s wurden am häufigsten vorgefunden.

Für den Vergleich wurden die Messdaten aller Perioden herangezogen in denen die Station Flughafen Wien Schwechat Windgeschwindigkeiten zwischen 3,5 und 4,5 m/s gemessen wurde. Das bedeutet, wenn am Flughafen eine Windgeschwindigkeit von z.B. 3,8 m/s gemessen wurde, wurde der Messwert der betriebsinternen Station und die jeweilige Windrichtung betrachtet und einer Windrichtungsklasse zugeordnet. Innerhalb dieser Windrichtungsklasse wurde dann über alle Werte eine vektorielle Mittelung vorgenommen und dieses Ergebnis als Vergleichswert für das Modell MISKAM herangezogen.

Die MISKAM Werte für den Vergleich ergeben sich aus Gitterpunktwindrichtung und -geschwindigkeit der jeweiligen Station auf Anemometerhöhe.

Eine Windrichtung von 2 Grad wird der Windrichtungsklasse 36 zugeordnet, das entspricht einer Windrichtung zwischen 355 und 4 Grad.

Im Appendix befindet sich eine Tabelle in welcher die Flughafen Messwerte und die der

jeweiligen Vergleichsmesstation aufgelistet sind. (Appendix CD)

Da die Messwerte der Station LDX, wie in Kapitel 5 erwähnt, fehlerbehaftet sind, ist die Betrachtung der Simulation für diesen Standort besonders interessant. Aufgrund der Tatsache, dass nur sehr wenige Richtungs- und Geschwindigkeitsmesswerte im Bereich der Windrichtungsklassen 27 bis 2 gemessen wurden, sind die Aussagen in diesem Bereich kritisch zu betrachten. Bei der Betrachtung des Windgeschwindigkeitsvergleich in Abbildung 6.3 ist zu erkennen, dass die Windgeschwindigkeiten im Modell über große Bereiche überschätzt wurden, klammert man nun die Werte aus dem fehlerbehafteten Bereich aus, ist zumindest in den Windrichtungsklassen 2 bis 15 eine einigermaßen gute Übereinstimmung festzustellen. Zwischen den Klassen 16 bis 24 unterscheiden sich die gemessenen Windgeschwindigkeiten zu den Modellierten bis zu 1,8 m/s.

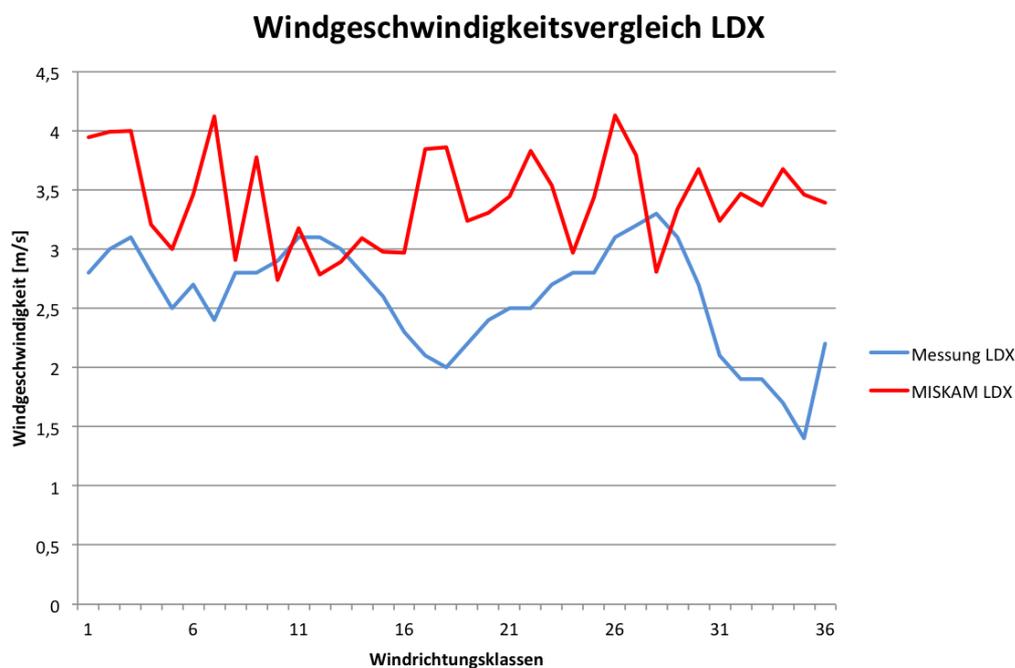


Abb. 6.3.: Windgeschwindigkeitsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Linie) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Linie) der Station Borealis LDX

In der Abbildung 6.4 werden die gemessenen Windrichtungen gegen jene der MISKAM-Simulation aufgetragen. Dabei ist wie bei der Diskussion des Windgeschwindigkeitsvergleichs der Bereich zwischen Windrichtungsklasse 27 bis 2 als fehlerhaft zu interpretieren. Für die anderen Windrichtungen löst das Modell die Beeinflussung bis auf minimale Abweichungen sehr gut auf.

Bei der Betrachtung des Vergleichs der Station Betriebsfeuerwehr zwischen Modell und tatsächlicher Messung bemerkt man bei der Windrichtung in Abbildung 6.6, dass es nur zu minimalen Abweichungen kommt v.a. im Bereich der Windrichtungsklasse 3 bis 7 und auch zwischen 30 und 35 - dabei ist eine etwas zu geringe Ablenkung durch die umgebenden Gebäude im Modell zu bemerken. Bei der Windgeschwindigkeit ist nur im Bereich zwischen

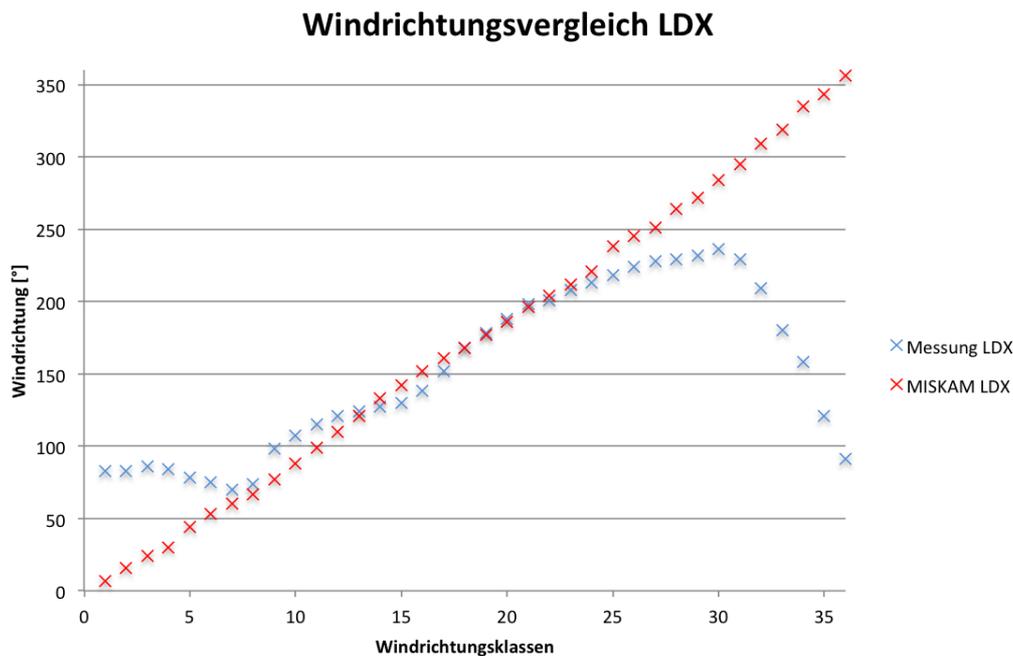


Abb. 6.4.: Windrichtungsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Kreuze) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Kreuze) der Station Borealis LDX

den Windrichtungsklassen 16 und 25 eine Überschätzung im Vergleich Modell mit der Wirklichkeit festzustellen, genau jenem Bereich in welchem auch der Windgeschwindigkeitsvergleich in Abbildung 6.3 ein ähnliches Bild zeigt. Wie der Windrichtungsvergleich in Abbildung 6.6 zeigt korrelieren die Windrichtungen, wie bei dem Vergleich der Station LDX wieder bis auf wenige Grade sehr gut. Somit kann ebenfalls eine gute Modellauflösung angenommen werden.

Bei dem Vergleich zwischen Modell und Messung der Station E4X (Abbildung 6.7) zeigt die Messung im Bereich um Nord eine Beeinflussung die im Modell nicht aufgelöst wird. Bei den übrigen Windrichtungsklassen liegen die MISKAM Ergebnisse über große Bereiche unter den gemessenen, wenn auch teilweise nur geringe Abweichungen zu bemerken sind, der Verlauf folgt jedoch einem ähnlichen Muster.

Wie bei der Windrichtung, ist auch bei der Windgeschwindigkeit in Abbildung 6.8 die starke Abweichung zwischen Modell und Messung im nördlichen Bereich zu erkennen. Außerhalb dieser Klassen sind nur geringfügige Abweichungen des Modells zu erkennen. Betrachtet man die Station P5X im Vergleich Modell - Messung, bemerkt man bei den mit MISKAM berechneten Windgeschwindigkeiten (Abbildung 6.9), dass der Verlauf vom Modell ganz gut aufgelöst wird, jedoch kommt es in den Windrichtungsklassen 26 bis 36 zu einer etwas stärkeren Überschätzung.

