



UNIVERSITÄT BAYREUTH
Abt. Mikrometeorologie

**Qualitätsbegutachtung komplexer
mikrometeorologischer Messstationen im
Rahmen des VERTIKO-Projekts**

**Mathias Göckede
Matthias Mauder
Thomas Foken**

**Arbeitsergebnisse
Nr. 25
Bayreuth, November 2004**

Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie, Print, ISSN 1614-8916
Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie, Internet, ISSN 1614-8924
<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/mm/>

Eigenverlag: Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie

Vervielfältigung: Druckerei der Universität Bayreuth

Herausgeber: Prof. Dr. Thomas Foken

Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie

D-95440 Bayreuth

Die Verantwortung über den Inhalt liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Methodische Entwicklungen zur Standortbegutachtung.....	5
2.1	Verfahren zur Berechnung räumlicher Strukturen der Datenqualität.....	5
2.2	Bewertung der Heterogenität an komplexen Standorten	6
3	Begutachtung der VERTIKO-Stationen.....	8
3.1	Teststation Waldstein Weidenbrunnen	8
3.2	Ankerstation Tharandter Wald	14
3.3	Ankerstation Oberbärenburg.....	20
3.4	Ankerstation Lindenberg (Wald).....	25
3.5	Ankerstation Melpitz.....	30
4	Literaturverzeichnis	33
5	Abbildungsverzeichnis	34
6	Tabellenverzeichnis	36

1 Einleitung

Die Messung des Energie- und Stoffaustauschs zwischen der Atmosphäre und der Unterlage beruht auf Messverfahren und Modellkonzepten, die eine horizontale Homogenität der Unterlage, stationäre Messbedingungen und weitgehende Advektionsfreiheit erfordern (z.B. Kaimal and Finnigan, 1994; Foken, 2003). Derartige Bedingungen sind unter Messbedingungen im Freiland quasi nicht realisierbar. Daher müssen zwangsläufig auch Messungen über Unterlagen und in Gebieten durchgeführt werden, die diesen strengen Anforderungen nicht genügen können. Um unter solchen Umständen eine korrekte Interpretation der gemessenen Daten zu gewährleisten, muss der Einfluss der nicht idealen Randbedingungen auf die Datenqualität qualitativ und quantitativ abgeschätzt werden.

Der Forschungsverbund VERTIKO (**VERT**ikaltransporte von Energie- und Spurenstoffen an Ankerstationen und ihre räumlich/zeitliche Extrapolation unter **KOM**plexen natürlichen Bedingungen) konzentrierte sich auf die Quantifizierung der räumlich-zeitlichen Variabilität der turbulenten Oberflächenflüsse über heterogenen Landschaften. Dieses Ziel sollte erreicht werden durch kontinuierliche Beobachtungen an Ankerstationen, mit deren Hilfe Parametrisierungen und Modelle entwickelt und verbessert werden konnten. Gerade dieser Fokus auf heterogene Bedingungen und die Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen machte eine Kontrolle der oben genannten theoretischen Anforderungen mikrometeorologischer Messtechniken dringend erforderlich.

Hauptziel des Teilprojekts *Bewertung der Vertikaltransporte von Energie- und Spurenstoffen unter komplexen natürlichen Bedingungen* (VERTIKO-UBT1) war es daher, den Heterogenitätseinfluss auf Messstationen des Projekts und ihren Einfluss die Ergebnisse der Energie- und Stoffflüsse und die Modellparametrisierungen zu quantifizieren und zu klassifizieren. Die Standortanalyse wurde durchgeführt für die Ankerstationen in Lindenberg, Melpitz, Tharandt und Oberbärenburg sowie für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Dazu war es erforderlich, die Heterogenität der Quellgebiete der Flüsse mit sogenannten Footprint-Modellen zu erfassen und die Qualität der Flüsse quellgebietabhängig zu beschreiben. Die Zuordnung der Quellgebiete zu den gemessenen Flüssen gestattete weiterhin einen Bezug der Messungen, insbesondere der Ankerstationen, zu Fernerkundungs- und Modelldaten. Der Ansatz zur Bearbeitung dieser Aufgaben bestand in einer Kopplung von Footprint-Modellen mit einer Methode zur Abschätzung der Datenqualität von Austauschmessungen nach Foken und Wichura (1996). Einen zusätzlichen Schwerpunkt bildete der Einsatz von Footprint-Modellen zur Bewertung der Landnutzungsstruktur, mit der sich das Quellgebiet der Messdaten im Mittel zusammen setzt. Die Entwicklung des Verfahrens zur Qualitätsbegutachtung komplexer mikrometeorologischer Standorte mit den oben erwähnten Hauptelementen wurde in enger Kooperation mit den EU Projekten CARBOEUROFLUX und INTAS (99-1501) 'Random Walk Models for the Footprint Problem in the Turbulent Atmosphere' durchgeführt.

2 Methodische Entwicklungen zur Standortbegutachtung

2.1 Verfahren zur Berechnung räumlicher Strukturen der Datenqualität

Das Verfahren zur Berechnung räumlicher Strukturen in der Datenqualität an komplexen Standorten wurde im Verlauf des VERTIKO-Projekts konstant weiter entwickelt und verbessert. Die zuerst entwickelte Version des Ansatzes verwendete das analytische Footprint-Modell FSAM (Flux Source Area Model), welches von Schmid (1994; 1997) entwickelt wurde. Dieses vergleichsweise einfache Verfahren ist im Detail beschrieben in Göckede et al. (2004b), und wurde im Kontext des CARBOEUROFLUX Workpackage 7 ‚Quality check and data basing‘ angewendet auf insgesamt 18 Monitoring Stationen dieses Projekts (Rebmann et al., 2004).

Die aus dieser umfangreichen Studie gewonnenen Erfahrungen mit dem Begutachtungsverfahren wurden im Folgenden umgesetzt in eine grundlegend überarbeitete Variante, die zum Zeitpunkt des Abschlusses des VERTIKO-Projekts die Referenzversion des Programms darstellt (Göckede et al., 2004a). Diese verwendet den von Thomson (1987) vorgestellten Ansatz eines stochastischen Vorwärts-Lagrange Footprint-Modells vom Langevin-Typ (z.B. Wilson and Sawford, 1996). Die Umsetzung dieser Algorithmen einschließlich der Definition der turbulenten Flusststatistiken sowie der Beschreibung des Stabilitätseffekts auf die verwendeten Profile wurde von Rannik et al. (2003) durchgeführt. Das verwendete Modell kann eingesetzt werden in diabatischer Schichtung und berücksichtigt auch Flüsse innerhalb des Vegetationsraums. Wie alle Lagrange’schen Footprint-Modelle kann auch dieser Ansatz dreidimensionale turbulente Diffusion simulieren (z.B. Reynolds, 1998), ist allerdings als Vorwärts-Modell wie auch alle analytischen Ansätze aufgrund der Annahme der sogenannten ‚inverted plume assumption‘ (z.B. Schmid and Oke, 1988; Schmid, 2002) eingeschränkt auf horizontal homogene Strömungsbedingungen. Diese Eigenschaften ermöglichen eine deutlich verbesserte Anpassung der für das hier vorgestellte Begutachtungsverfahren benötigten Footprint-Modellierung an komplexe Standorte mit hoher Vegetation.

Eine weitere wichtige Weiterentwicklung im Vergleich zu der bei Göckede et al. (2004b) vorgestellten Version des Verfahrens betrifft die Berechnung von effektiven Rauigkeitslängen z_0 als Eingabeparameter für das verwendete Footprint-Modell. Anstelle einer Footprint-basierten Berechnung von z_0 im Rahmen eines Iterationsverfahrens, welche die tatsächliche Physik grob vereinfachte, wurde in der überarbeiteten Fassung des Ansatzes das mikroskalige Flächenmittlungsmodell nach Hasager und Jensen (1999) eingesetzt. Dieses Modell berücksichtigt die Reaktion des Strömungsfeldes auf jeden Rauigkeitsprung für eine beliebige Anordnung der Oberflächenelemente. Die Grundgleichungen dieses Verfahrens sind linearisierte Versionen der Navier-Stokes Gleichung, für welche letztendlich nur der advektive Term

sowie die vertikale Flussdivergenz berücksichtigt werden, während alle weiteren Komponenten wie zum Beispiel der Coriolis-Term vernachlässigt werden (Hasager et al., 2003). Gelöst werden die Algorithmen über Fast Fourier Transformationen, wodurch eine zeiteffiziente Berechnung effektiver Oberflächenparameter in Übereinstimmung mit der mittleren Reibung für festgelegte Strömungsbedingungen ermöglicht wird. Im Rahmen dieses Ansatzes wird die Rauheitslänge für jeden betrachteten Standort mit dem Modell von Hasager und Jensen (1999) vorberechnet für verschiedene Windrichtungssektoren, Stabilitätsklassen sowie Temperaturregimes. Diese in Tabellen gespeicherten Ergebnisse werden anschließend als Eingabeparameter für das Footprint-Modell zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich wurden die Möglichkeiten von Fernerkundungsmethoden nach intensiven Studien von Reithmaier et al. (2004) in das Begutachtungsverfahren integriert. Da sowohl die Footprint-Analyse als auch das Flächenmittelungsmodell auf Landnutzungsdaten basieren, konnte durch eine Bereitstellung genauerer sowie aktuellerer Informationen die Aussagekraft der Ergebnisse deutlich gesteigert werden.

Das Verfahren selbst wurde entwickelt zur Verbindung von meteorologischen Messungen mit Geländeinformationen. Dazu wurde für jede Einzelmessung eines Beobachtungszeitraums eine Footprint-Analyse durchgeführt, deren resultierendes Quellgebiet projiziert wird auf die eingesetzte Matrix mit den Landnutzungs-Informationen. Unter der vereinfachenden Annahme, dass von allen Teilflächen der Umgebung ein Fluss mit der gleichen Quellstärke emittiert wird, werden die auf diese Weise zugeordneten Gewichtungsfaktoren sortiert nach Landnutzungsklassen und anschließend aufsummiert, um den Flussbeitrag jeder Klasse zu erhalten.

Zusätzlich zur oben skizzierten Bewertung der Landnutzungsstruktur im Quellgebiet der Messungen wurden die ermittelten Gewichtungsfaktoren zusammen mit den Ergebnissen der Qualitätsanalyse der gemessenen Flüsse in einer Datenbank abgelegt. Nach Bearbeitung der gesamten Experimentperiode wurden diese Einträge statistisch ausgewertet, um für jede einzelne Zelle der Geländematrix die mittlere Datenqualität zu bestimmen. Hieraus ergab sich zum einen die räumliche Struktur der Datenqualität bestimmter Flüsse, beispielsweise des fühlbaren Wärmestroms, sowie der relative Einfluss jeder Matrixzelle zum gemessenen Gesamtfluss. Detailliertere Beschreibungen des angewendeten Verfahrens werden bei Göckede et al. (2004b) gegeben.

2.2 Bewertung der Heterogenität an komplexen Standorten

Ein Element des hier angewendeten Begutachtungsverfahrens, eine Analyse der Heterogenität der Landnutzungsstruktur, wurde speziell für die Bewertung der VERTIKO-Ankerstationen durchgeführt und ist daher noch nicht in der ersten publizierten Beschreibung des Verfahrens (Göckede et al., 2004b) enthalten. Für meteorologische Fluss-Stationen, beispielsweise zusammengefasst in FLUXNET (Baldochi

et al., 2001), wird üblicherweise eine spezifische Landnutzungsart als Zielfläche angegeben, deren Anteil am gemessenen Fluss heran gezogen werden kann, um den Einfluss der heterogenen Landnutzungsstruktur auf die Datenqualität zu bewerten. Im Falle der VERTIKO-Ankerstationen wurde keine derartige Zielfläche definiert, so dass es keine Referenz-Landnutzungsart gibt an der sich eine Bewertung orientieren kann. Zur Evaluierung der Landnutzungsstruktur wurden stattdessen zwei allgemeinere Schemata entworfen: Zum einen eine Übersicht der auftretenden Kombinationen des Landnutzungspaars das eine spezifische Messung dominiert. Zum anderen eine Darstellung der Verteilung der Anteile am gemessenen Fluss für jede Landnutzungsart.

Für die erste der beiden Bewertungen, die Übersicht der dominierenden Landnutzungsarten, wurden für jede Einzelmessung die Flussanteile der vorhandenen Landnutzungsarten nach der Größe sortiert. Lediglich die beiden Landnutzungsarten mit dem höchsten Flussanteil wurden für die weitere Bewertung berücksichtigt und in eine quadratische Übersichtstabelle eingetragen. Diese Tabelle besteht aus Spalten beziehungsweise Zeilen, deren Anzahl der Zahl der Landnutzungsklassen entspricht. Der Eintrag für jede Einzelmessung erfolgt nun in der Zeile der dominanten Landnutzungsart, und der Spalte für den zweithöchsten Flussanteil. Für den Fall, dass die dominante Landnutzungsart einen Anteil von mehr als 90 Prozent am gemessenen Gesamtfluss hat, erfolgt der Eintrag in der Hauptdiagonale. Die daraus entstehende Übersicht lässt Rückschlüsse zu auf den Anteil der Daten mit homogenem Einzugsgebiet, beziehungsweise die vorherrschende Zusammensetzung der dominierenden Landnutzungsklassen bei gemischtem Anströmsektor.

Tabelle 1: Beispiel einer Übersichtstabelle der dominanten Kombinationspaare für vier Landnutzungsklassen. Die Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungsklasse, während die Spalten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag angeben. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%].

Klasse	1	2	3	4
1				
2		25.69	58.71	2.43
3		12.31		0.86
4				

In Tabelle 1 ist ein Beispielergebnis für die Analyse der dominanten Landnutzungspaare zusammengestellt. Von den 4 ausgewiesenen Landnutzungsklassen haben nur Klassen 2 und 3 einen Eintrag als dominante Klassen, Klasse 4 taucht in Kombination mit diesen beiden als zweithöchster Eintrag auf, während Klasse 1 keine Bedeutung an diesem Standort hat. Etwa 25 Prozent der berücksichtigten Fälle hatten ein homogenes Einzugsgebiet bestehend aus Klasse 2 (Anteil größer 90 Prozent), die meisten Messungen (etwa 59 Prozent) bestanden aus einer Kombination von Klasse 2 (dominant) und Klasse 3.

Die zweite hier angewendete Bewertungsmethode konzentriert sich auf die Zusammenstellung der im Verlauf des gesamten Experiments auftretenden Flussanteile für jede der vorhandenen Landnutzungs-klassen. Hierzu wird wiederum eine Tabelle angelegt, welche den Wertebereich der möglichen Flussanteile zwischen 0 und 100 Prozent in Klassen zu 5 Prozent einteilt. Die relative Häufigkeit jeder dieser Klassen wird graphisch durch die Farben der einzelnen Felder dargestellt (Abbildung 1). Diese Übersicht erlaubt eine Beurteilung, welcher Bereich für den Flussanteil jeder der Klassen im Mittel zu erwarten ist, und wie sich das Einzugsgebiet der Einzelmessungen im Mittel zusammen setzt.

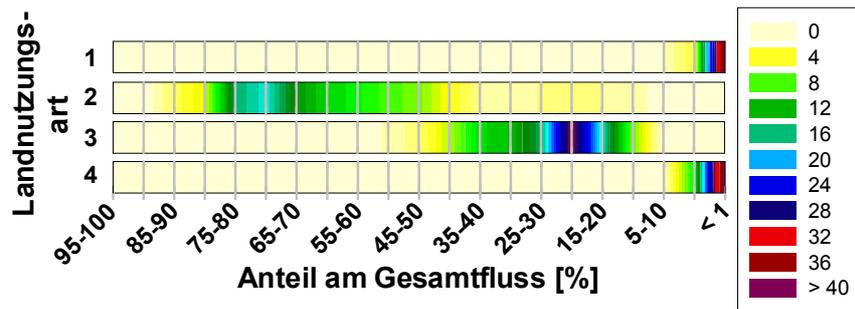


Abbildung 1: Beispiel-Darstellung der Spannweite der Flussanteile [%] für 4 Landnutzungsarten. Die Farben geben die relative Häufigkeit der Flussanteil-Klassen für jede Landnutzungsart an.

Aus Abbildung 1 lässt sich ablesen, dass für den Beispiel-Standort im Mittel die Landnutzung zu etwa 50 bis 80 Prozent aus Klasse 2 und zu etwa 15 bis 40 Prozent Klasse 3 besteht. Die beiden übrigen Klassen 1 und 4 haben kaum signifikante Beiträge zu den gemessenen Flüssen.

3 Begutachtung der VERTIKO-Stationen

3.1 Teststation Waldstein Weidenbrunnen

Die Teststation Waldstein Weidenbrunnen (50°08'31" N, 11°52'01" E, 775 m ü.NN) wird von der Abteilung Mikrometeorologie der Universität Bayreuth betreut. Der Standort befindet sich im Fichtelgebirge etwa 4 km nördlich der Stadt Weißenstadt innerhalb eines ausgedehnten Nadelwald-Bestandes, mit einer Messhöhe der Eddy-Kovarianz-Instrumente von 33 m über Grund. Das Gelände ist hügelig mit moderaten Steigungen, die dominierende Vegetationsart ist Fichtenwald mit einer mittleren Bestandeshöhe von etwa 19 m in der direkten Umgebung des Turms. Die wichtigsten Heterogenitäten am Standort sind eine ausgedehnte Waldlichtung etwa 250 m in westlicher Richtung sowie der Gipfel des ‚Großer Waldstein‘ mit einer Höhe von 877 m über NN in einer Entfernung von etwa 1700 m im südwestlichen Sektor.

Der für diese Stationsanalyse verwendete Datensatz wurde im Zeitraum 21. Mai bis 31. Juli 2003 im Rahmen des Experiments WALDATEM-2003 am Standort Waldstein Weidenbrunnen erstellt. Die Auf-

bereitung der als 20 Hz-Rohdaten gespeicherten Messungen erfolgte nach einem hier nicht näher beschriebenen Verfahren, welches an der Universität Bayreuth entwickelt worden ist und den aktuellen Stand der Forschung auf diesem Gebiet umsetzt. Nach Ausschluss von Fehlwerten verblieben insgesamt 3455 Halbstundenmittel für die Stationsbewertung. Die Landnutzungskarte zur Beschreibung der Geländestruktur in der Umgebung des Turms wurde mit Hilfe einer einzelnen Satellitenaufnahme (ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance) vom April 2003 erstellt. Durch die Verwendung nur einer Satellitenszene verblieben einige Bereiche in äußeren Sektoren der Karte, die nicht bewertet werden konnten. Zudem ist die Ausweisung der Landnutzungsclassen ‚Lichtungen‘ mit Unsicherheiten behaftet, so dass unter Umständen einige der als Lichtungen ausgewiesenen Bereiche eher den Waldklassen zuzuordnen wären (Reithmaier et al., 2004). Die Dimension der Landnutzungskarte ist 473 Pixel (Ost-West) x 340 Pixel (Nord-Süd), was bei einer horizontalen Auflösung von 15 m einer Ausdehnung von 7095 m x 5100 m entspricht. Dieser Bereich, für welchen insgesamt 9 Landnutzungsclassen differenziert werden konnten, ist in Abbildung 2 dargestellt. Für die Darstellung der weiteren Ergebnisse der Standortbegutachtung wurde eine Fläche von 1485 m (Ost-West) x 1305 m (Nord-Süd) ausgewählt. Diese Fläche, welche das Areal mit signifikanten Flussbeiträgen für die Messposition markiert, wurde in Abbildung 2 mit einem weißen Rahmen gekennzeichnet. Größe und Position des Bereichs wurden so gewählt, dass er die Fläche abdeckt, welcher bei stabiler Schichtung etwa 95 Prozent der gemessenen Flüsse zugeordnet werden können.

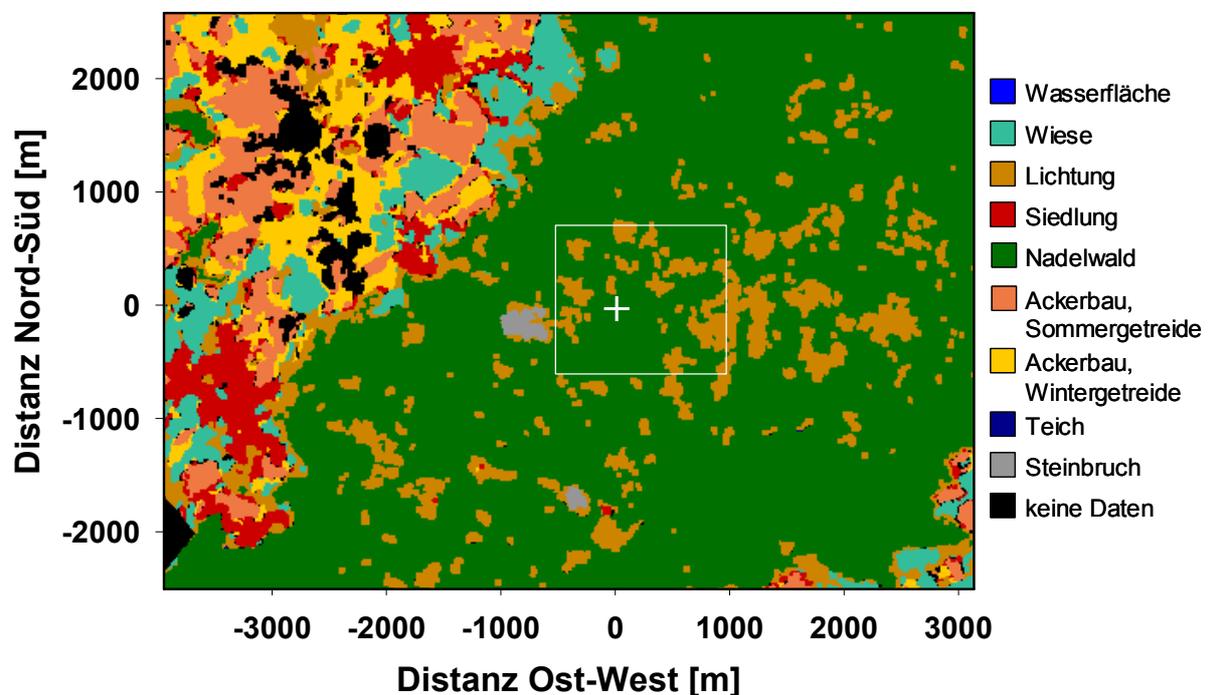


Abbildung 2: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen im Zentrum markiert den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf welchen sich die folgenden Detailabbildungen konzentrieren.

Die Berechnung der akkumulierten Quellgebiete wurde für vier verschiedene atmosphärische Stabilitäten durchgeführt: labile ($z/L < -0.0625$), neutrale ($-0.0625 < z/L < 0.0625$) und stabile ($z/L > 0.0625$) Fälle, zusätzlich die Zusammenfassung aller Schichtungen. Die Ergebnisse, welche für den in Abbildung 2 mit dem weißen Rahmen gekennzeichneten Bereich dargestellt werden, sind in Abbildung 3 zusammen gestellt. In diesen Abbildungen wird die dreidimensionale Struktur der akkumulierten Quellgebiete nachvollzogen durch die weißen Isolinien. Die Werte der Isolinien sind normiert auf den Wert der Zelle mit dem maximalen Einfluss auf den Sensor, wobei die 90er Linie beispielsweise alle Matrixzellen einschließt, welche mindestens 90 Prozent dieses Maximalwerts erreichen. Die neun durchgezogenen Linien überspannen den Wertebereich zwischen 10 Prozent und 90 Prozent, die gestrichelte Linie stellt die 5er-Isolinie dar.

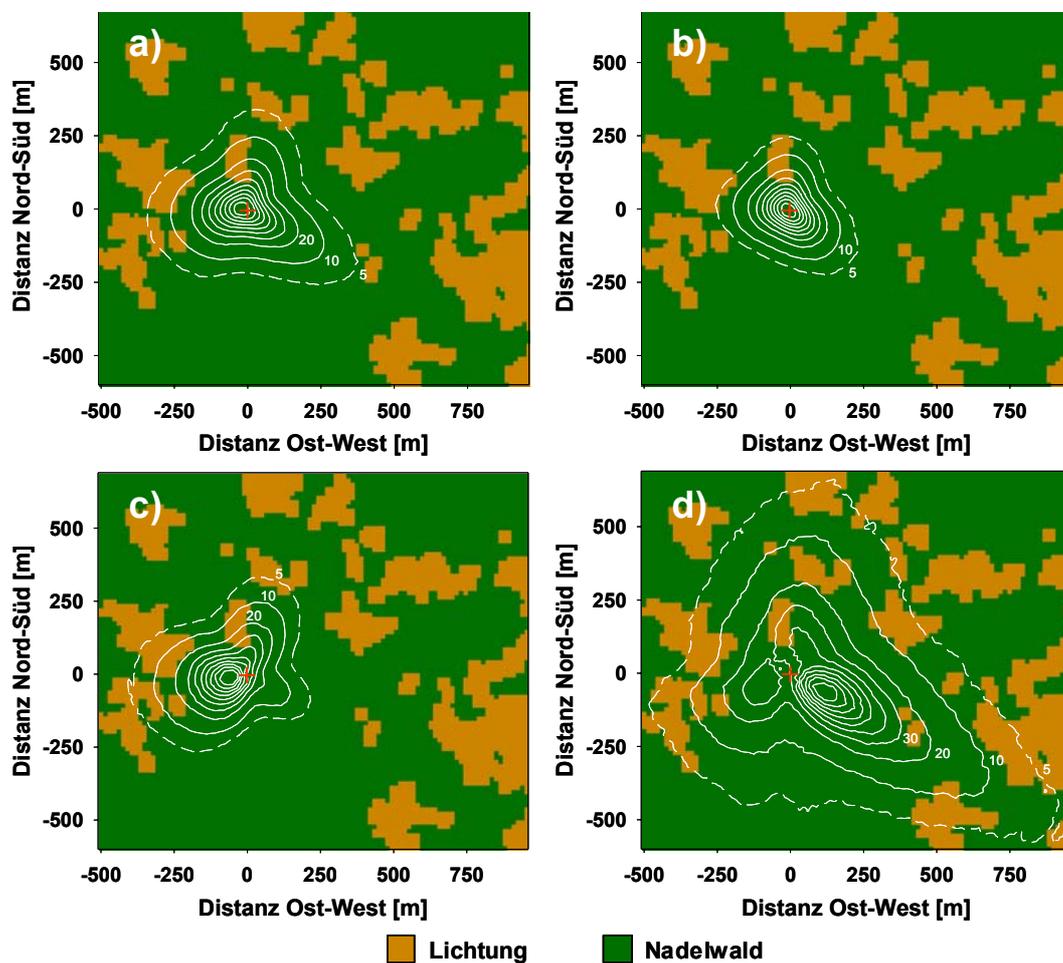


Abbildung 3: Akkumulierte Quellgebiete für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen, aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben die Position des akkumulierten Quellgebietes an. Detaillierte Angaben dazu werden im Text gegeben.

Im zentralen Bereich der Landnutzungskarte (Abbildung 3) liegen nur noch die beiden Klassen Nadelwald und Lichtung vor. Demnach kann anhand des für diese Bewertung verwendeten Informationsma-

terials der Geländebereich mit signifikantem Einfluss auf die Messungen aerodynamische Heterogenitäten durch die Rauigkeitsstufen an den Waldrändern enthalten. Die Größe des signifikanten Bereichs des akkumulierten Quellgebiets schwankt zwischen 500 m (E-W) x 480 m (N-S) für labile Schichtung (Abb. 3b) und 1480 m x 1220 m für stabile Schichtung (Abb. 3d), für das Mittel aller Schichtungsfälle (Abb. 3a) wurde ein Bereich von 720 m x 620 m ausgewiesen. Das Maximum des akkumulierten Quellgebiets befindet sich für die Zusammenstellung aller verwendeten Daten und für labile Schichtung dicht an der Turmposition mit einer leichten Tendenz nach Westen. Für neutrale Schichtung dagegen ergibt sich ein Schwerpunkt des Geländeeinflusses im Südwesten, für stabile Schichtung im Südosten des betrachteten Gebiets.

Die Analyse räumlicher Strukturen der Datenqualität wurde für die Station Waldstein Weidenbrunnen für Impulsfluss, fühlbaren und latenten Wärmefluss sowie den CO₂-Fluss durchgeführt (Abbildung 4). Die Qualitätsbewertung der Flüsse erfolgte in Flags zwischen 1 (beste) und 9 (schlechteste Qualität), Details dazu finden sich u.a. bei Foken and Wichura (1996) sowie Foken et al. (2004).

Generell spiegelt die in Abbildung 4 für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen zusammen gestellte Übersicht der räumlichen Strukturen der Datenqualität für verschiedene Austauschflüsse eine sehr hohe Datenqualität wider. Die gemittelte Datenqualität für den Impulsfluss (Abb. 4a), latenten Wärmestrom (Abb. 4c) sowie CO₂-Fluss (Abb. 4d) zeigen durchgehend in allen Sektoren die höchsten Qualitätsstufen 1 und 2. Dieses Ergebnis deutet auf quasi störungsfreie turbulente Austauschmessungen hin. Das Ergebnis für den fühlbaren Wärmestrom (Abb. 4b) dagegen weist deutliche Strukturen in der räumlichen Datenqualität auf. Sowohl in der direkten Umgebung des Turms als auch in zwei Sektoren im Südosten beziehungsweise im Westen der Messposition ist die mittlere Datenqualität hoch (Stufen 3-4), während die übrigen Matrixquadrate mit der eher niedrigen Bewertung 6-7 geflaggt sind. Dieses Ergebnis ist eine Konsequenz der für die Ausweisung der Qualitätsflags verwendeten integralen Turbulenzcharakteristika für den fühlbaren Wärmestrom. Die Parametrisierung der als Referenz heran gezogenen integralen Turbulenzcharakteristika ist nicht gültig für den neutralen Bereich, so dass hier regelmäßig große Abweichungen zwischen den gemessenen und den modellierten Werten mit schlechter Qualitätsbewertung auftreten (siehe auch Göckede et al., 2004b). Die gute Qualitätsbewertung in der direkten Umgebung der Messposition und in den beiden Sektoren im Südosten und Westen kommt zustande durch die zumeist hohe Datenqualität bei labiler Schichtung, die diese Bereiche dominiert.