Der Windrichtungsvergleich aus Abbildung 6.10 zeigt zwischen den Windrichtungsklassen 4 bis 22 teilweise wesentlich nördlichere Windrichtungen im Modell, höhere Klassen werden in sehr guter Näherung getroffen. Ebenfalls ist bei nördlichen Richtungen eine

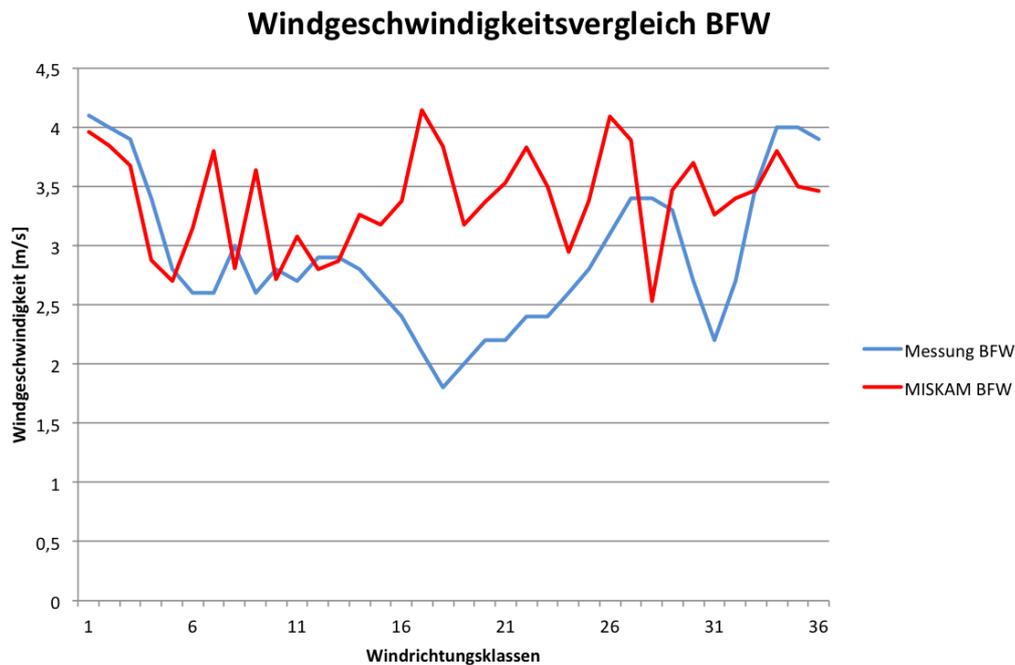


Abb. 6.5.: Windgeschwindigkeitsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Linie) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Linie) der Station Borealis BFW

Schwäche im Modell festzustellen.

Betrachtet man nun den Windgeschwindigkeitsvergleich für die Station OMV Hauptgebäude in Abbildung 6.11, ist im nördlichen Bereich eine relativ große Differenz zwischen den gemessenen und modellierten Werten zu erkennen. Bis auf den nördlichen und einem kleinen Bereich in der Windrichtungsklasse 17 bis 20 (bei dem die Modellwerte etwas überschätzt werden) weist der Vergleich der Windgeschwindigkeit eine gute Korrelation auf. Im Windrichtungsvergleich in Abbildung 6.12 weist das Modell MISKAM eine etwas zu geringe Ablenkung auf. Die größte Differenz ist bei Windrichtungsklasse 22 festzustellen, immerhin fast 50 Grad.

Abschließend kann eine gute Erfassung der Windrichtungsströmung durch das Modell bestätigt werden. Die Windgeschwindigkeit ist um einiges variabler, wodurch ihre Komplexität nicht immer genau erfasst wird.

6. Modellierung von Strömungen

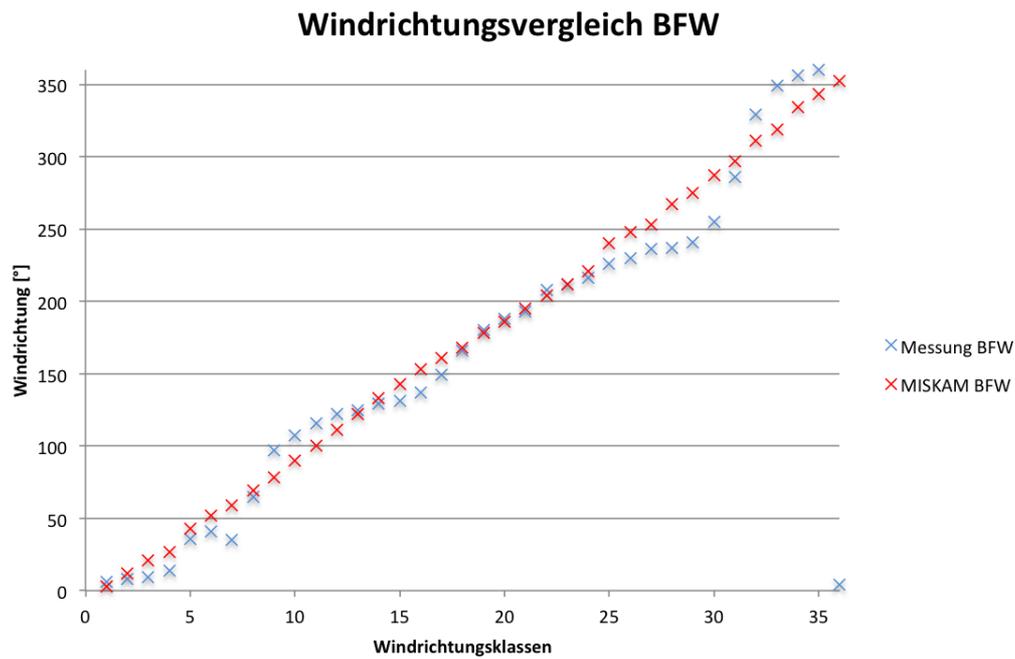


Abb. 6.6.: Windrichtungsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Kreuze) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Kreuze) der Station Borealis BFW

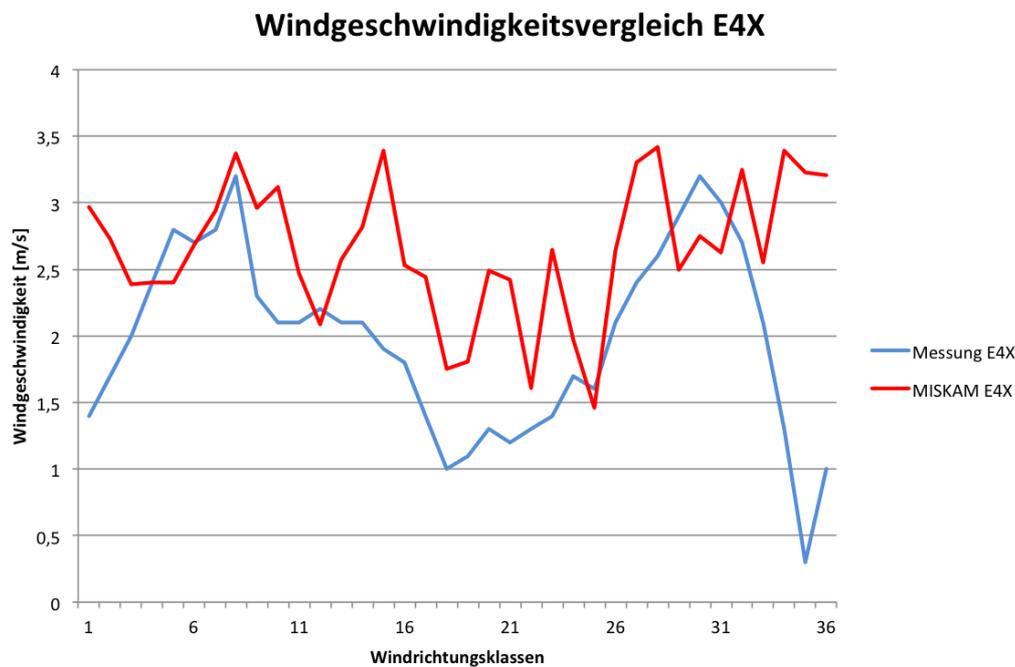


Abb. 6.7.: Windgeschwindigkeitsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Linie) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Linie) der Station Borealis E4X

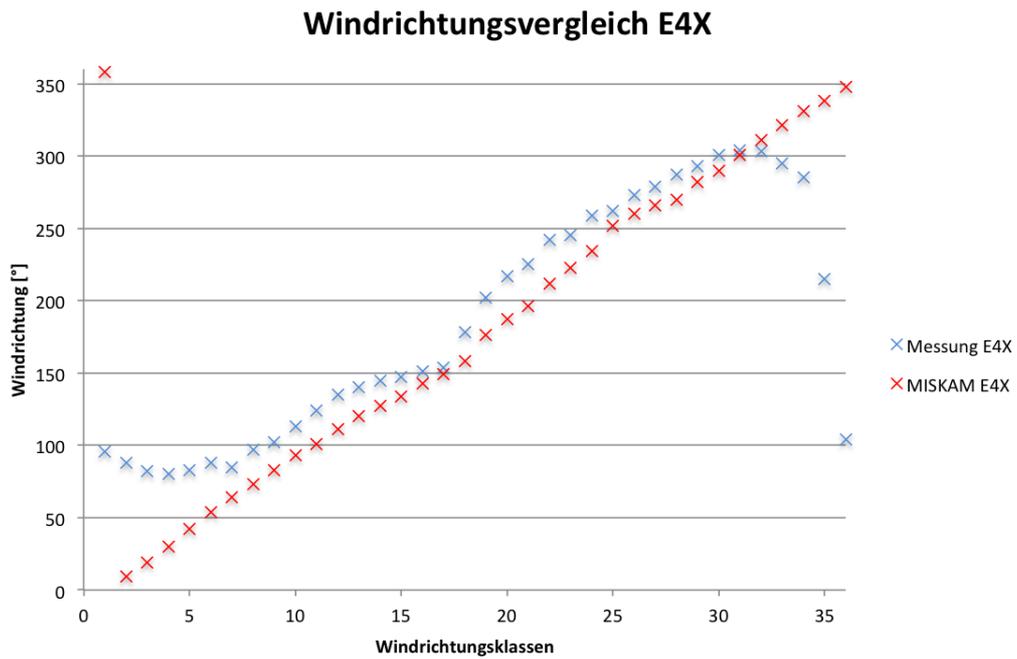


Abb. 6.8.: Windrichtungsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Kreuze) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Kreuze) der Station Borealis E4X