Die Möglichkeit, neben den oben aufgeführten Qualitätsflags auch räumliche Strukturen für kontinuierliche Parameter berechnen zu können, ist besonders gut geeignet zur Analyse der vertikalen Windkomponente an einem komplexen Standort. Die Ergebnisse dieser Bewertung ist für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen in der folgenden Abbildung 5 dargestellt.

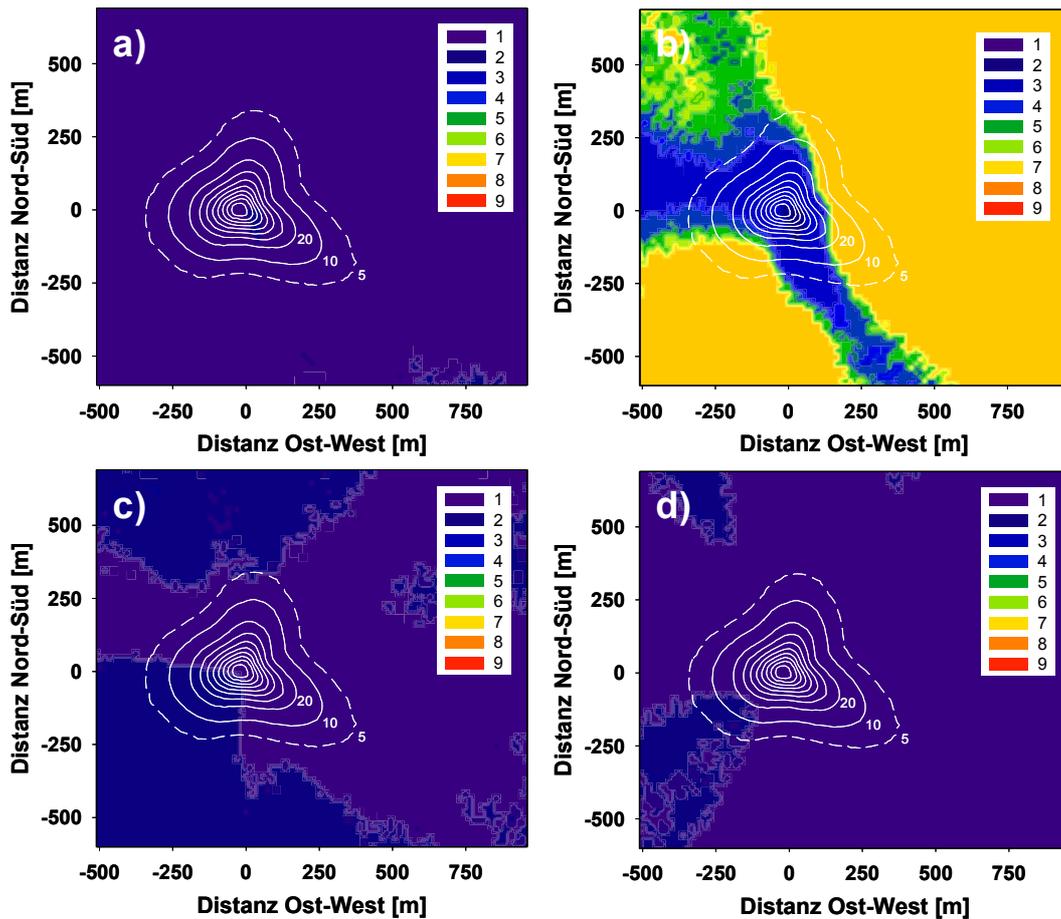


Abbildung 4: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Die Bewertungen wurden durchgeführt für a) Impulsfluss, b) fühlbaren Wärmestrom, c) latenten Wärmestrom und d) CO₂-Fluss. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt.

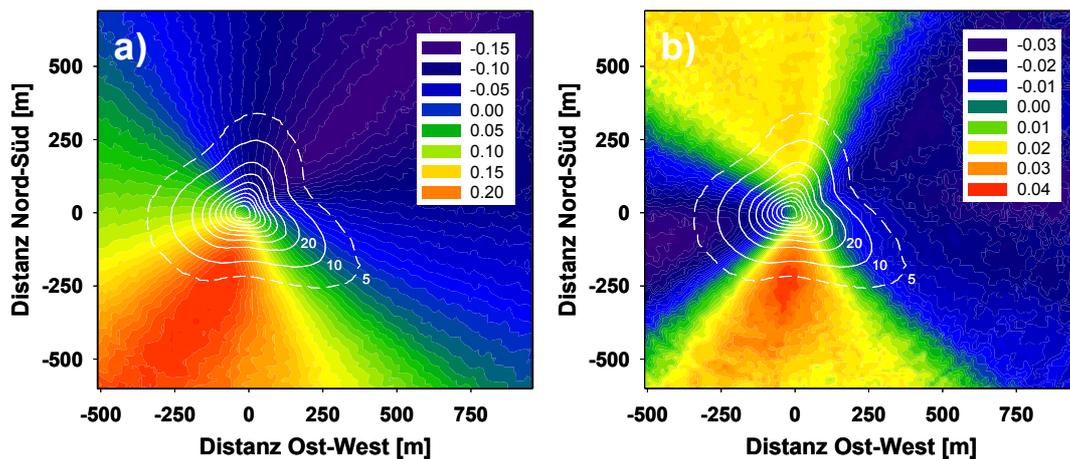


Abbildung 5: Gemittelte vertikale Windkomponente an der Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Untersucht wurden die räumlichen Strukturen a) der unrotierten vertikalen Windkomponente und b) der vertikalen Windkomponente nach Anwendung der Planar-Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen.

In Abbildung 5a zeigt sich der signifikante Effekt der lokalen Topographie auf das Windfeld am Standort Waldstein Weidenbrunnen. Das mittlere Windfeld ist gekippt entlang einer Achse, die etwa von Nordwest nach Südost verläuft, mit einem Wertebereich der vertikalen Windkomponente zwischen 0.2 m s^{-1} im südwestlichen und -0.15 m s^{-1} im nordöstlichen Sektor. Um diese Neigung auszugleichen, welche eine deutliche Beeinträchtigung der Eddy-Kovarianz Methode darstellt, muss ein Koordinaten-Rotationsverfahren angewendet werden. In Abbildung 5b ist das vertikale Windfeld nach Anwendung der Planar-Fit Rotation (Wilczak et al., 2001) dargestellt, welches den im Verlauf dieser Stationsanalyse verwendeten Datensatz repräsentiert. Die gemittelten vertikalen Windkomponenten haben sich reduziert auf maximal 0.04 m s^{-1} und üben somit keinen signifikanten Einfluss mehr auf die Berechnung der Austauschflüsse aus. Allerdings zeigen sich auch in Abbildung 5b noch abgegrenzte Windrichtungssektoren mit positiven vertikalen Windkomponenten im Süden und Norden des Sensors und negativen Werten im Westen und Osten. Diese klaren räumlichen Strukturen weisen darauf hin, dass die Neigung des Windfelds am Standort Waldstein Weidenbrunnen nicht für alle Anströmrichtungen einheitlich ist, so dass sie mit Hilfe der Planar-Fit Methodik und nur einem einzigen Satz an Rotationswinkeln nicht vollständig ausgeglichen werden kann. Eine optimale Koordinatenrotation müsste hier mehrere Windrichtungssektoren mit individuellen Neigungen des Windfeldes berücksichtigen, deren Ausdehnung mit Hilfe des hier vorgestellten Bewertungsansatzes bestimmt werden kann.

Tabelle 2: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungsklassen im Quellgebiet für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Die Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungsklasse, während die Spalten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag repräsentieren. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: größere Wasserfläche (See); 2: Wiese; 3: Lichtung; 4: Siedlung; 5: Nadelwald; 6: Ackerbau, Sommergetreide; 7: Ackerbau, Wintergetreide; 8: kleinere Wasserfläche (Teich); 9: Steinbruch; 10: keine Daten.

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5		0.21	53.16		46.19	0.27	0.18			
6										
7										
8										
9										
10										

Die Bewertung der Heterogenität der Landnutzungsstruktur wurde für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen wie in Abschnitt 2.2 beschrieben in zwei Schritten durchgeführt. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der dominanten Kombinationspaare der 9 dort vorhandenen Landnutzungsklassen, welche verdeutlicht dass die Landnutzungsklasse Nadelwald während des gesamten hier betrachteten

Experimentzeitraums dominant war. Der Hauptanteil entfällt mit etwa 53 Prozent auf die Kombination von Nadelwald und Lichtungen, in etwa 46 Prozent aller Fälle war die Zusammensetzung des Quellgebiets der jeweiligen Messung quasi homogen (Anteil der dominanten Landnutzungsart > 90 Prozent). Neben diesen beiden Einträgen in Tabelle 2, welche zusammen mehr als 99 Prozent aller Messungen repräsentieren, existieren unbedeutende Einträge mit Wiese beziehungsweise Ackerflächen als zweitwichtigstem Flussbeitrag.

Der zweite Teil der Heterogenitätsbewertung der Landnutzungsstruktur konzentriert sich auf die Verteilung der Anteile am gemessenen Fluss für jede Landnutzungsart. Die Visualisierung der Ergebnisse für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen erfolgt in Abbildung 6.

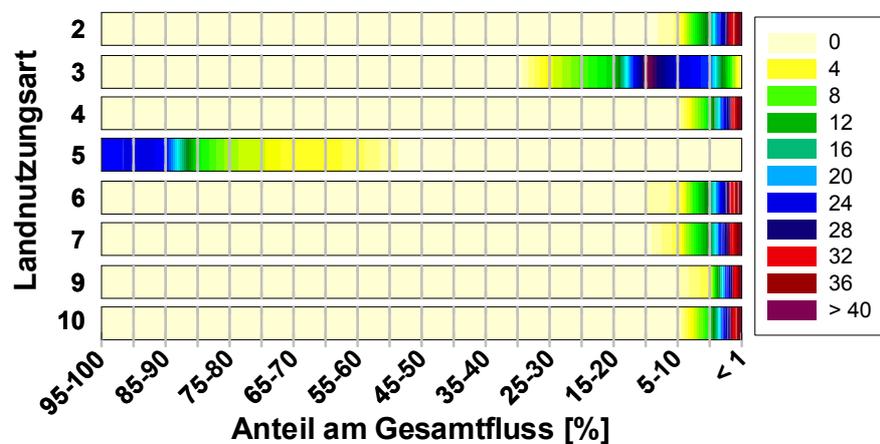


Abbildung 6: Spannweite der Flussanteile [%] für 8 der 10 Landnutzungsarten an der Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 2 gegeben.

Die Zusammenstellung der Spektren der Flussbeiträge der einzelnen Landnutzungsklassen in Abbildung 6 verdeutlicht, dass am Standort Waldstein Weidenbrunnen nur mit signifikanten Flussbeiträgen der Landnutzungsklassen Nadelwald (Klasse 5) und Lichtung (Klasse 3) zu rechnen ist. Die übliche Zusammensetzung liegt bei 75 bis 95 Prozent Nadelwald, und 1 bis 20 Prozent Lichtungen. Die landwirtschaftlichen Klassen Wiese (Klasse 2) und Acker (Klassen 6 und 7) erreichen Flussbeiträge von bis zu 10 Prozent für Einzelmessungen, die übrigen Klassen spielen eine untergeordnete Rolle für die Messungen.

3.2 Ankerstation Tharandter Wald

Die Ankerstation Tharandter Wald (50°57'49'' N, 13°34'01'' E, 375 m ü.NN) wird von der VERTIKO-Gruppe der TU Dresden betreut und befindet sich etwa 15 km südwestlich des Zentrums von Dresden innerhalb eines geschlossenen Waldgebiets von circa 6000 ha Größe. Das Gebiet gehört zu den unteren Lagen der Nordabdachung des Erzgebirges und ist charakterisiert durch überwiegend sanftwellige Geländeformen im Höhenbereich zwischen 350 m und 400 m über NN. Der Standort selbst befindet sich

deformen im Höhenbereich zwischen 350 m und 400 m über NN. Der Standort selbst befindet sich auf einer Hochfläche, umgeben von einem homogenen Fichtenbestand von durchschnittlich etwa 28 m Kronenhöhe. Die Eddy-Kovarianz-Messstation, für welche die im Folgenden vorgestellten Untersuchungen durchgeführt wurden befindet sich am Turm in einer Höhe von 42 m über Grund.

Für die Analyse des Standorts Tharandter Wald wurde ein von der Gruppe TU Dresden bereit gestellter Eddy-Kovarianz Rohdatensatz verwendet, der den Zeitraum 01. Januar bis 14. Mai 2004 umfasst. Die Berechnung der turbulenten Flüsse sowie die Durchführung aller relevanten Korrekturverfahren wurde mit dem an der Universität Bayreuth entwickelten Verfahren durchgeführt. Nach Ausschluss von Fehlwerten verblieben 6193 Halbstundenmittel für die Standortbewertung. Neben diesen meteorologischen Eingabeparametern wurde eine hochaufgelöste Landnutzungskarte zur Verfügung gestellt, welche mit Hilfe von Satellitendaten erstellt worden war. Die Originalmatrix hatte die Dimension 513 x 513 Pixel, was bei einer horizontalen Auflösung von 25 m einer Gesamtfläche von 12825 m x 12825 m entspricht. Insgesamt wurden in dieser Karte 15 Landnutzungsarten unterschieden. Verwendet für die Footprint-Analysen wurde ein Ausschnitt von 301 x 301 Pixel (Abbildung 7).

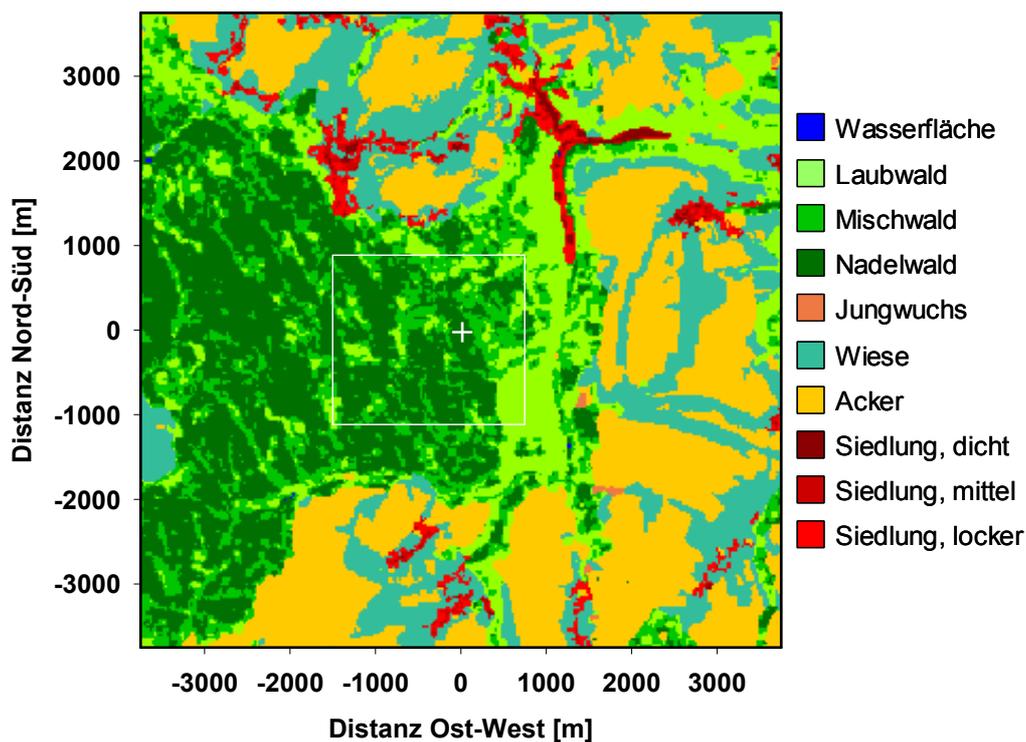


Abbildung 7: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Ankerstation Tharandter Wald. Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen im Zentrum markiert den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf den sich die weiteren Detailabbildungen konzentrieren.

Abbildung 7 enthält noch 10 der ausgewiesenen Landnutzungsarten. Für die Darstellung der weiteren Ergebnisse wurde ein Bereich von 2225 m (Ost-West) x 1975 m (Nord-Süd) ausgewählt. Diese Fläche, welche das Areal mit signifikanten Flussbeiträgen für die Messposition markiert, wurde mit einem

weißen Rahmen gekennzeichnet. Größe und Position des Bereichs entsprechen der Fläche, aus der bei stabiler Schichtung etwa 95 Prozent der gemessenen Flüsse stammen.

Nach dem Muster des für die Station Waldstein Weidenbrunnen beschriebenen Verfahrens wurden auch für die Ankerstation Tharandter Wald akkumulierte Quellgebiete für vier verschiedene atmosphärische Stabilitäten (labil, neutral, stabil, alle) berechnet. Die Ergebnisse (Abbildung 8) konzentrieren sich auf den zentralen Bereich der Landnutzungskarte (weißer Rahmen aus Abbildung 7).

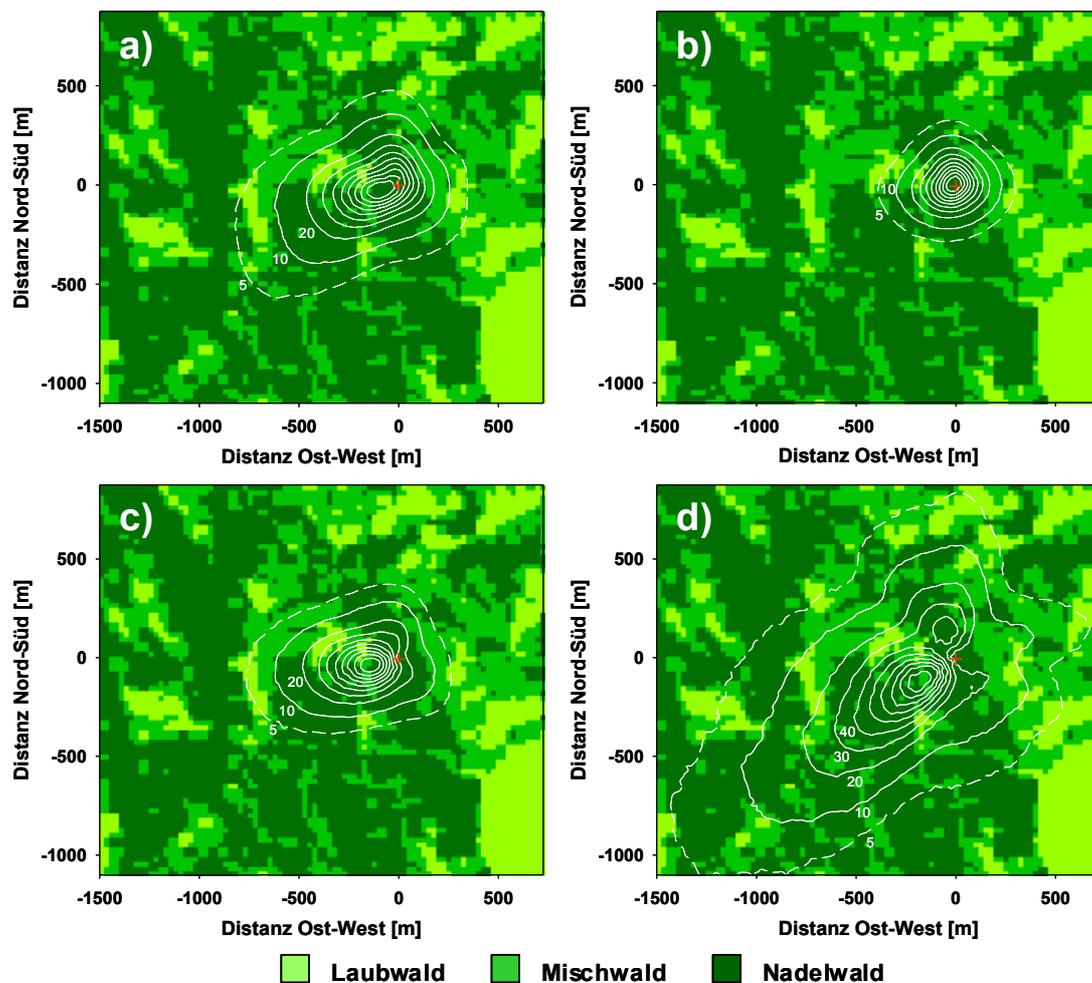


Abbildung 8: Akkumulierte Quellgebiete für den Standort Tharandter Wald, aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben die Position des akkumulierten Quellgebietes an. Detaillierte Angaben dazu werden im Text gegeben.

In Abbildung 8 liegen nur die drei Landnutzungsklassen Laub-, Misch- und Nadelwald vor, so dass anhand der hier zugrunde liegenden Daten im Geländebereich mit signifikantem Einfluss auf die Messungen keine Waldränder mit starken Rauigkeitsstufen vorliegen. Allerdings existieren am Standort Rauigkeitssprünge beim Übergang von Waldbereichen mit unterschiedlicher Vegetationshöhe, die von der Landnutzungskarte nicht aufgelöst werden können. Die ungefähre Größe des signifikanten Bereichs des

akkumulierten Quellgebiets schwankt zwischen 680 m (E-W) x 620 m (N-S) für labile Schichtung (Abb. 8b) und 2050 m x 1950 m für stabile Schichtung (Abb. 8d), für das Mittel aller Schichtungsfälle (Abb. 8a) wurde ein Bereich von 1150 m x 1050 m ausgewiesen. Mit Ausnahme der labilen Fälle befindet sich das akkumulierte Quellgebiet aller in Abbildung 8 dargestellten Fälle im südwestlichen Windrichtungssektor.

Die Analyse räumlicher Strukturen der Datenqualität wurde für den Standort Tharandter Wald für Impulsfluss, fühlbaren und latenten Wärmefluss sowie den CO₂-Fluss durchgeführt (Abbildung 9).

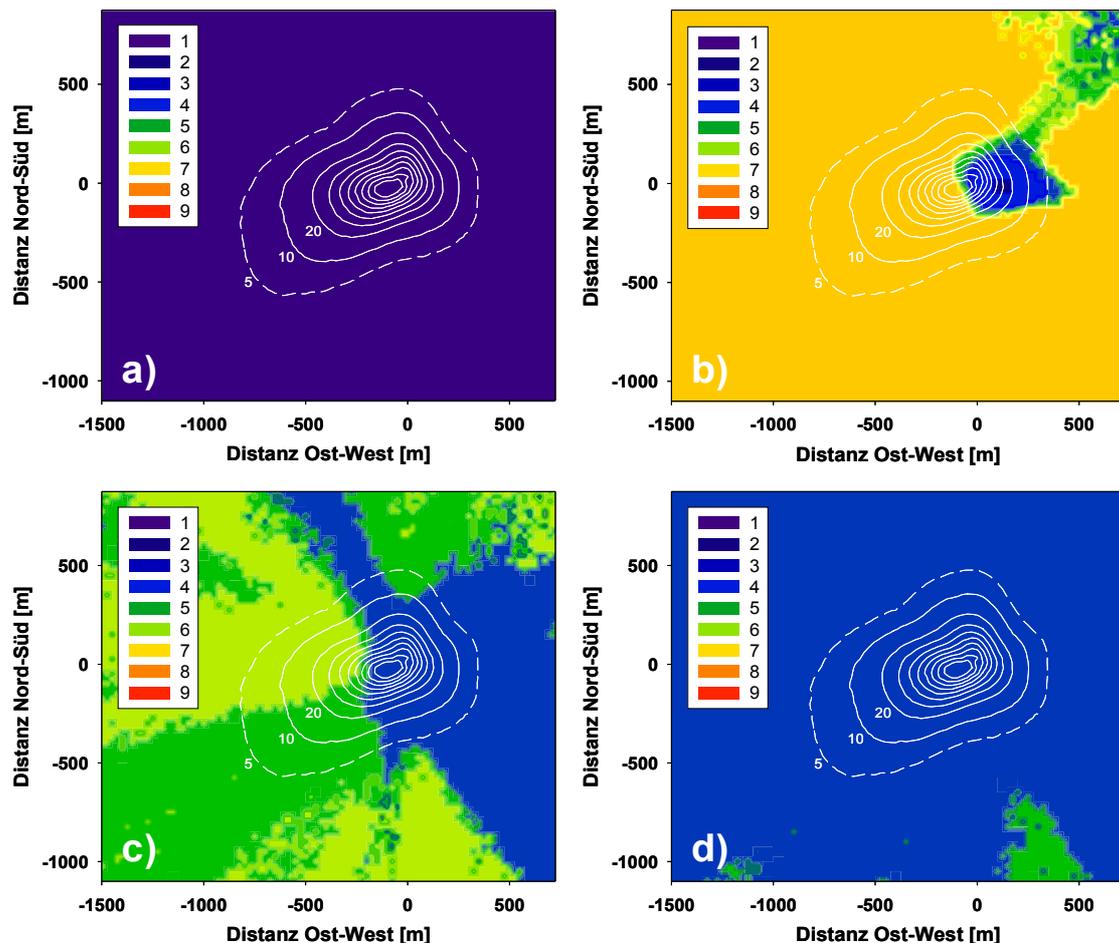


Abbildung 9: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für den Standort Tharandter Wald. Die Bewertungen wurden durchgeführt für a) Impulsfluss, b) fühlbaren Wärmestrom, c) latenten Wärmestrom und d) CO₂-Fluss. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt.

Die in Abbildung 9 für die Station Tharandter Wald zusammen gestellte Übersicht zeigt eine weitgehend hohe Datenqualität für die gemittelten räumlichen Strukturen. Der Impulsfluss (Abb. 9a) weist durchgehend in allen Sektoren die höchste Qualitätsstufe 1 auf, was ein quasi störungsfreies turbulentes Strömungsfeld bedeutet. Die ausgewiesenen Flags für den latenten Wärmestrom (Abb. 9c) und den CO₂-Fluss (Abb. 9d) bewegen sich im Bereich der mittleren Datenqualität 4 bis 6, wobei keine signifikanten räumlichen Strukturen zu erkennen sind. Das mittlere Niveau der Datenqualität ist durch den hier gewähl-

ten Beobachtungszeitraum im Winter reduziert, da unter diesen Bedingungen der Betrieb des eingesetzten closed path Gasanalysators für die Messung der Konzentrationen von H_2O und CO_2 mit deutlichen Schwierigkeiten behaftet ist. Außerdem ist der Anteil der problematischen stabilen Schichtung höher, so dass im Sommer kann hier ein besseres Ergebnis erwartet werden kann. Das Ergebnis für den fühlbaren Wärmestrom (Abb. 9b) weist einen Kernbereich im Bereich der Turmposition und leicht östlich davon mit sehr hoher Datenqualität auf, während der überwiegende Teil der Matrixquadrate mit der niedrigen Stufe 7 geflaggt wird. Dieses Ergebnis ist eine Konsequenz der für die Ausweisung der Qualitätsflags verwendeten integralen Turbulenzcharakteristika für den fühlbaren Wärmestrom. Die Parametrisierung der als Referenz heran gezogenen integralen Turbulenzcharakteristika ist nicht gültig für den im Winter dominierenden neutralen Bereich, so dass hier regelmäßig große Abweichungen zwischen den gemessenen und den modellierten Werten mit dementsprechend schlechter Qualitätsbewertung auftreten (siehe auch Göckede et al., 2004b). Die gute Qualitätsbewertung in der direkten Umgebung der Messposition kommt zustande durch die meist hohe Datenqualität während labiler Schichtung, die diesen Bereich dominiert.

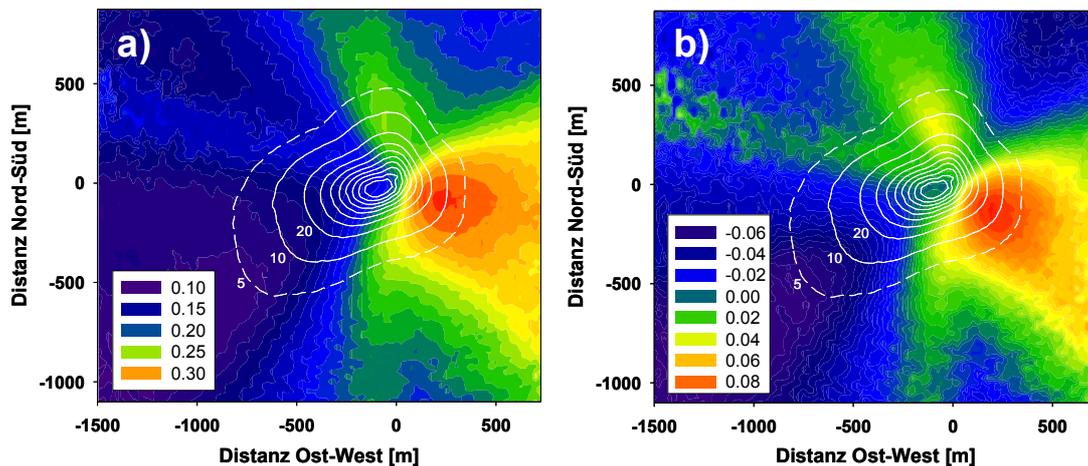


Abbildung 10: Gemittelte vertikale Windkomponente an der Ankerstation Tharandter Wald. Untersucht wurden die räumlichen Strukturen a) der unrotierten vertikalen Windkomponente, und b) der vertikalen Windkomponente nach Anwendung der Planar Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen.