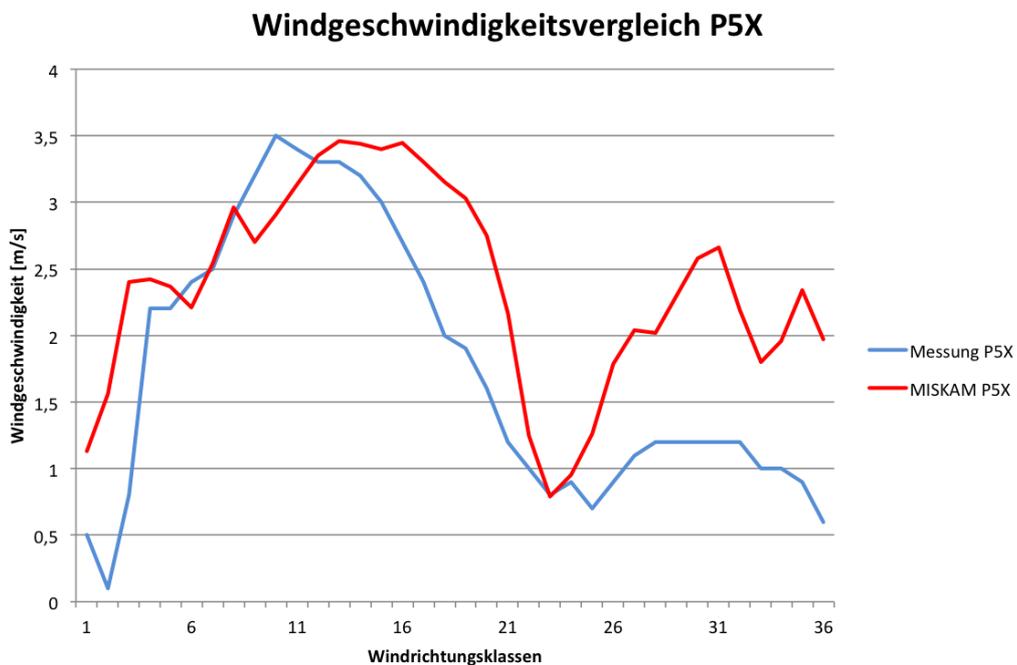


Abb. 6.9.: Windgeschwindigkeitsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Linie) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Linie) der Station Borealis P5X

6. Modellierung von Strömungen

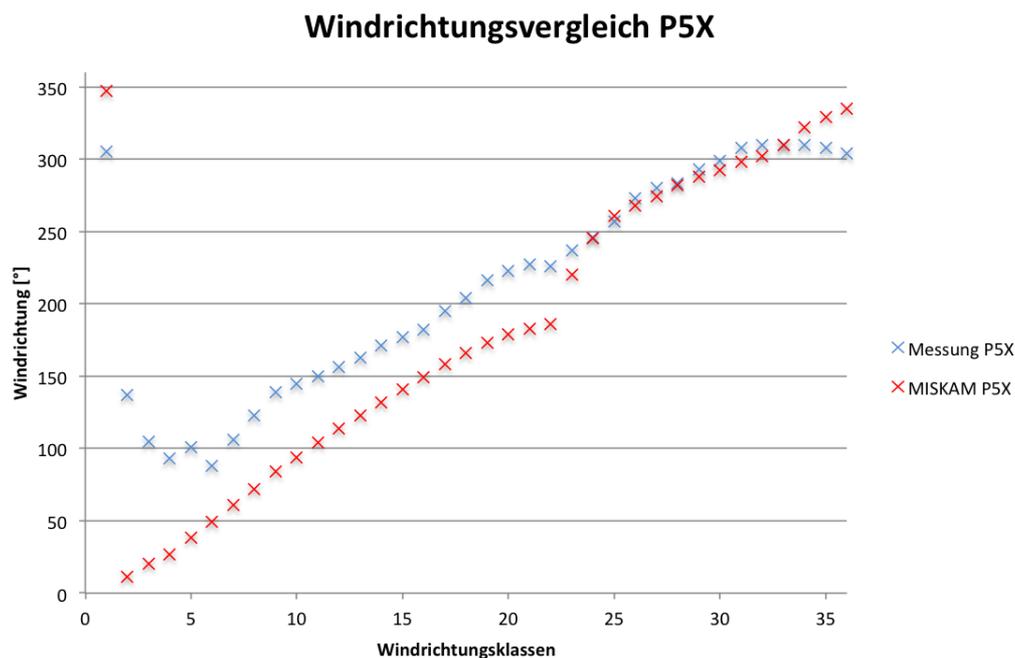


Abb. 6.10.: Windrichtungsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Kreuze) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Kreuze) der Station Borealis P5X

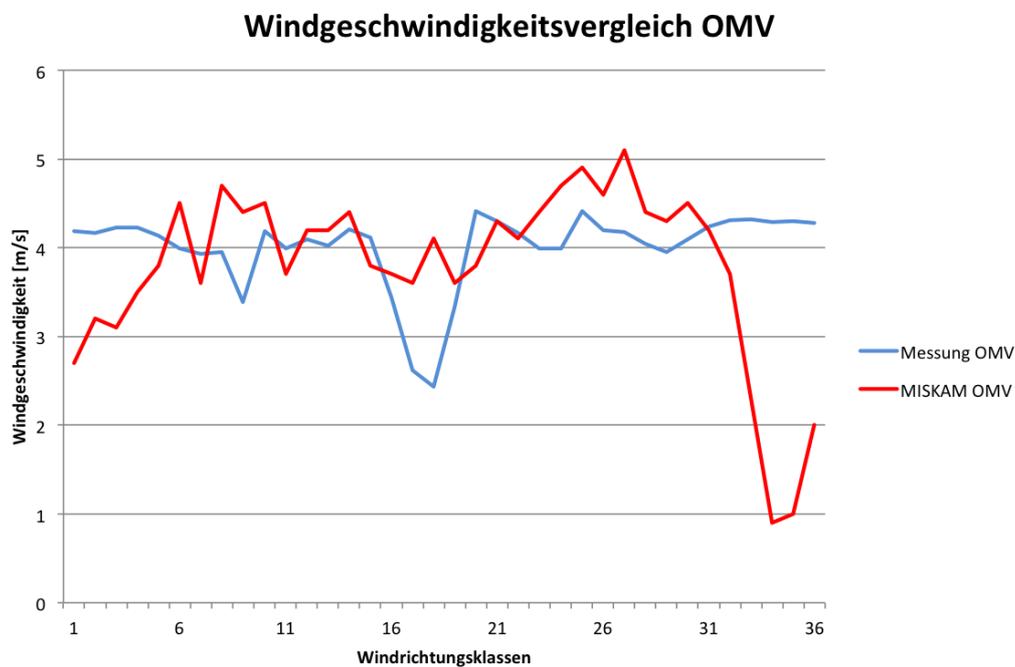


Abb. 6.11.: Windgeschwindigkeitsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Linie) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Linie) der Station OMV Hauptgebäude

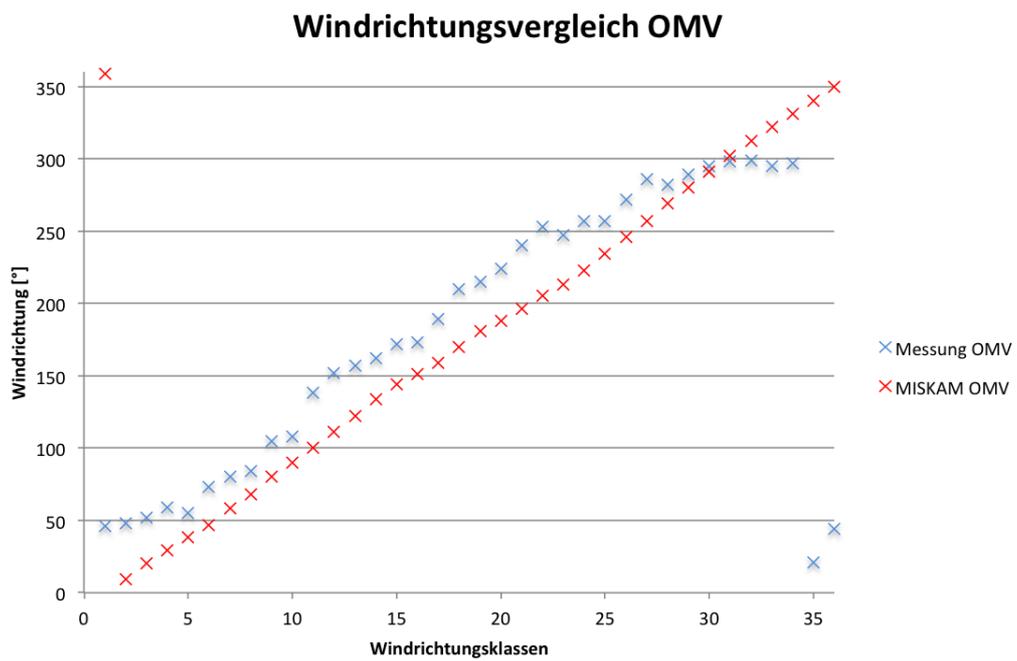


Abb. 6.12.: Windrichtungsvergleich zwischen den mit MISKAM simulierten (rote Kreuze) und den direkt vor Ort gemessenen Daten (blaue Kreuze) der Station OMV Hauptgebäude