Die Ergebnisse der Bewertung der vertikalen Windkomponente sind für die Ankerstation Tharandter Wald in Abbildung 10 dargestellt. In Abbildung 10a zeigt sich deutlich der Einfluss der Geländestruktur auf das Windfeld im Tharandter Wald. Ohne Anwendung eines Rotationsverfahrens ergeben sich für alle Windsektoren positive gemittelte vertikale Windkomponenten, die bei östlicher Anströmung eine Größenordnung erreichen, welche die Anwendung des Eddy-Kovarianz-Verfahrens zur Bestimmung der Austauschflüsse signifikant beeinträchtigen würde. Wie auch am Standort Waldstein Weidenbrunnen ist eine Koordinatentransformation offensichtlich notwendig. In Abbildung 10b dargestellt ist das vertikale Windfeld nach Anwendung der Planar-Fit Rotation, welches für die weitere Stationsanalyse verwendet wurde.

Die Größenordnung der gemittelten vertikalen Windkomponenten hat sich auch hier im Vergleich zu den unrotierten Daten deutlich reduziert, trotzdem finden sich auch im rotierten Windfeld immer noch die groben Strukturen aus der Bewertung der unrotierten vertikalen Windkomponente wieder. Die durchgehend positive Anströmung aus allen Sektoren (Abbildung 10a) kann mit einer einzigen geneigten Ebene nicht adäquat ausgeglichen werden, so dass hier eine Anwendung der Planar-Fit Rotation aufgeteilt in mehrere Sektoren zu empfehlen wäre. An dieser Stelle muss noch darauf hingewiesen werden dass die Planar-Fit Rotation nur für die hier vorstellte Qualitätsstudie durchgeführt wurde, während die in der VERTIKO-Datenbank zur Verfügung gestellten Daten der Ankerstation Tharandter Wald mit einer 3D-Rotation (z.B. McMillen, 1988) korrigiert wurden.

Tabelle 3: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungsklassen im Quellgebiet für den Standort Tharandter Wald. Die Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungsklasse, während die Spalten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag repräsentieren. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: Wasserfläche; 2: Laubwald; 3: Mischwald; 4: Nadelwald; 5: Jungwuchs; 6: Wiese; 7: Obstanbau; 8: Weinbau; 9: Kleingarten; 10: Ackerfläche; 11: Verkehrsfläche; 12: Brache; 13: Siedlung (dicht); 14: Siedlung (mittel); 15: Siedlung (locker).

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2			1.03	0.15						0.29					
3		2.65		4.84											
4		0.27	90.73							0.02					
5															
6															
7															
8															
9															
10		0.02													
11															
12															
13															
14															
15															

Die Bewertung der Heterogenität der Landnutzungsstruktur für den Standort Tharandter Wald ist in Tabelle 3 sowie Abbildung 11 zusammen gestellt. Tabelle 3 zeigt deutlich die Dominanz der Waldklassen 2 bis 4 im Einzugsgebiet des Messturms im Tharandter Wald. Mit fast 91 Prozent Anteil stammt der überwiegende Teil der Messungen von einer Kombination aus Nadelwald (vorherrschend) und Mischwald. Für weitere etwa 7.5 Prozent aller Fälle ist die vorherrschende Landnutzungsklasse Mischwald, andere Einträge haben nur ein verschwindend geringes Gewicht. Außerhalb der Waldklassen gibt es nur minima-

le Einträge für Landnutzungs-kategorie 10 (Ackerflächen). Für den für diese Analyse verwendeten Messzeitraum lag für keine der Einzelmessungen ein Quellgebiet mit homogener Landnutzungsstruktur vor.

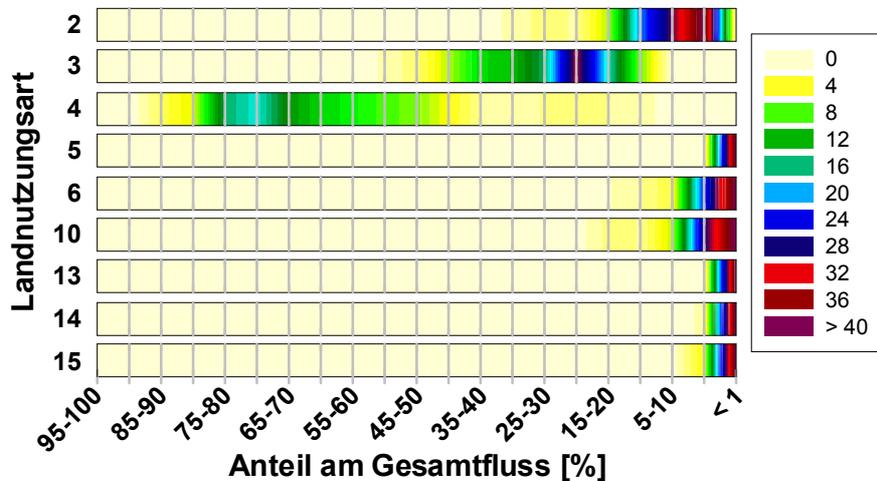


Abbildung 11: Spannwerte der Flussanteile [%] für 9 der 15 Landnutzungsarten an der Station Tharandter Wald. Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 3 gegeben.

Auch Abbildung 11 unterstreicht die Dominanz der Waldklassen 2 bis 4 am Standort Tharandter Wald. Der Hauptanteil für Nadelwald (Klasse 4) entfällt auf den Bereich 50 bis 80 Prozent, mit einem Maximum bei 70 bis 75 Prozent. Die Maxima in den Darstellungen für die übrigen Waldklassen deuten auf eine übliche Landnutzungs-zusammensetzung mit etwa 20 bis 25 Prozent Mischwald (Klasse 3) und 1 bis 5 Prozent Laubwald hin. Alle verbleibenden Landnutzungs-klassen haben einen vorherrschenden Flussanteil von unter einem Prozent, wobei höhere Prozentwerte von bis zu 20 Prozent noch von den Klassen Wiese (Klasse 6) und Ackerflächen (Klasse 10) erreicht werden können.

3.3 Ankerstation Oberbärenburg

Die VERTIKO-Ankerstation Oberbärenburg (50° 47' 12"N, 13° 43' 20"E, 735 m ü.NN) wird von der Gruppe der TU Bergakademie Freiberg betrieben, wobei im Rahmen des VERTIKO-Projekts die Auswertung der mikrometeorologischen Messdaten von der TU Dresden übernommen wurde. Die Station befindet sich innerhalb der Hochlagen des Osterzgebirges, etwa 3 km nordöstlich der Stadt Altenberg auf dem mäßig geneigten Oberhang eines von Südost nach Nordwest verlaufenden Höhenrückens. Sie ist zu allen Seiten von einem etwa 15 m hohen Fichtenbestand umgeben, die nähere Umgebung ist weitgehend frei von landwirtschaftlichen Nutzungsformen. Bezüglich der Messhöhe wurde für diese Untersuchung eine Anpassung vorgenommen. Bis zum Herbst 2003 wurde an dieser Ankerstation in 20 m Höhe über Grund gemessen, so dass der größte Teil der in der VERTIKO-Datenbank vorhandenen Daten für diese Höhe

vorliegt. Allerdings wurden diese Daten nicht als Rohdaten gespeichert, so dass mit ihnen keine Qualitätsstudie durchgeführt werden kann. Die Grundlage der hier vorliegenden Analyse stellen aus diesem Grunde Messungen des neuen Turms, der in unmittelbarer Nähe der alten Messposition mit Instrumenten in 30 m über Grund betrieben wird. Aufgrund des hohen Anteils der Messungen in 20 m Höhe in der VERTIKO-Datenbank wurden die Berechnungen allerdings für den alten Messturm, d.h. mit einer angenommenen Messhöhe von 20 m über Grund, durchgeführt.

Der hier verwendete Datensatz umfasst den Zeitraum 01. Dezember 2003 bis 31. März 2004. Die Datenaufbereitung wurde für insgesamt 5564 30-Minuten-Mittel nach dem an der Universität Bayreuth entwickelten Verfahren von der Gruppe UBT1 durchgeführt. Die Landnutzungskarte für diesen Standort wurde ebenfalls von der Gruppe TUD vorbereitet und hat in ihrer Grundversion die gleichen Charakteristika wie in Abschnitt 3.2 beschrieben. Der zentrale Ausschnitt von 301 x 301 Pixel enthält noch 12 der ursprünglich 15 Landnutzungsklassen (Abbildung 12). Der Bereich mit signifikantem Beitrag zu den Flussmessungen hat aufgrund der vergleichsweise niedrigen effektiven Messhöhe kleinere Dimensionen als am Standort Tharandter Wald. Trotz der Ausweitung des Definitionskriteriums auf jene Fläche, die bei stabiler Schichtung 98 Prozent des gemessenen Flusses abdeckt, hat das in Abbildung 12 mit dem weißen Rahmen gekennzeichnete Rechteck nur eine Ausdehnung von 675 m (Ost-West) x 1100 m (Nord-Süd).

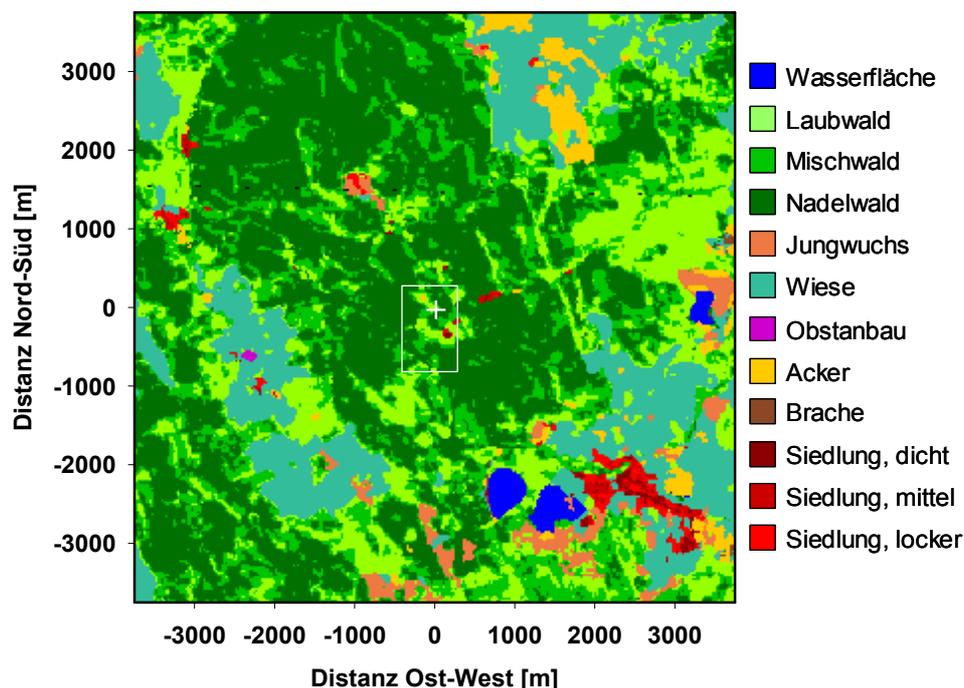


Abbildung 12: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Ankerstation Oberbärenburg. Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen im Zentrum zeigt den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf den sich die folgenden Detailabbildungen konzentrieren.

Die Berechnung der akkumulierten Quellgebiete erfolgte analog zu dem Verfahren, welches auch für die weiter oben beschriebenen Standorte angewendet wurde (Abbildung 13). Trotz der geringen Fläche

des betrachteten Gebiets sind 8 Landnutzungsklassen präsent, wobei der Hauptanteil des Gebiets auf die 3 Waldklassen entfällt. Jedoch steuern sowohl die beiden Siedlungsgebiete im Südosten des Mastes als auch die kleine Ackerfläche im Nordwesten bei entsprechender Windrichtung signifikante Flussanteile bei. Die Größe des vom akkumulierten Quellgebiet abgedeckten Areals liegt für die Station Oberbärenburg zwischen 320 m (Ost-West) x 370 m (Nord-Süd) im labilen (Abb. 13b) und 430 m x 650 m im stabilen Fall (Abb. 13d). Für die Mittelung des vollständigen Datensatzes beträgt die Größe etwa 350 m x 420 m. Die Position des akkumulierten Quellgebiets zeigt einen hohen Anteil von östlicher Anströmung unter labiler Schichtung, für alle anderen dargestellten Fälle liegt das Maximum im Süden der Messposition.

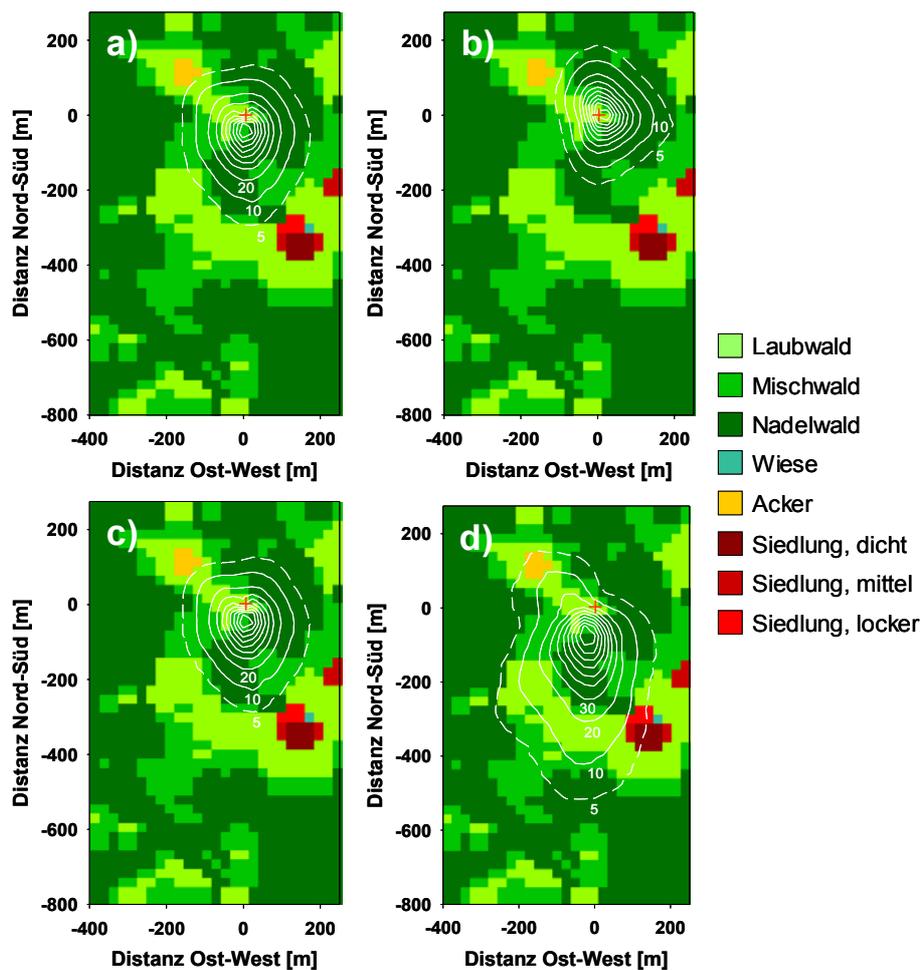


Abbildung 13: Akkumulierte Quellgebiete für den Standort Oberbärenburg, aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben das akkumulierte Quellgebiet an.

Die Analyse der räumlichen Strukturen der Datenqualität konnte für den Standort Oberbärenburg nur für die Parameter Impulsfluss und fühlbarer Wärmestrom durchgeführt werden, da keine Messdaten für den latenten Wärmestrom und den CO₂-Fluss vorlagen. Abbildung 14 zeigt die Karten der mittleren Datenqualität in Kombination mit dem akkumulierten Quellgebiet für alle Schichtungen.

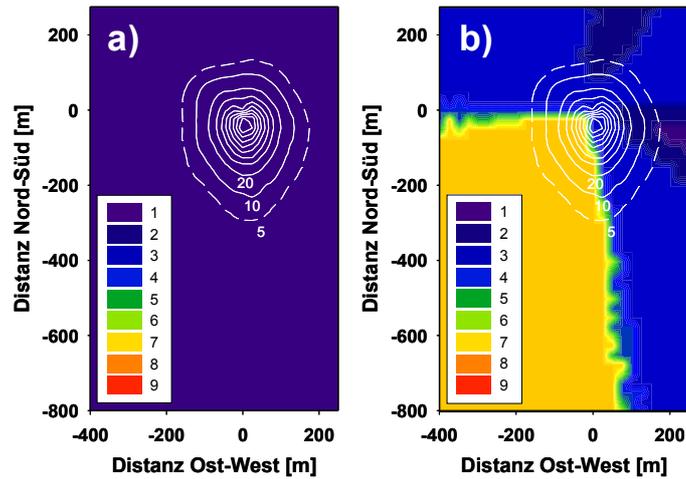


Abbildung 14: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für den Standort Oberbärenburg für a) Impulsfluss und b) fühlbaren Wärmestrom. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt.

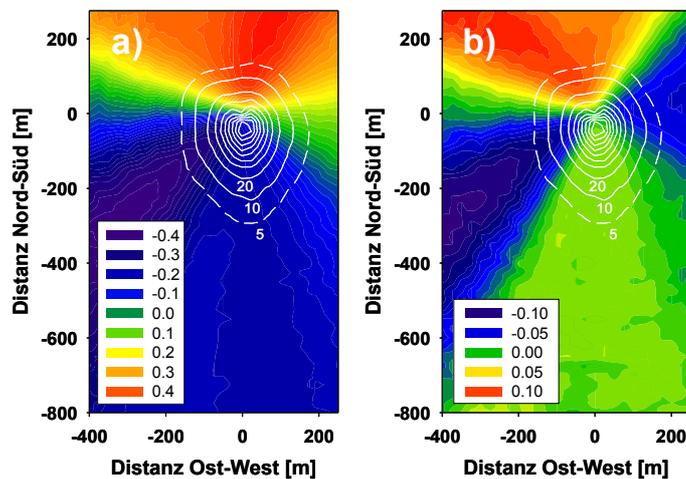


Abbildung 15: Gemittelte vertikale Windkomponente an der Station Oberbärenburg für a) der unrotierten vertikalen Windkomponente, und b) der vertikalen Windkomponente nach Anwendung der Planar-Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen.

Für Oberbärenburg zeigen die räumlichen Strukturen der Datenqualität das gleiche Bild wie an den in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Stationen. Für den Impulsfluss liegt durchgehend die höchste Qualitätsstufe 1 vor (Abb. 14a), was darauf hindeutet, dass die Rauigkeitssprünge an den Ackerflächen und Siedlungen in der Umgebung des Masts keinen signifikanten Einfluss auf die mittlere Datenqualität haben. Für den fühlbaren Wärmestrom (Abb. 14b) ergeben sich zwei grundlegend voneinander abweichende Qualitätsbereiche, mit schlechter Datenqualität (Stufe 7) im südwestlichen Sektor, und sehr hoher Qualität (Stufe 2 bis 3) in den übrigen Sektoren. Die Erklärung für diese Strukturen liegt in der stabilitätsabhängigen Bewertung der integralen Turbulenzcharakteristika für den fühlbaren Wärmestrom. Die hier vorliegenden Sektoren entstehen durch die individuelle Ausrichtung der akkumulierten Quellgebiete in den jeweiligen Stabilitätsklassen (Abbildung 13). Demnach liegt die höchste Datenqualität östlich

des Masts vor, wo das Maximum für die labilen Fälle liegt, während die schlechte Datenqualität im südwestlichen Sektor zusammen fällt mit der Lage des stabilen Quellgebiets.

Die Ergebnisse zur Analyse der mittleren vertikalen Windkomponente sind im Abbildung 15 zusammen gestellt. Am Standort Oberbärenburg liegt eine deutliche mittlere Neigung des unrotierten mittleren Strömungsfeldes vor, so dass eine Koordinatenrotation vor Anwendung der Eddy-Kovarianz Berechnungen erforderlich ist (Abb. 15a). Das Windfeld scheint hier eine einheitliche Neigung zu haben, mit stark positiven vertikalen Windkomponenten im Norden, und entsprechend negativen Messungen im Süden, wobei die absoluten Werte jeweils bis zu 0.4 m s^{-1} erreichen. Diese Neigung kann durch Anwendung der Planar-Fit Korrektur deutlich verbessert werden (Abb. 15b), allerdings verbleiben mittlere Absolutwerte von bis zu 0.1 m s^{-1} in einigen Sektoren, so dass eine Differenzierung in mehrere Windsektoren das Ergebnis verbessern könnte. Wie schon für die Station Tharandter Wald sind auch die Daten aus Oberbärenburg, welche in der VERTIKO-Datenbank zur Verfügung stehen, mit einer 3D-Rotation korrigiert worden, die hier verwendete Planar-Fit Koordinatenrotation wurde nur für die Qualitätsanalyse eingesetzt.

Tabelle 4: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungsklassen im Quellgebiet für den Standort Oberbärenburg. Zeilen stehen für die dominierende Landnutzungsklasse, Spalten für die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: Wasserfläche; 2: Laubwald; 3: Mischwald; 4: Nadelwald; 5: Jungwuchs; 6: Wiese; 7: Obstanbau; 8: Weinbau; 9: Kleingarten; 10: Ackerfläche; 11: Verkehrsfläche; 12: Brache; 13: Siedlung (dicht); 14: Siedlung (mittel); 15: Siedlung (locker).

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2			2.64	4.64											
3		0.18		12.81											
4		4.35	75.34			0.04									
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															

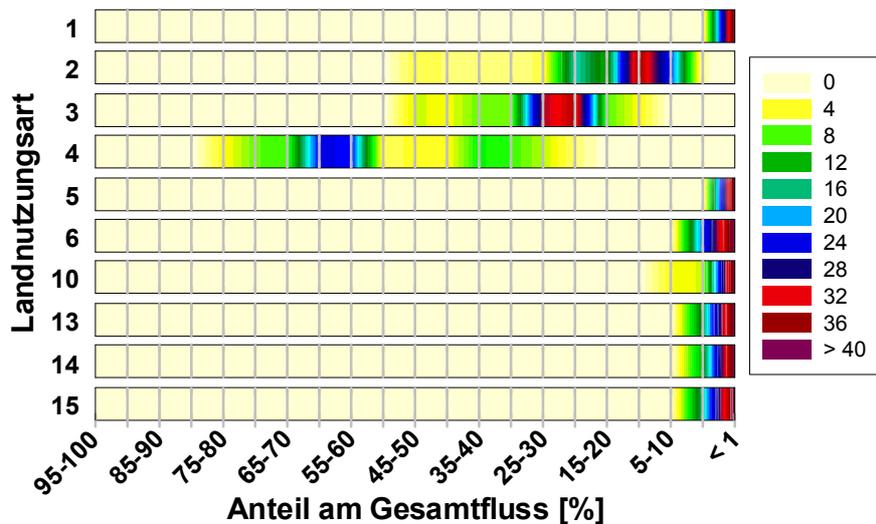


Abbildung 16: Spannwerte der Flussanteile [%] für 10 der 15 Landnutzungsarten an der Station Oberbärenburg. Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 4 gegeben.

Die Untersuchung der Heterogenität der Landnutzungsstruktur am Standort Oberbärenburg ist in Tabelle 4 beziehungsweise Abbildung 16 zusammen gestellt. Die Zusammenstellung der dominanten Landnutzungspaare in Tabelle 4 ergibt für den Standort Oberbärenburg ein ähnliches Bild wie für die Ankerstation Tharandter Wald. Es existieren nahezu ausschließlich Einträge für die Waldklassen 2 bis 4, in lediglich 0.04 Prozent aller Fälle zählt auch die Klasse Wiesen zu den beiden dominierenden Landnutzungsklassen. Die vorherrschende Kombination mit etwa 75 Prozent aller Fälle ist wiederum Nadelwald mit Mischwald, in etwa 11 Prozent ist allerdings auch der Laubwald an den Einträgen beteiligt. Auch an dieser Ankerstation lagen keine Messungen mit homogenem Einzugsgebiet vor. Diese Charakterisierung wird weiter unterstrichen durch die prozentualen Spannweiten der Flussanteile der einzelnen Landnutzungsklassen (Abbildung 16). Flussanteile über 10 Prozent liegen nur für die 3 Waldklassen vor. Eine typische Zusammensetzung der dominanten Klassen liegt demnach bei 50 bis 75 Prozent Nadelwald (Klasse 4), 15 bis 40 Prozent Mischwald (Klasse 3), und 5 bis 25 Prozent Laubwald. Landwirtschaftliche Nutzungsarten (v.a. Klassen 6 und 10) spielen an der Ankerstation Oberbärenburg eine eher untergeordnete Rolle, während der Einfluss von Siedlungsflächen mit maximal 5 Prozent zwar gering, aber im Vergleich zum Standort Tharandter Wald doch deutlich erhöht ist.

3.4 Ankerstation Lindenberg (Wald)

Die Ankerstation Lindenberg (Wald) (52°10'54'' N, 13°57'09'' E, 49 m ü.NN) gehört zu den Messeinrichtungen des Meteorologischen Observatoriums Lindenberg des Deutschen Wetterdienstes, und wurde im Rahmen des VERTIKO-Projekts von der Gruppe DWD1 betrieben. Der Messturm befindet sich etwa

5 km südwestlich der Ortschaft Wendisch-Rietz innerhalb eines ausgedehnten Kiefernwalds mit einer mittleren Bestandeshöhe von etwa 14 m. Dieser Standort ist eingebettet in eine heterogene Landnutzungsstruktur mit leicht gewellter Orographie, welche von den Inlandgletschern der letzten Eiszeit geprägt wurde (z.B. Beyrich et al., 2002). Die Messhöhe des Eddy-Kovarianz-Komplexes am Turm beträgt 30.55 m.

Der erste von der Gruppe DWD1 bereit gestellte Datensatz, welcher hauptsächlich für die Standortanalyse verwendet wurde, umfasst den Zeitraum 19. Mai bis 17. Juni 2003. Die turbulenten Austauschströme wurden berechnet aus 10-Minuten-Werten der Mittel, Varianzen und Kovarianzen, wobei Koordinatentransformation, Korrekturen und Qualitätsprüfungen mit dem Verfahren der Gruppe UBT1 durchgeführt wurden. Insgesamt wurden 1416 Halbstundenmittel für die Standortanalyse verwendet. Ein zweiter Datensatz aus dem Zeitraum Dezember 2002 bis Februar 2003 für die Analyse des Vertikalwinds umfasste 3887 Halbstundenmittel, wobei in diesem Falle turbulente Rohdaten für die Berechnungen vorlagen. Die Landnutzungskarte mit einer Dimension von 199 x 199 Pixel erfasst bei einer Auflösung von 96.53 m eine Gesamtfläche von 19209.5 m x 19209.5 m. Der ursprüngliche Datensatz, welcher zwischen insgesamt 36 Landnutzungsklassen differenzierte, wurde für die Untersuchung auf 7 Klassen vereinfacht. Die Darstellung der Ergebnisse der Standortanalyse konzentriert sich im Weiteren auf den in Abbildung 17 mit dem weißen Rahmen gekennzeichneten Bereich von 2016 m (Ost-West) x 1824 m (Nord-Süd).

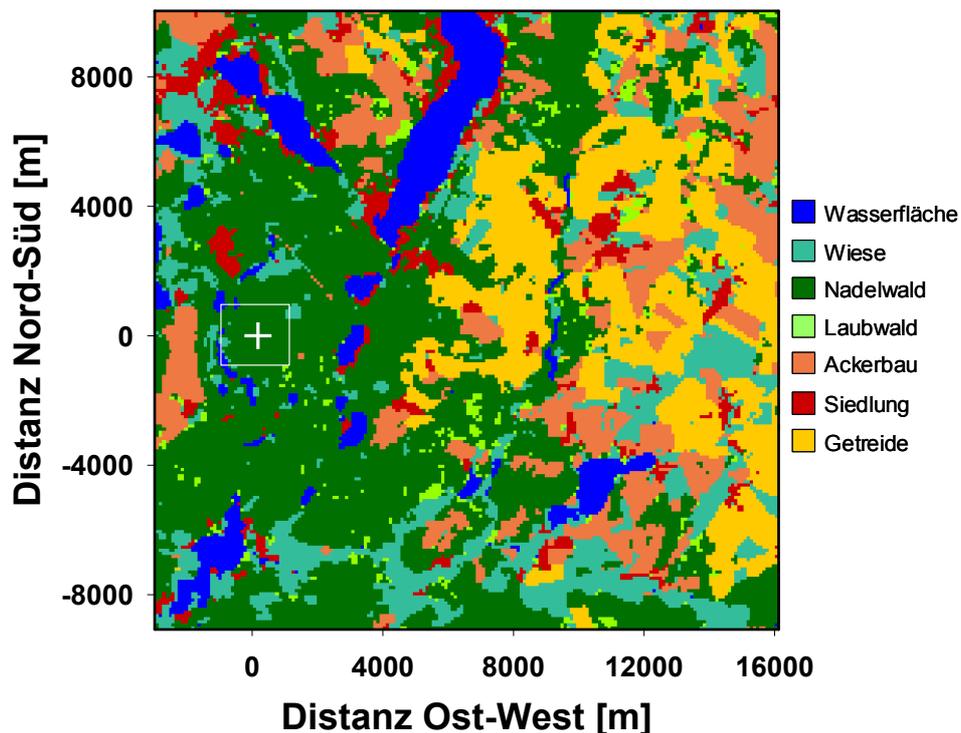


Abbildung 17: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Ankerstation Lindenberg (Wald). Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen markiert den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf welchen sich die folgenden Detailabbildungen konzentrieren.

Das akkumulierte Quellgebiet für den Beobachtungszeitraum wurde für 4 Stabilitätsklassen berechnet (Abbildung 18). Der gezeigte Ausschnitt des Kartengebiets besteht fast ausschließlich aus Nadelwald, lediglich an den Rändern treten auch die Klassen Wiese und Wasserflächen auf. Durch diese Anordnung besteht das akkumulierte Quellgebiet selbst unter stabiler Schichtung (Abb. 18d) hauptsächlich aus Waldflächen. Die Größe der jeweiligen Quellgebiete variiert im Falle der Ankerstation Lindenberg (Wald) zwischen 450 m (Ost-West) x 400 m (Nord-Süd) im labilen Fall (Abb. 18b) und 1220 m x 1220 m im stabilen Fall (Abb. 18d). Im Mittel aller betrachteten Messungen ergab sich eine Fläche von etwa 600 m x 550 m (Abb. 18a), für welche sich, wie auch für die labilen Schichtungen, das Maximum des akkumulierten Quellgebiets genau auf die Turmposition konzentriert. Für neutrale Schichtung dominieren die westlichen Anströmungen, während der Schwerpunkt für die stabilen Fälle im östlichen Sektor liegt.