6.2. Analyse regionaler Windfelder (VERA)

VERA steht für die Vienna Enhanced Resolution Analysis, einem mesoskaligen Analyseverfahren, welches vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien entwickelt wurde (VERA, 2012). Das Projekt wurde 1995 initiiert und seitdem laufend weiterentwickelt. Mithilfe von VERA werden die räumlichen Verteilungen von Luftdruck, Temperatur, Wind oder Niederschlag aus Messungen diagnostisch berechnet, aber auch Analysen abgeleiteter Größen vorgenommen z.B. für Schneefallgrenzen, Feuchtedivergenz, potentielle Temperatur, Äquivalentpotentielle Temperatur und gefühlte Temperatur. Dies erfolgt in einem zwei-Schrittverfahren: wird erstens eine Fehlerkorrektur durchgeführt, wobei die einzelnen Messwerte auf ihre räumlichen und physikalischen bzw. klimatologischen Grenzen überprüft werden. Anschließend werden in einem zweiten Schritt die Messwerte auf ein regelmäßiges Gitter vorgenommen, wobei der Varianzansatz verwendet wird. Über sogenannte 'Fingerprints' (in Österreich hat sich die Bezeichnung 'Fingerprint' durchgesetzt, diese ist mit dem international verwendeten Begriff 'Footprinting' gleichzusetzen) wird u.a. der Einfluss der Topographie berücksichtigt. Dadurch wird der bekannte orographische Einfluss auf ein Feld erkannt und zum 'downscaling' (von größeren Strukturen wird auf kleinere geschlossen) benutzt. Der Vorteil dabei, einerseits wird kein numerisches oder 'first guess' Modell als Anfangsbedingung benötigt, andererseits können aufgrund des Vorwissens über das Verhalten der Felder mesoskalige Strukturen, welche kleiner als der mittlere Stationsabstand sind, aufgelöst werden.

Es wird gefordert, dass die Differenz zwischen Stationswert und dem von den Gitterpunkten auf die Stationen interpolierten Werten minimal wird. Das heißt, an den Stationen sollte das interpolierte Feld der Messung möglichst nahe kommen.

Für den Variationsalgorithmus werden die Quadrate der räumlichen ersten und zweiten Ableitungen des Messfeldes minimiert. Diese Minimierung der Quadrate der Ableitungen führt zu einer Fläche mit minimaler Steigung. Ein Beispiel einer solchen VERA Analyse ist in Abbildung 6.13 dargestellt.

Bei der weiteren Betrachtung werden VERA Daten mit jenen vom Flughafen Wien Schwechat verglichen. Dafür werden die Daten für 2 unterschiedliche Perioden auf Vera on demand - homepage angefordert. Auf der Homepage können Re-Analysen für verschieden große Gebiete angefordert werden. Da die Domäne Wien das untersuchte Industriegebiet abdeckt wird diese ausgewählt. Dabei werden sowohl die Gitterpunktsdaten als auch die graphisch aufbereiteten Daten zur Verfügung gestellt. Zur genaueren Übersicht findet man in Abbildung 6.13 ein Beispiel der re-analysierten Winddaten vom 15. September 2008, 0 UTC.

Die VERA Analyse wird stündlich ausgegeben, dabei wird ein Zehnminutenmittel den ersten 10 Minuten der vollen Stunde zugewiesen. Für den Vergleich wurden für die Flughafendaten Stundenmittelwerte verwendet.

In den Abbildungen 6.14(Periode 1 - 15.9.2008 (0 Uhr) bis 17.9.2008 (0 Uhr)) und 6.15(Periode 2 - 12.1.2009 (0 Uhr) bis 14.1.2009 (0 Uhr)) werden Windrichtung und Windgeschwindigkeit

keit des Flughafen Wiens (16,571 48,111) mit den beiden nächsten Gitterpunktsdaten 16,48 48,095 und 16,58 48,130 verglichen. Die recht gute Übereinstimmung ist aufgrund der Tatsache, dass die Daten vom Flughafen in die Analyse eingehen keine große Überraschung, zeigt jedoch für beide Perioden die Vorteile dieser Methode. Auffällig ist die außerordentliche Übereinstimmung der Windrichtung, sowohl bei der Periode 1 als auch bei der Periode 2. Bei der Analyse der Windgeschwindigkeit kommt es in beiden Perioden zu einer Überschätzung im Vergleich mit der tatsächlich gemessenen Windgeschwindigkeit. Das kann jedoch an den kleinräumigen Unterschieden liegen, da die Gitterpunktswerte nicht exakt mit dem Messpunkt Flughafen Wien Schwechat übereinstimmen. Einzig für den 12.1.2009; 18 UTC ist in der Periode 2 eine extreme Abweichung zwischen den Messdaten vom Flughafen und der VERA Reanalyse zu bemerken. Da diese Beeinflussung sowohl in Windrichtung als auch Windgeschwindigkeit erfolgt wird von einem Verarbeitungsfehler bei VERA ausgegangen.

Die exakten Werte des Vergleichs sind in einer Tabelle über die CD im Appendix abzurufen.

6. Modellierung von Strömungen

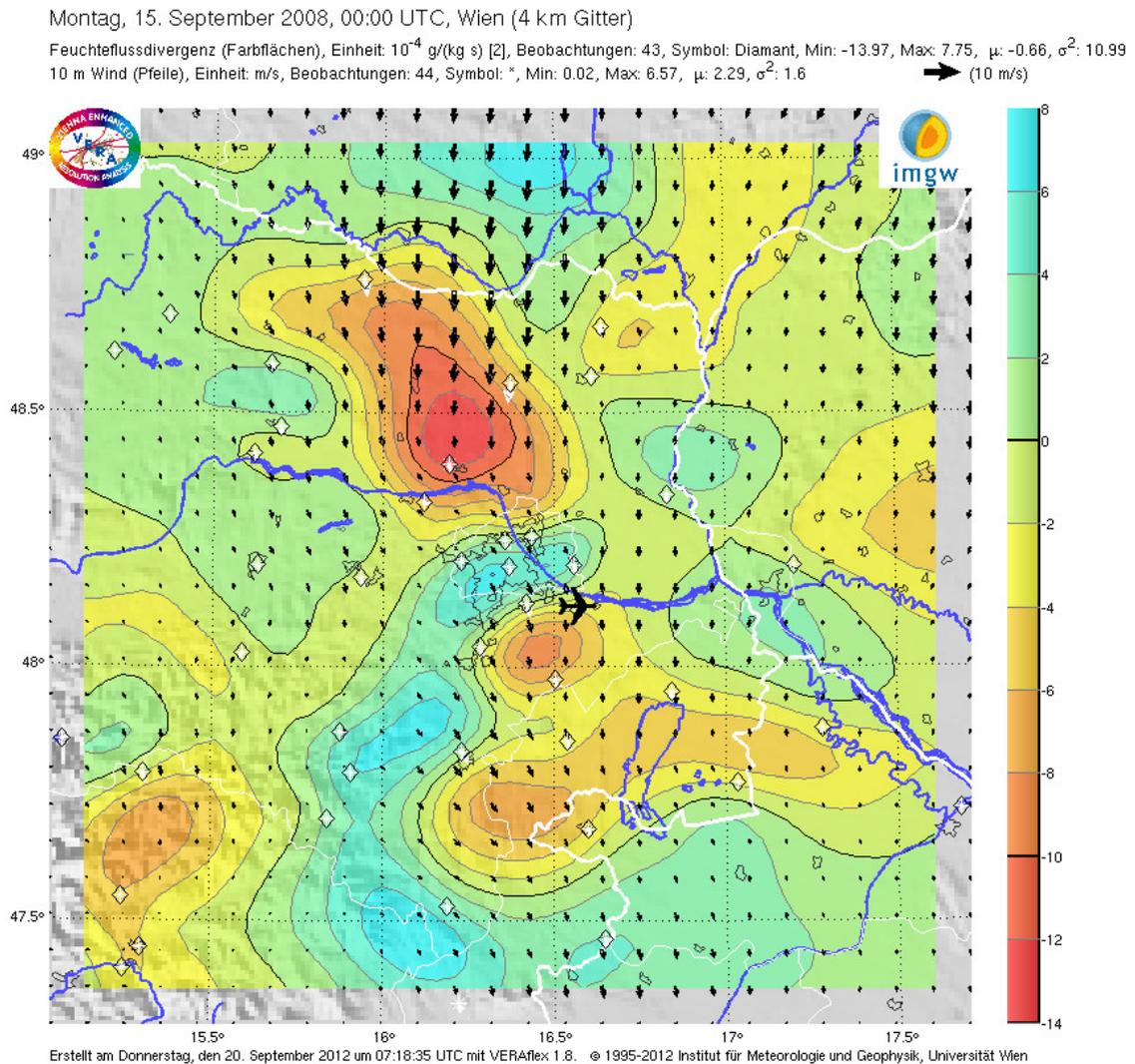


Abb. 6.13.: Vera Re-analyse der Feuchteflussdivergenz und des Windes für den 15.9.2008, 0 Uhr UTC, im Nahbereich des Flughafens (nördlich an der Donau) befindet sich das Industriegebiet Mannswörth.

6.2. Analyse regionaler Windfelder (VERA)

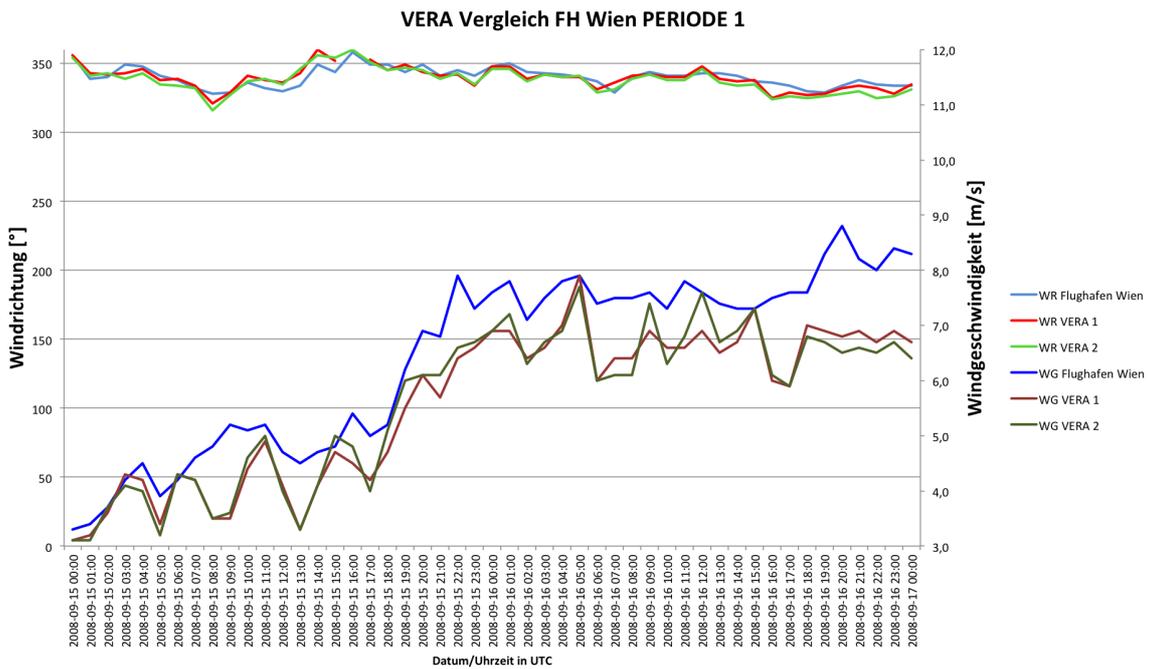


Abb. 6.14.: Vergleich der am Flughafen Wien Schwechat gemessenen Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit und -Richtung mit den beiden nächsten Gitterpunktswerten von VERA für den Zeitraum 15.9.2008 (0 Uhr) bis 17.9.2008 (0 Uhr)

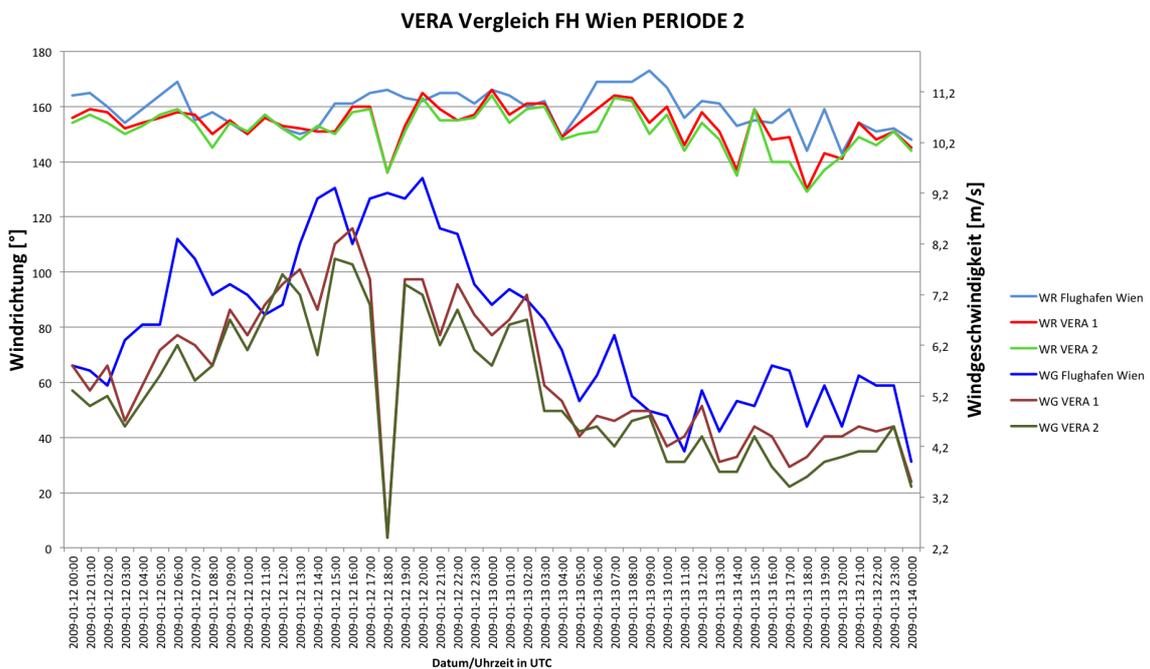


Abb. 6.15.: Vergleich der am Flughafen Wien Schwechat gemessenen Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit und Richtung, mit den beiden nächsten Gitterpunktswerten von VERA für den Zeitraum 12.1.2009 (0 Uhr) bis 14.1.2009 (0 Uhr)

Conclusio

In Summe zeigt diese Arbeit die Unerlässlichkeit regelmäßiger fachgerechter Wartungen (siehe auch WMO, 2008), um qualitativ hochwertige Messdaten zu erhalten. Dabei sind die Wartungsintervalle von Art der verwendeten Messsysteme abhängig. Werden die Winddaten von Windsensoren mit beweglichen Teilen wie jenem am Dach der Betriebsfeuerwehr (LDX) registriert, sind kürzere Serviceintervalle (mindestens alle zwei Jahre, idealerweise 1 mal pro Jahr) notwendig. Im Gegensatz dazu sind laut Hersteller Sensoren ohne bewegliche Teile nahezu wartungsfrei. Allgemein kann hier vermerkt werden, dass für Industrieanlagen Messgeräte ohne bewegliche Teile zu bevorzugen sind. Ultraschallmesssysteme zeigen beispielsweise verschmutzte Sensoren an, in so einem Fall wird dann kein Messwert ausgegeben.

Neben der Überprüfung der Windmessenanlagen ist auch eine regelmäßige Kontrolle der Datenverarbeitung zu empfehlen. Damit wäre das Fehlen der Messdaten aus dem Sektor zwischen West und Nord und die einhergehende überdurchschnittliche Ausprägung von Winden aus 290 Grad der Messstation OMV im Jahr 2009-2010 vermutlich schon früher aufgefallen.

Bei den untersuchten Datensätzen handelt es sich um firmeninterne Messdaten. Dementsprechend werden die Standorte nicht notwendigerweise nach meteorologischen Standardbestimmungen gewählt. Die Windmessenanlagen im untersuchten Industriegebiet Mannswörth befinden sich größtenteils auf Gebäuden. Die Messungen zeigen teilweise sehr beachtliche Einflüsse durch Hindernisse in der Umgebung. Damit werden nur die Windverhältnisse in der unmittelbaren Umgebung korrekt erfasst. Betrachtet man die Windrose der Station Mannswörth/A4 und jene Messdaten der Station Borealis Betriebsfeuerwehr (BFW), sind auch bei kleinen räumlichen Distanzen große Unterschiede in den Messergebnissen möglich. Diese Tatsache zeigt wiederum, dass auch bei räumlicher Nähe liefert eine einzelne Messstation keine allgemein gültigen Daten.

Die Kapitel Ergebnisse (Kapitel 5) und Modellierung von Strömungen (Kapitel 6) zeigen eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den Simulationen des Modells MISKAM und den gemessenen Daten. Mithilfe dieser Modellergebnisse können nun Aussagen über die Aufstellungsorte der Windmessenanlagen getroffen werden.

Für die Station Borealis BFW kann eine Beeinflussung im nördlichen Bereich durch den Verlauf der Danubiastraße festgestellt werden. Im Gegensatz zu den im Kapitel 4 (Windverhältnisse am Standort Mannswörth) diskutierten Windrosen, ist bei der Station BFW zusätzlich eine westsüdwestliche Komponente zu bemerken. Im Vergleich mit den MISKAM simulierten Strömungen (West-Süd-West im Appendix auf der CD) kann die Vermutung bestätigt werden, dass es sich dabei um den Einfluss der im Westen der Station

6. Modellierung von Strömungen

befindlichen hohen Gebäude der Firma OMV handelt.