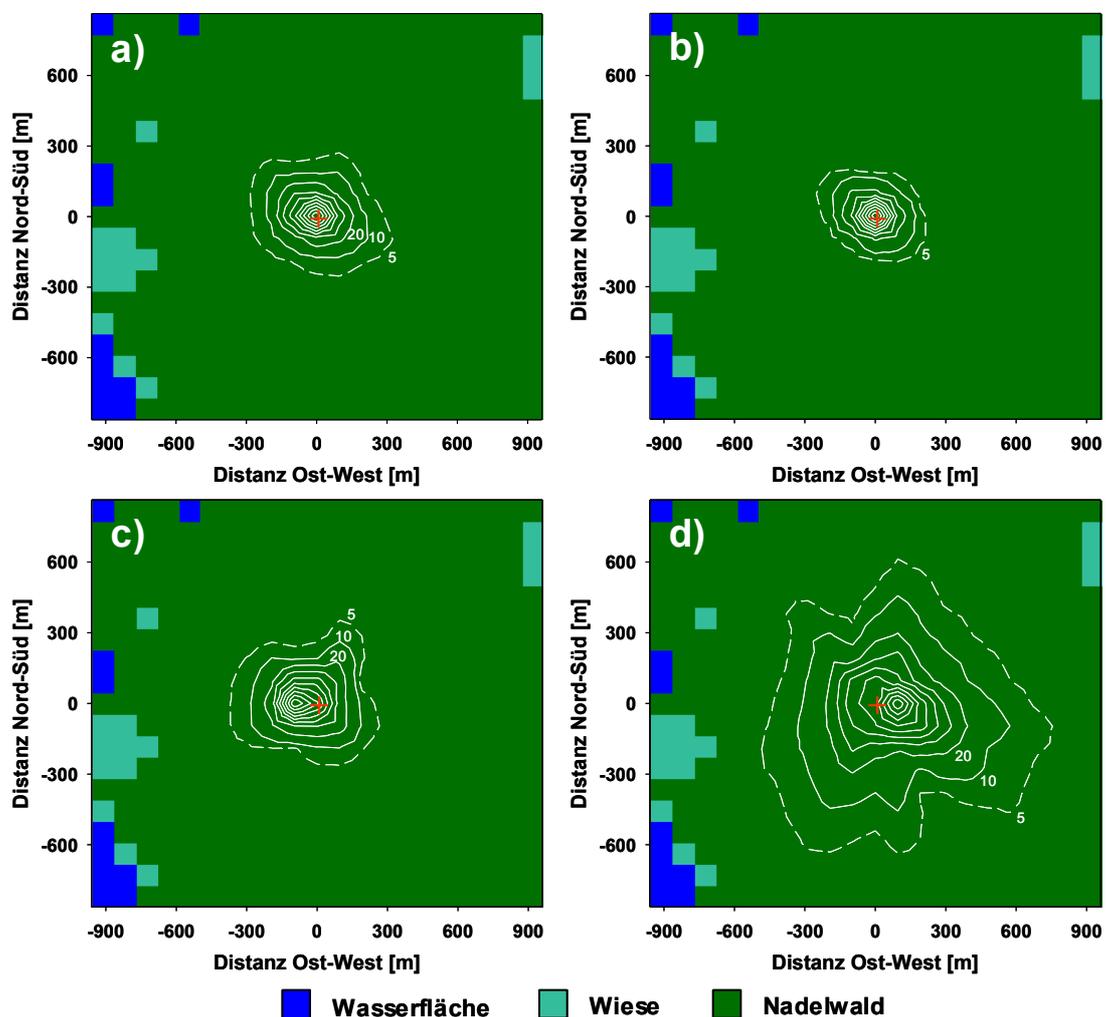


Abbildung 18: Akkumulierte Quellgebiete für die Ankerstation Lindenberg (Wald), aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben die Position des akkumulierten Quellgebietes an. Detaillierte Angaben dazu im Text.

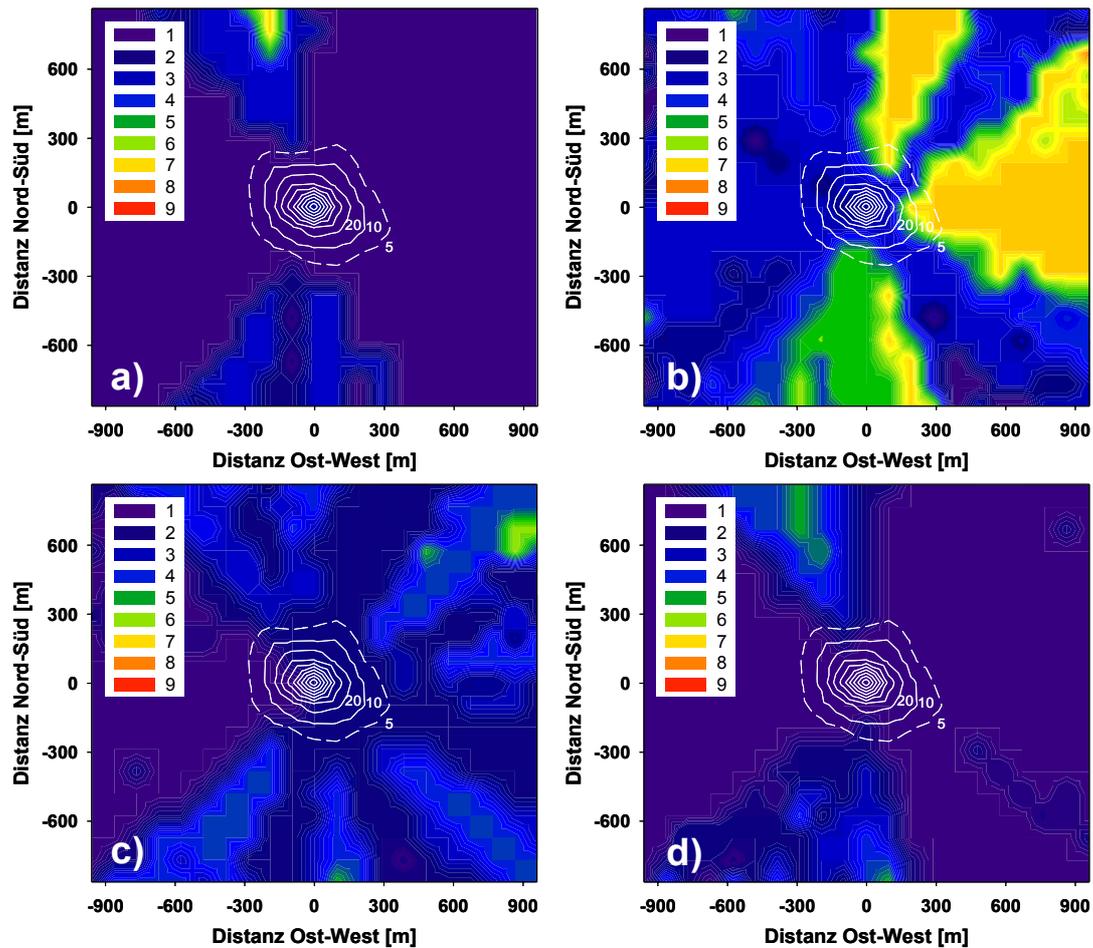


Abbildung 19: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für die Ankerstation Lindenberg (Wald). Die Bewertungen wurden durchgeführt für a) Impulsfluss, b) fühlbaren Wärmestrom, c) latenten Wärmestrom und d) CO₂-Fluss. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt.

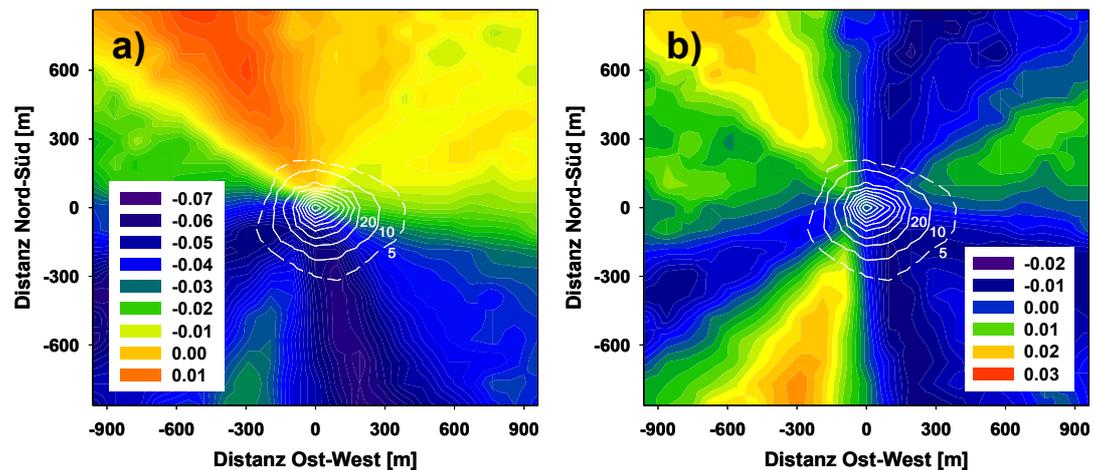


Abbildung 20: Gemittelte vertikale Windkomponenten an der Ankerstation Lindenberg (Wald): a) unrotierte vertikale Windkomponente, b) vertikale Windkomponente nach Anwendung der Planar Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen. Die Ergebnisse wurden mit einem zweiten Datensatz aus dem Winter 2002/2003 erstellt. Weitere Angaben dazu im Text.

Die Analyse der räumlichen Strukturen der Datenqualität wurde für die Ankerstation Lindenberg (Wald) für die vier Parameter Impulsfluss, fühlbarer und latenter Wärmestrom sowie CO₂-Fluss durchgeführt (Abbildung 19). Die gezeigten Ergebnisse weisen durchgehend ausgeprägte räumliche Strukturen in der mittleren Datenqualität auf. Allerdings lassen sich diese Resultate nur sehr eingeschränkt mit den aus der Landnutzungskarte hervorgehenden Geländeeigenschaften interpretieren. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse muss allerdings berücksichtigt werden, dass der verwendete Datensatz einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum abdeckt. Daher können einige der gefundenen Strukturen auch entstanden sein, weil in einem Sektor nur wenige Daten vorliegen, so dass das Ergebnis von Einzelmessungen geprägt wird. Für den Impulsfluss (Abb. 19a) zeigt sich beispielsweise ein schmaler Sektor nordwestlich der Messposition mit deutlich reduzierter Datenqualität, der auf diesen Effekt zurück zu führen sein könnte. Für den fühlbaren Wärmestrom (Abb. 19b) zeigt sich auch hier wie für die anderen Stationen ein Wechsel zwischen Bereichen mit sehr hoher Qualität (Stufen 1 bis 3) und eher niedriger Qualität (Stufe 7), wobei die hohe räumliche Differenzierung zwischen diesen Sektoren allerdings darauf schließen lässt, dass neben Effekten der Stabilität der Schichtung auch Geländeeigenschaften eine Ursache dafür sind, welche nicht von der Landnutzungskarte aufgelöst werden. Im Falle des latenten Wärmestroms (Abb. 19c) lassen sich einige der ausgewiesenen Sektoren mit reduzierter Datenqualität, beispielsweise im Nordwesten, Südwesten und Süden der Messposition, nahegelegenen größeren Wasserflächen in diesen Windrichtungen zuordnen, welche die Stationarität der Messungen beeinträchtigen können. Für die östlich des Turms gelegenen Sektoren sind in der Landnutzungskarte allerdings keine derartigen Heterogenitäten eingezeichnet, so dass auch hier als Ursache die geringe Datengrundlage oder aber nicht auf der Karte erfasste, störende Geländeelemente in Frage kommen. Für die Beurteilung des CO₂-Flusses (Abb. 19d) ergeben sich keine signifikant unterschiedlichen Sektoren, welche sich durch Geländestrukturen erklären lassen.

Abbildung 20 enthält eine Bewertung der vertikalen Windkomponente für die Ankerstation Lindenberg (Wald). Diese Untersuchung wurde mit einem zweiten vom DWD bereit gestellten Datensatz durchgeführt, da für den ersten Beobachtungszeitraum keine unrotierten vertikalen Windkomponenten vorlagen. Aus diesem Grund unterscheiden sich die in Abbildung 20 gezeigten akkumulierten Quellgebiete, welche ebenfalls mit den Daten aus dem Winter 2002/2003 berechnet wurden, leicht von den in den vorhergehenden Abbildungen präsentierten Ergebnissen. Es zeigt sich dass das vergleichsweise ebene Gelände an der Ankerstation Lindenberg (Wald) das vertikale Windfeld nicht signifikant beeinträchtigt. Die mittlere Abweichung des unrotierten Vertikalwinds (Abb. 20a) ist mit maximal -0.07 m s^{-1} geringer als an anderen der hier untersuchten Stationen nach der Koordinatenrotation. Allerdings kann auch für diesen Standort die Neigung des Windfeldes mit Hilfe der Planar-Fit Rotation weiter verbessert werden, wie die geringen Restbeträge in Abbildung 20b verdeutlichen.

Die Ergebnisse der Untersuchung der Heterogenität der Landnutzungsstruktur am Standort Lindenberg (Wald) sind in Tabelle 5 sowie Abbildung 21 zusammen gestellt.

Tabelle 5: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungsklassen im Quellgebiet für die Station Lindenberg (Wald). Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungsklasse, während die Spalten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag angeben. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: Wasserfläche; 2: Wiese; 3: Nadelwald; 4: Laubwald; 5: Ackerland; 6: Siedlung; 7: Getreide.

Klasse	1	2	3	4	5	6	7
1							
2							
3	3.69	5.49	85.21	0.35	4.63	0.63	
4							
5							
6							
7							

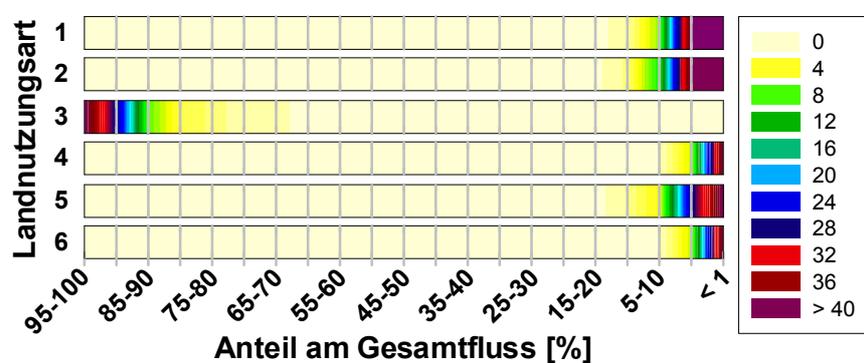


Abbildung 21: Spannweite der Flussanteile [%] für 6 der 7 Landnutzungsarten an der Ankerstation Lindenberg (Wald). Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 5 gegeben.