Wie im Kapitel 5 erwähnt, ist der Messsensor der Station LDX in Richtung Norden blind. Die Windrichtungen Ost bis West werden aber gut aufgelöst. Für diese Station ist eine Wartung dringend zu empfehlen, aufgrund des Alters sollte aber auch ein Tausch überlegt werden. Für die beiden Sensoren BFW und LDX gilt: mit den Messungen an diesem Standort können keine allgemein gültigen Aussagen für das gesamte Gebiet gemacht werden, da die Messung nur für den Bereich um die Feuerwehr repräsentativ ist.

Im Kapitel Borealis BFW: erfolgt eine nähere Betrachtung der südlichen Windkomponente für die Station BFW, da in diesem Bereich eine starke Variabilität zwischen Tag und Nacht festzustellen ist. Anhand eines Geländeprofiles und unterschiedlichen Geländeschnitten konnte eine Steigung von 20m auf einer Distanz von nur einem halben km festgestellt werden. Die starke Schwankung in der Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten unter 2 m/s wird mit einem nächtlichen Kaltluftabfluss erklärt.

Die Station Borealis E4X befindet sich mittig auf einer Betriebsanlage. Im Nahbereich der Windmessanlage ist ein Aufbau von etwa 2 m aufgesetzt. Der Messkopf befindet sich über diesem Hindernis, gegen erste Erwartungen zeigt die Station relativ unbeeinflusste Messdaten. Nur im östliche Bereich kommt es zu einem Störungseinfluss durch die erwähnten Aufbauten. Um die Qualität der Messung zu verbessern, sollte diese Station an die nordwestliche Gebäudeecke verlegt werden.

Hinsichtlich der Station Borealis P5X kann eine Beeinflussung durch die Gebäude im nordwestlichen Bereich vor den Betriebsanlagen festgestellt werden. Diese Beeinflussung ist auf die Rauigkeit auf dem Windweg zurückzuführen und wirkt sich hauptsächlich auf die Geschwindigkeit aus, weswegen diese Station eine auffällige Ausprägung der Schwachwinde (0 bis 3m/s) aufweist.

Die Messungen der Station OMV Hauptgebäude sind allein schon wegen ihrer Höhe repräsentativ für den Großraum Mannswörth. Es wurden die Messwerte der niedrigen Windgeschwindigkeiten ($< 1\text{m/s}$) aufgrund eines Systemerfassungsproblems herausgefiltert. Da es sich aber um Messungen in großer Höhe handelt, sind niedrige Windgeschwindigkeiten sowieso eher selten.

Die Ungereimtheiten für die Stationen Borealis E4X und P5X im Bereich von 220 Grad bzw für die Station OMV Hauptgebäude im Bereich 290 Grad konnten nur bedingt aufgeklärt werden. Die Firma Kroneist führt den Fehler für die Stationen Borealis wie in Kapitel 5.3 erläutert, auf einen Datenverarbeitungsfehler zurückzuführen. Der Fehler in der Erfassung der Daten vom OMV Hauptgebäude im Bereich 290 Grad wird auf einen Messkopfdefekt zurückgeführt, welcher in der zwischenzeit schon getauscht wurde.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde festgestellt, dass Informationen einer Station oft nicht ausreichen, um Aussagen bezüglich einer Region zu machen oder Fehler der Messerfassung aufzudecken.

Betrachtet man nun die Ergebnisse der Untersuchung in Kapitel 6.1, kann festgehalten werden, dass die Strömungssimulation mit MISKAM eine gute Grundlage für Immissionsgutachten im Bereich des Industriegebietes ist. Da die Rechenzeit für die in dieser Arbeit

verwendeten und im Appendix gezeigten MISKAM Grafiken insgesamt mehr als 2 Monate dauerte, müssten die benötigten Windfelder für Störfallsimulationen im Anlassfall schon im Voraus zur Verfügung stehen. Im Fall eines Unfalls können vorgefertigte Szenarien für die aktuell auftretende Windrichtung Aussagen über den Transport und die Verdünnung des freigesetzten Schadstoffes liefern.

Die großen Unterschiede zwischen den Windverhältnissen an den betrachteten Windstationen verdeutlichen, wie wichtig die Berücksichtigung der Gebäudestrukturen in Immissionsberechnungen sowohl bei Analysen als auch in der Notfallplanung und bei Störfallsimulationen ist.

Die Betrachtung der VERA Analyse ergab eine gute Konsistenz im Vergleich zu den gemessenen Windrichtungsdaten. Bei der Windgeschwindigkeit ist in beiden Fallbeispielen eine leichte Unterschätzung gegenüber der wirklich gemessenen Daten zu bemerken. Diese gute Übereinstimmung war im Voraus schon erwartet worden, da die am Flughafen Wien gemessenen Daten in die Vera Analyse einfließen.

Abbildungsverzeichnis

2.1. geostrophischer Wind	4
2.2. logarithmisches Windprofil	7
2.3. logarithmisches Windprofil, mit Rauigkeit	7
2.4. Höhenprofil Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit - labile Schichtung	9
2.5. Höhenprofil Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit - Inversionsschichtung	9
2.6. schematische Darstellung der Mesoskala	11
2.7. schematische Darstellung der lokalen Skala	12
2.8. schematische Darstellung der Mikroskala	13
2.9. Foto: Strömungsversuch	13
3.1. Schalenkreuzanemometer	16
3.2. Schalenkreuzanemometer (Richtung- und Geschwindigkeit getrennt)	17
3.3. Ansprechverhalten Schalenkreuzanemometer	18
3.4. Ultraschallanemometer mit Abdeckung	18
3.5. Ultraschallanemometer	19
3.6. pitot'sche Staurohrmessung	20
3.7. Windrose mit Kalmenfehler	24
4.1. Übersichtsplan Industriegebiet Mannswörth (inkl. Messstellen)	27
4.2. Foto: Luftgütestation NÖ Landesregierung	29
4.3. Windrose Mannswörth A4; 4.7.2007 bis 31.3.2012	30
4.4. Korellogramm FH Wien - Mannswörth A4; 1.3.2008 bis 28.2.2009	32
4.5. Windrose Flughafen Wien; 1.1.2006 bis 31.3.2012	33
4.6. Windrose Grossenzersdorf; 1.3.2007 bis 31.3.2012	33
4.7. Umgebungsplan Windgeber Borealis Betriebsfeuerwehr und LDX	34
4.8. Umgebungsplan Windgeber Borealis E4X	35
4.9. Umgebungsplan Windgeber Borealis P5X	36
4.10. Umgebungsplan Windgeber OMV Hauptgebäude	37
5.1. Windrosenvergleich Borealis BFW (1.1.2006 bis 31.3.2012) sowie LDX (20.6.2006 bis 31.3.2012)	39
5.2. Histogramm BFW	40
5.3. Histogramm LDX	41
5.4. Korellogramm Flughafen Wien - Borealis BFW	42
5.5. Korellogramm Flughafen Wien - Borealis LDX	43

5.6.	Borealis BFW - Windgeschwindigkeitsvergleich Tag Nacht	45
5.7.	Borealis BFW Tag/Nacht direkter Vergleich	45
5.8.	Borealis BFW Tag/Nacht Vergleich bis 2m/s	46
5.9.	Geländeprofil für BFW/LDX	47
5.10.	Windrose Borealis E4X; 1.6.2006 bis 31.3.2012	48
5.11.	Histogramm E4X	49
5.12.	Korellogramm Flughafen Wien - Borealis E4X	50
5.13.	Summenhäufigkeit - Borealis E4X	50
5.14.	Windrose Borealis P5X; 20.6.2006 bis 31.3.2012	51
5.15.	Histogramm P5X	52
5.16.	Korellogramm Flughafen Wien - Borealis P5X; 1.3.2008 bis 28.2.2012	53
5.17.	Summenhäufigkeit - Borealis P5X	53
5.18.	Windrose OMV Hauptgebäude, 1.2.2007 bis 31.3.2012	54
5.19.	Windrose OMV Hauptgebäude(ohne Schwachwind); 1.2.2007 bis 31.2.2012	55
5.20.	Windrose OMV Hauptgebäude (starker Ausschlag); 1.3.2009 bis 28.2.2010	56
5.21.	Windrose OMV Hauptgebäude; 1.3.2011 bis 28.2.2012	56
5.22.	Histogramm OMV	57
5.23.	Korellogramm Flughafen Wien - OMV Hauptgebäude 1.2.2008 bis 28.2.2009	58
5.24.	Summenhäufigkeit - OMV Hauptgebäude	59
6.1.	MISKAM Beispiel mit Gebäuden	63
6.2.	MISKAM Beispiel über Gebäudehöhe	64
6.3.	Windgeschwindigkeitsvergleich MISKAM - Messung LDX	65
6.4.	Windrichtungsvergleich MISKAM - Messung LDX	66
6.5.	Windgeschwindigkeitsvergleich MISKAM - Messung BFW	67
6.6.	Windrichtungsvergleich MISKAM - Messung BFW	68
6.7.	Windgeschwindigkeitsvergleich MISKAM - Messung E4X	68
6.8.	Windrichtungsvergleich MISKAM - Messung E4X	69
6.9.	Windgeschwindigkeitsvergleich MISKAM - Messung P5X	69
6.10.	Windrichtungsvergleich MISKAM - Messung P5X	70
6.11.	Windgeschwindigkeitsvergleich MISKAM - Messung OMV	70
6.12.	Windrichtungsvergleich MISKAM - Messung OMV	71
6.13.	VERA Reanalyse, 15.9.2008, 0 Uhr UTC	74
6.14.	VERA Vergleich Periode 1	75
6.15.	VERA Vergleich Periode 2	75
A.1.	Foto: Umgebung Windgeber Borealis E4X	88
A.2.	Foto: Windgeber Borealis P5X	89
A.3.	Windgeber OMV Hauptgebäude	90
C.1.	MISKAM Gebäudeplan Borealis hochaufgelöst	93
C.2.	MISKAM Gebäudeplan OMV hochaufgelöst	95

„Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.“

Literatur

- Adolf Thies GmbH & Co.KG. *Arbeitsweise, technische Daten, Erklärungen, Ultrasonic Anemometer 2D*, 021536/11/08 4-382x xx xxx edition. ab Softwareversion V3.08 Stand 11/08.
- Baklanov, A., J. Burzynski, A. Christen, M. Deserti, K. DeRidder, S. Emeis, S. Joffer, A. Karpinnen, P. Mestayer, D. Middleton, M. Piringer, und M. Tombrou, 2005: *COST 715 WG2 the urban surface energy budget and mixing height in european cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality*. COST 715 WG2.
- bing maps, 2012: <http://www.bing.com/maps/>.
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), 2012: A map.
- DI Mack, 2012: Firma Kroneis. *personal communication*.
- Dr. G. Ruess, 2012: Firma Borealis. *personal communication*.
- Eichhorn, J., 1989: *Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskalierten Stadtklima - Modells*. Dissertation, Universität Mainz.
- Eichhorn, J., 2011a: *Miskam Handbuch zu Version 6*. Johannes Gutenberg - Universität, Institut für Atmosphäre.
- Eichhorn, J., 2011b: *WinMiskam ... Miskam für Windows (Handbuch)*. Johannes Gutenberg - Universität, Institut für Atmosphäre.
- Eichhorn, J., und A. Kniffks, 2010: The Numerical flow model MISKAM: State of development and evaluation of the basic version. *Meteorologische Zeitschrift*, **Vol. 19, No.1**, 81 – 90.
- Eugster, W., 2008: Grenzschichtmeteorologie (Skript Frühjahrsemester 2008).
- Flassak, D. I., 2012: Firma Lohmayer. *personal communication*.
- Foken, T., 2006: *Angewandte Meteorologie: Mikrometeorologische Methoden*. ISBN: 354038202X, 9783540382027.
- Gill Instruments. *WindSonic User Manual*. Doc No. 1405-PS-0019 Issue 15.
- Google earth, 2012: <http://earth.google.com>.
- Google Maps, 2012: <http://maps.google.at>.
- Helbig, A., J. Baumüller, und M. Kerschgens, 1999: *Stadtklima und Luftreinhaltung*. Springer. ISBN: 3 - 540 - 64206 - 4.

LITERATUR

- Hilmer, R., 2012: Theodor Friedrichs & Co. *personal communication*.
- Kühr, W., 1987: *Der Privatflugzeugführer*. Number Band II. Schiffmann Friedrich, 4. auflage edition, pp. 90. ISBN: 3 - 921 270 - 09 - X.
- Mayer, D. I. D., 2006: *Mitschrift zur Vorlesung Synoptik 1*. gelesen von Prof. Steinacker IMG, Universität Wien.
- Mitternast, G., 2012: Firma austrocontrol. *personal communication*.
- Oke, T., 2004: Siting an exposure of meteorological instruments at urban sites.
- Oke, T. R., 2006: WMO Instruments and Observing Methods, Report No. 81 Initial Guidance to obtain representative Meteorological Observations. *WMO/TD-No.1250, Report No. 81*.
- ÖNORM M 9490-6, 2009: Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung Teil 6: Messung des Windes Windrichtung und Geschwindigkeit.
- Piringer, M., K.Baumann, und M.Langer, 1998: Summertime mixing heights at vienna, austrian, estimated from vertical soundings and by a numerical model. *boundary-layer meteorology*, **89**, 172 (24–45). Kluwer Academic Publishers.
- Schatzmann, M., H. Olesen, und J. Franke, 2010: Cost 732 model evaluation case studies: approach and results. *COST Office Brussels*, p. 121 pp. ISBN: 3-00-018312-4.
- Schleicher, E., 2012: Amt der NÖ Landesregierung. *personal communication*.
- Stull, R. B., 1997: *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publisher. ISBN: 9027727694.
- Theodor Friedrichs & CO. *Messgeber f. Windgeschwindigkeit 4021.0000 BG*.
Universität Wien, 30.10.2012: <http://www.univie.ac.at/amk/vera/>. *VERA*.
- WMO, 2008: *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO - No. 8, WMO. ISBN: 978 - 92 - 63 - 10008 - 5.

()

A. Appendix

A.1. Technische Daten:

Im folgenden wird die Umgebungssituation der Messgeber auf dem Betriebsgelände OMV und Borealis erläutert. Ebenfalls wird auf die Messwertdichte eingegangen und in welchem Ausmaß fehlerhafte Werte auftreten.

Betriebsfeuerwehr BFW

Windgeber: Th. Friedrichs & CO. Combilog 1020

Messhöhe 16 m

Gebäudehöhe: 12 m

Koordinaten: 16,511 48,142

Ansprechgeschwindigkeit: ca 0,8 m/s (Manual Theodor Friedrichs & CO)

Bei dem Messsystems der Betriebsfeuerwehr sind nur 59,8 % der möglichen Daten in dem Zeitraum 1.1.2006 bis 31.3.2012 registriert worden. Diese niedrige Prozentzahl erklärt sich dadurch, dass die Daten aus den Jahren 2007 und 2010 bei einer Systemumstellung verloren gegangen sind.(Ruess, 2012) 3.2 auf Seite 17

LDX

Windgeber: Kroneis Type 291 1240 A

Messhöhe: 15 m

Gebäudehöhe: 12 m

Koordinaten: 16,511 48,142

Ansprechgeschwindigkeit: 0,3 bis 0,5 m/s (DI Mack, Firma Kroneis, 2012)

Bei dem Windgeber LDX handelt es sich um das älteste Messgerät, dieses wurde 1999 das letzte mal repariert, jedoch wurde damals keine Wartung durchgeführt (DI Mack, Firma Kroneis, 2012). Wie schon in Kapitel 3 3, Windmessung, erwähnt, sollte bei Schalenkreuzanemometer alle 2 Jahre eine Wartung vorgenommen werden. Das Potentiometer (Richtungssensor) soll nach spätestens 5-6 Jahren getauscht werden um eine unbeeinflusste Messung zu garantieren. Dieses Messgerät wurde nach den Aufzeichnungen der Firma Kroneis 1982 angeschafft. Im Jahr 1999 wurde eine Reparatur aber keine Wartung vorgenommen, dadurch sind die Daten des Windgebers LDX mit Bedacht zu betrachten. Bei der Station LDX sind in dem Zeitraum 1.1.2006 bis 31.3.2012 99,4% der möglichen Datenwerte erfasst worden.

A. Appendix

Laut Dr. Ruess von der Firma Borealis wird das Gerät nicht in regelmäßigen Abständen gewartet, jedoch bei Fehlfunktionen repariert.

E4X

Windgeber: Kroneis Modell 263

Messhöhe: 11 m

Gebäudehöhe: 6 m

Koordinaten: 16,513 48,149

Ansprechgeschwindigkeit: 0,3 bis 0,5 m/s

im untersuchten Zeitraum 1.6.2006 bis zum 31.3.2012 sind Windrichtungs- und -Geschwindigkeitswerte zu 98,8 % vorhanden.



Abb. A.1.: Das Panoramafoto zeigt links außen den Windgeber Borealis E4X, die Mitte des Fotos weist in Richtung NordWest.

Laut Dr. Ruess von der Firma Borealis wird das Gerät nicht in regelmäßigen Abständen gewartet, jedoch bei Fehlfunktionen repariert.

P5X

Windgeber: Kroneis Modell 263

Eigenschaften:

Messhöhe: 12 m über Grund

Koordinaten: 16,518 48,137

Ansprechgeschwindigkeit: 0,3 bis 0,5 m/s

Der Windgeber P5X registriert in dem Zeitraum 1.1.2006 bis zum 31.3.2012 98,3 % der möglichen Datenwerte registriert. Bei 1,4% wurde ein Ausfall von Windrichtung und Windgeschwindigkeit verzeichnet. Die restlichen 0,3% der möglichen Werte entfallen auf eine Nullregistrierung.

Laut Dr. Ruess von der Firma Borealis wird das Gerät nicht in regelmäßigen Abständen gewartet, jedoch bei Fehlfunktionen repariert.



Abb. A.2.: Das Foto des Windgeber Borealis P5X zeigt die durchströmte Brücke, über welcher sich das Anemometer befindet.(Blickrichtung: Süd)

OMV

Windgeber: Kroneis Windsonic

Eigenschaften:

Messhöhe 50 m über Grund 6m über dem Gebäude

Koordinaten: 16,494 48,145

Ansprechgeschwindigkeit 0,05 m/s

Laut DI Mack, der Firma Kroneis (2012) ist bei einem Sonic System ansich keine Wartung notwendig. Bei dem verwendeten System handelt es sich um ein Option 3 System bei welchem analog und digital aufgezeichnet werden kann. Erfolgt eine digitale Aufzeichnung wird bei einer Windgeschwindigkeit unter 0,05 m/s solange der letzte Wert über 0,05 m/s aufgezeichnet, bis es wieder zu einer höheren Windgeschwindigkeit kommt.

An dem Messpunkt OMV Hauptgebäude werden in dem Zeitraum 1.2.2007 bis zum 31.3.2012 99,4 % aller möglichen Daten registriert. Bei 0,2 % wurde eine Windrichtung jedoch keine Windgeschwindigkeit gemessen an 0,4 % der möglichen Termine wurde ein Ausfall von Windrichtung und Geschwindigkeit registriert.



Abb. A.3.: Windgeber OMV Hauptgebäude

B. Statistik

B.1. Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{\Sigma}{(N - 1)} \quad (\text{B.1})$$

B.2. Streuung

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\Sigma^2 - \Sigma) * \Sigma}{(N - 1)}} \quad (\text{B.2})$$

B.3. Varianz

$$\Sigma^2 = \frac{(\Sigma^2 - \Sigma) * \Sigma}{(N - 1)} \quad (\text{B.3})$$

C. MISKAM Berechnungsgrundlage

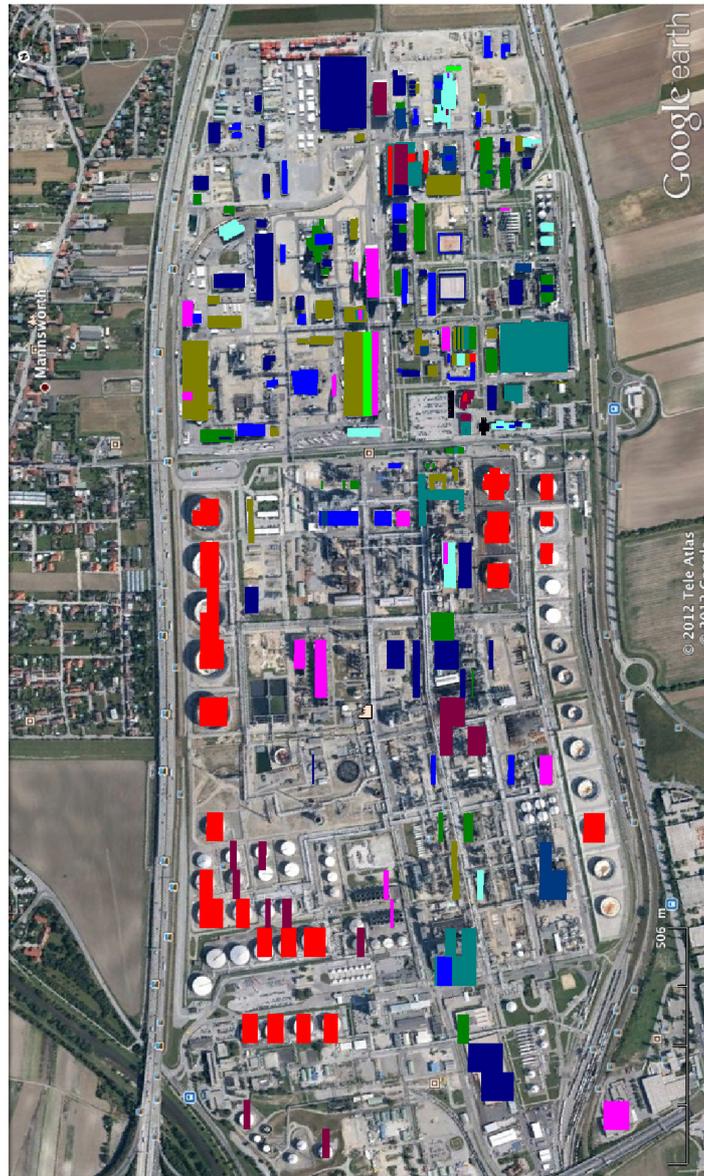


Abb. C.1.: Darstellung der mit MISKAM digitalisierten Gebäude, mit hoher Gitterauflösung im Bereich des Firmengeländes Borealis (im nordöstlichen Bereich der Karte) modifizierter Plan aus Google earth (2012)

C. MISKAM Berechnungsgrundlage

-

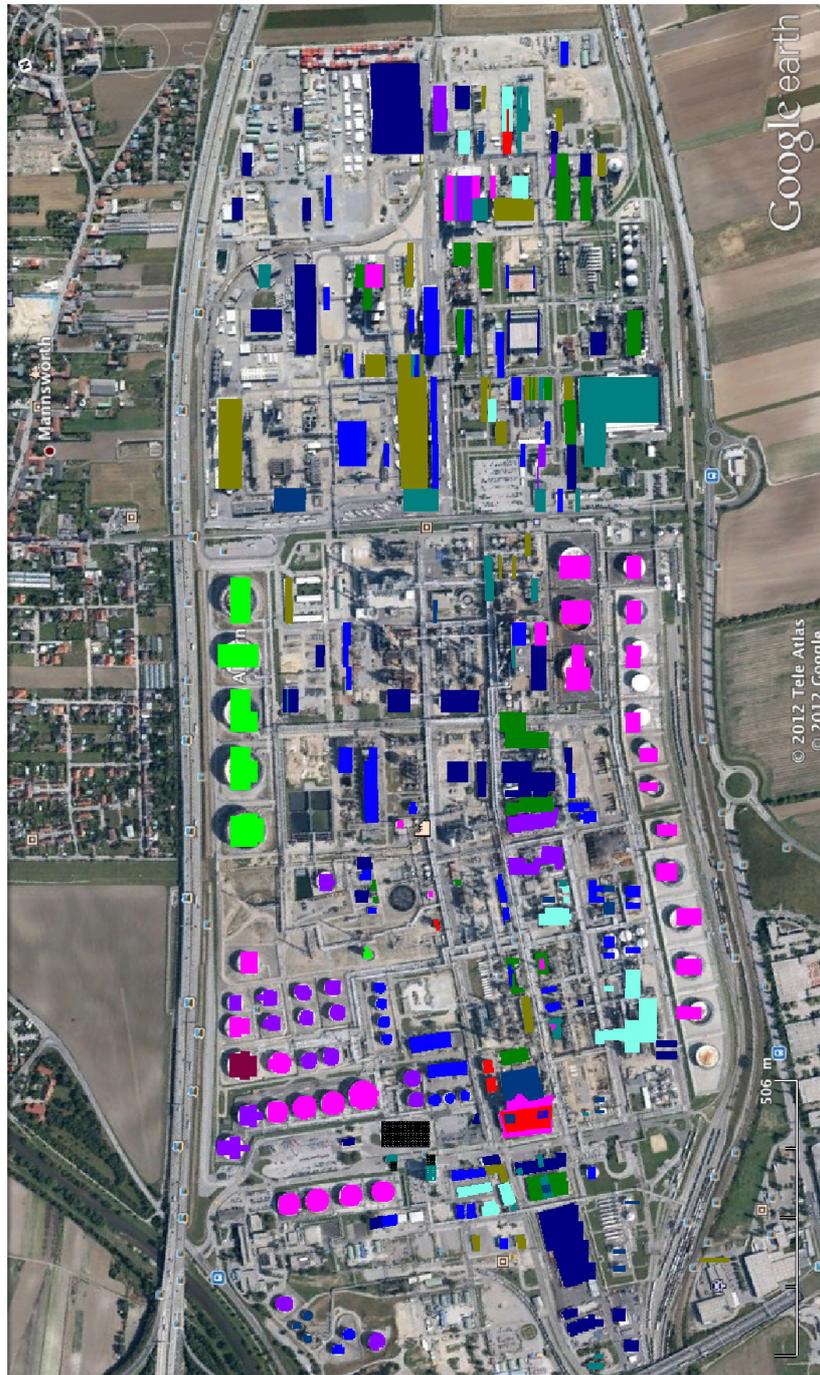


Abb. C.2.: Darstellung der mit MISKAM digitalisierten Gebäude, mit hoher Gitterauflösung im Bereich des Firmengeländes des OMV (im westlichen Bereich der Karte). modifizierter Plan aus Google earth (2012)

Curriculum Vitae

Persönliche Daten

Vorname und Name	Verena, Hirss
Geburtsdatum, -ort	14.,Juni 1985, Mistelbach
Staatsbürgerschaft	Österreich
Familienstand	ledig
Adresse	Großebersdorferstraße 18, 2203 Eibesbrunn
E-Mail	vhirss@me.at

Beruflicher Werdegang

2012	ZAMG - Umweltabteilung: Fem-Tech gefördertes Praktikum (Projektarbeit)
2011	ORF Wetterredaktion: Praktikum (Erarbeitung von - Beiträgen)
2011	ZAMG - Umweltabteilung: Praktikum (Projektarbeit)
2010	Austrocontrol: im Rahmen eines Projekts wurde die 'Verifikation von Gewitterwarnungen für die Approach Area LOWW' untersucht
2010 – dato	ZAMG: Erläuterung der wissenschaftlichen Arbeit und gesetzlichen Pflichten für Besucher
2006	Hagelabwehr Langenlois: Wettervorhersage, Erstellung einer Festschrift zum 50jährigen Bestehen

Ausbildung

10/2003 – dato	Studium Universität Wien, Meteorologie
09/1995 – 06/2003	Wirtschaftskundliches Realgymnasium, 1210 Wien
09/1991 – 06/1995	Volksschule, 1210 Wien