Sowohl Tabelle 5 als auch Abbildung 21 unterstreichen die Dominanz des Nadelwalds für die Messungen am Standort Lindenberg (Wald). Für alle Messungen war der Nadelwald (Klasse 3) die dominante Landnutzungsart (Tabelle 5), wobei ein Anteil von 85 Prozent auf Quellgebiete, die nahezu homogen aus Nadelwald bestehen, entfiel. Weitere signifikante Beiträge als jeweils zweitgrößte Quelle für die gemessenen Flüsse gab es lediglich für Wasserflächen (Klasse 1), Wiesen (Klasse 2) und Ackerland (Klasse 5). Der Flussanteil des Nadelwalds fiel niemals unter 65 Prozent und lag für den Großteil der Messungen zwischen 90 und 100 Prozent (Abbildung 21). Weitere signifikante Flussbeiträge von bis zu 15 Prozent für Einzelfälle wurden lediglich von den Klassen Wasserflächen, Wiesen und Ackerland beigesteuert.

3.5 Ankerstation Melpitz

Die Ankerstation Melpitz wird im Rahmen des VERTIKO-Projekts von der Gruppe IfT betreut. Die dortige Forschungsstation des Instituts für Troposphärenforschung Leipzig befindet sich im Urstromtal der

Elbe in der Nähe von Torgau, etwa 41 km nordöstlich von Leipzig (51°31' N, 12°55' E, 86 m ü.NN). Das Messfeld ist eine flache, etwa 100 Jahre alte Wiese umgeben von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die begutachtete Messposition ist der Mast für Profilmessungen, welcher sich von Westen aus gesehen als zweiter einer Reihe von 4 Messmasten in etwa im Zentrum der nördlichen Hälfte der Messfläche befindet. Die Messungen am Mast werden im Profil in 8 Höhen über Grund durchgeführt, wobei im Rahmen dieser Untersuchung lediglich die obersten 4 Messhöhen (11.69 m, 7.89 m, 5.32 m, 2.42 m) bewertet wurden.

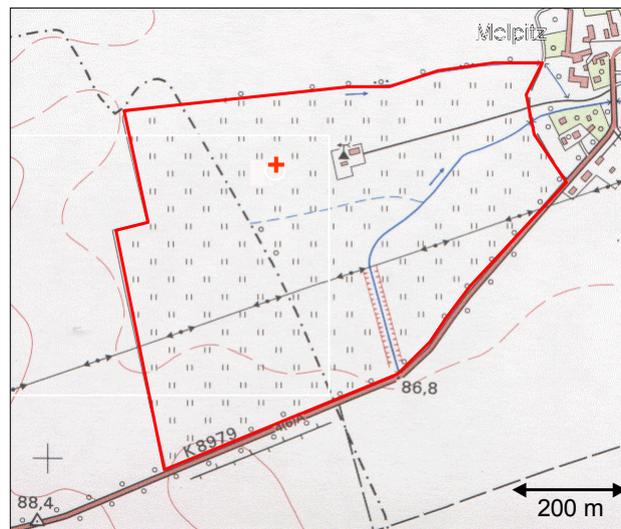


Abbildung 22: Skizze der Ankerstation Melpitz. Die Grenzen des Messfelds sind mit dem roten Rahmen nachgezeichnet, die hier bewertete Messposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet.

Die Bewertung dieser Ankerstation musste aus mehreren Gründen im Vergleich zu den in den vorhergehenden Abschnitten vorgestellten Analysen stark vereinfacht werden. Zum einen existiert auf dem Messfeld Melpitz kein Eddy-Kovarianz-Messkomplex, für den die Rohdaten aufgezeichnet werden. Da diese jedoch eine Grundvoraussetzung sind zur Bestimmung von Qualitätsflags für die Messungen oder auch für die Durchführung der Planar-Fit Koordinatenrotation, konnte in diesem Fall keine Qualitätsbeurteilung der gemessenen Flüsse vorgenommen werden. Zudem handelt es sich bei der Ankerstation Melpitz um einen Wiesenstandort mit einer sehr einfachen Landnutzungsstruktur in der Umgebung des Messfelds und vergleichsweise kleinen Quellgebieten der Flüsse durch die geringen Messhöhen. Aus diesen Gründen wurde hier lediglich eine Untersuchung der Flussanteile der Wiese unter verschiedenen Anströmbedingungen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde die Messfläche (Abbildung 22) transformiert in eine diskrete Matrix mit einer horizontalen Auflösung von 2 m, welche lediglich unterscheidet zwischen dem Messfeld als Zielfläche und anderen Landnutzungen. Mit Hilfe dieser Landnutzungsmatrix wurden die prozentualen Flussanteile bestimmt für die 4 oben genannten Messhöhen, 12 Windrichtungssektoren und 3 Stabilitätsklassen. Zudem wurde die Höhe der internen Grenzschicht für die betrachteten Sektoren abgeschätzt. Diese ist abhängig von der Länge der homogenen Anströmstrecke (Formel 1, nach Raabe, 1983).

$$\delta = 0.3 \cdot \sqrt{x} \quad (1)$$

x ist die Länge der homogenen Anströmstrecke [m], und δ die berechnete Höhe der internen Grenzschicht [m]. Die Ergebnisse aller durchgeführten Untersuchungen sind in Tabelle 6 zusammen gestellt.

Tabelle 6: Flussanteile der Messfläche an der Ankerstation Melpitz. x : Länge der homogenen Anströmstrecke [m]; δ : berechnete Höhe der internen Grenzschicht [m]. Die Flussanteile des Messfelds wurden für 4 unterschiedliche Messhöhen und 3 Stabilitätsklassen berechnet und sind jeweils in Prozent angegeben.

Windrichtung	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
x [m]	126	160	359	107	398	417	456	432	310	243	209	136
δ [m]	3.4	3.8	5.7	3.1	6.0	6.1	6.4	6.2	5.3	4.7	4.3	3.5
	Flussanteile Messfeld [%], Messhöhe = 11.69 m											
stabil	28	40	98	19	100	100	100	100	100	83	64	29
neutral	60	73	100	45	100	100	100	100	100	99	89	65
labil	79	89	100	66	100	100	100	100	100	100	98	81
	Flussanteile Messfeld [%], Messhöhe = 7.89 m											
stabil	38	54	99	31	100	100	100	100	100	86	74	43
neutral	65	80	100	62	100	100	100	100	100	100	93	73
labil	84	91	100	75	100	100	100	100	100	100	99	85
	Flussanteile Messfeld [%], Messhöhe = 5.32 m											
stabil	65	75	100	57	100	100	100	100	100	93	87	69
neutral	81	87	100	73	100	100	100	100	100	100	95	82
labil	90	94	100	84	100	100	100	100	100	100	100	92
	Flussanteile Messfeld [%], Messhöhe = 2.42 m											
stabil	81	86	100	77	100	100	100	100	100	95	89	83
neutral	92	96	100	91	100	100	100	100	100	100	99	93
labil	99	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 6 zeigt, dass an der bewerteten Messposition nur in den südlichen Windrichtungssektoren (120 – 240°) mit einer ungestörten Anströmung und entsprechend homogenem Quellgebiet zu rechnen ist. Besonders beeinträchtigt sind vor allem der östliche Sektor (90°) durch nahegelegene, zur Messstation gehörenden Gebäude, sowie die nördlichen Sektoren (330 – 30°) durch die kurze Distanz zur dortigen Ackergränze. Im Allgemeinen ist der prozentuale Flussanteil der Messfläche sehr hoch, so dass mit Ausnahme weniger Beispiele unter stabiler Schichtung zumeist der Hauptanteil des Flusses von der Wiese emittiert wird.

4 Literaturverzeichnis

Baldocchi, D. D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Fuentes, J. D., Goldstein, A., Katul, G., Law, B. E., Lee, X., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, J. W., Oechel, W., Pilegaard, K., Schmid, H. P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., and Wofsy, S.: 2001, 'FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapour and energy flux densities', *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 82, 2415-2435.

Beyrich, F., Herzog, H. J., and Neisser, J.: 2002, 'The LITFASS project of DWD and the LITFASS-98 experiment: The project strategy and the experimental setup', *Theor. Appl. Climatol.* 73, 3-18.

Foken, T., and Wichura, B.: 1996, 'Tools for quality assessment of surface-based flux measurements', *Agric. For. Meteorol.* 78, 83-105.

Foken, T.: 2003, *Angewandte Meteorologie, Mikrometeorologische Methoden*, Springer, Berlin, Heidelberg, 289 pp.

Foken, T., Göckede, M., Mauder, M., Mahrt, L., Amiro, B. D., and Munger, J. W.: 2004, 'Post-field data quality control', in X. Lee, W. J. Massman and B. E. Law (ed.), *Handbook of Micrometeorology: A guide for Surface Flux Measurements*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 81-108.

Göckede, M., Markkanen, T., Hasager, C. B., and Foken, T.: 2004a, 'Use of footprint modelling for the characterisation of complex measurement sites', *Boundary-Layer Meteorol.*, (submitted).

Göckede, M., Rebmann, C., and Foken, T.: 2004b, 'A combination of quality assessment tools for eddy covariance measurements with footprint modelling for the characterisation of complex sites', *Agric. For. Meteorol.*, (in print).

Hasager, C. B., and Jensen, N. O.: 1999, 'Surface-flux aggregation in heterogeneous terrain', *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 125, 2075-2102.

Hasager, C. B., Nielsen, N. W., Jensen, N. O., Boegh, E., Christensen, J. H., Dellwik, E., and Soegaard, H.: 2003, 'Effective roughness calculated from satellite-derived land cover maps and hedge-information used in a weather forecasting model', *Boundary-Layer Meteorol.* 109, 227-254.

Kaimal, J. C., and Finnigan, J. J.: 1994, *Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement*, Oxford University Press, New York, 289 pp.

McMillen, R. T.: 1988, 'An Eddy Correlation Technique with Extended Applicability to Non-Simple Terrain', *Boundary-Layer Meteorol.* 43, 231-245.

Raabe, A.: 1983, 'On the relation between the drag coefficient and fetch above the sea in the case of offshore wind in the near shore zone', *Z. Meteorol.* 33, 363-367.

Rannik, Ü., Markkanen, T., Raittila, J., Hari, P., and Vesala, T.: 2003, 'Turbulence statistics inside and over forest: Influence on footprint prediction', *Boundary-Layer Meteorol.* 109, 163-189.

Rebmann, C., Göckede, M., Foken, T., Aubinet, M., Aurela, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Carrara, A., Cescatti, A., Ceulemans, R., Clement, R., Elbers, J. A., Granier, A., Grünwald, T., Guyon, D., Havránková, K., Heinesch, B., Knohl, A., Laurila, T., Longdoz, B., Marcolla, B., Markkanen, T., Miglietta, F., Moncrieff, J. B., Montagnani, L., Moors, E., Nardino, M., Ourcival, J.-M., Rambal, S., Rannik, Ü., Rotenberg, E., Sedlak, P., Unterhuber, G., and Vesala, T.: 2004, 'Quality analysis applied on eddy

covariance measurements at complex forest sites using footprint modelling', *Theor. Appl. Climatol.* , (in print).

Reithmaier, L., Göckede, M., Markkanen, T., Knohl, A., Churkina, G., Rebmann, C., Buchmann, N., and Foken, T.: 2004, 'Remote sensing methods for the evaluation of complex micrometeorological flux measurement sites', *Theor. Appl. Climatol.* , (submitted).

Reynolds, A. M.: 1998, 'A two-dimensional Lagrangian stochastic dispersion model for convective boundary layers with wind shear', *Boundary-Layer Meteorol.* 86, 345-352.

Schmid, H. P., and Oke, T. R.: 1988, 'Estimating the source area of a turbulent flux measurement over a patchy surface', in *8th Symposium on Turbulents and Diffusion*, Boston, MA, American Meteorological Society, pp. 123-126.

Schmid, H. P.: 1994, 'Source areas for scalars and scalar fluxes', *Boundary-Layer Meteorol.* 67, 293-318.

Schmid, H. P.: 1997, 'Experimental design for flux measurements: matching scales of observations and fluxes', *Agric. For. Meteorol.* 87, 179-200.

Schmid, H. P.: 2002, 'Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: a review and perspective', *Agric. For. Meteorol.* 113, 159-183.

Thomson, D. J.: 1987, 'Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows', *J. Fluid Mech.* 180, 529-556.

Wilczak, J. M., Oncley, S. P., and Stage, S. A.: 2001, 'Sonic anemometer tilt correction algorithms', *Boundary-Layer Meteorol.* 99, 127-150.

Wilson, J. D., and Sawford, B. L.: 1996, 'Review of Lagrangian stochastic models for trajectories in the turbulent atmosphere', *Boundary-Layer Meteorol.* 78, 191-210.

5 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Beispiel-Darstellung der Spannweite der Flussanteile [%] für 4 Landnutzungsarten. Die Farben geben die relative Häufigkeit der Flussanteil-Klassen für jede Landnutzungsart an. 8
- Abbildung 2: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen im Zentrum markiert den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf welchen sich die folgenden Detailabbildungen konzentrieren. 9
- Abbildung 3: Akkumulierte Quellgebiete für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen, aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben die Position des akkumulierten Quellgebietes an. Detaillierte Angaben dazu werden im Text gegeben. 10
- Abbildung 4: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Die Bewertungen wurden durchgeführt für a) Impulsfluss, b) fühlbaren Wärmestrom, c) latenten Wärmestrom und d) CO₂-Fluss. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt. 12

- Abbildung 5: Gemittelte vertikale Windkomponente an der Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Untersucht wurden die räumlichen Strukturen a) der unrotierten vertikalen Windkomponente und b) der vertikalen Windkomponente nach Anwendung der Planar-Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen. 12
- Abbildung 6: Spannweite der Flussanteile [%] für 8 der 10 Landnutzungsarten an der Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 2 gegeben. 14
- Abbildung 7: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Ankerstation Tharandter Wald. Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen im Zentrum markiert den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf den sich die weiteren Detailabbildungen konzentrieren. 15
- Abbildung 8: Akkumulierte Quellgebiete für den Standort Tharandter Wald, aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben die Position des akkumulierten Quellgebietes an. Detaillierte Angaben dazu werden im Text gegeben. 16
- Abbildung 9: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für den Standort Tharandter Wald. Die Bewertungen wurden durchgeführt für a) Impulsfluss, b) fühlbaren Wärmestrom, c) latenten Wärmestrom und d) CO₂-Fluss. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt. 17
- Abbildung 10: Gemittelte vertikale Windkomponente an der Ankerstation Tharandter Wald. Untersucht wurden die räumlichen Strukturen a) der unrotierten vertikalen Windkomponente, und b) der vertikalen Windkomponente nach Anwendung der Planar Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen. 18
- Abbildung 11: Spannweite der Flussanteile [%] für 9 der 15 Landnutzungsarten an der Station Tharandter Wald. Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 3 gegeben. 20
- Abbildung 12: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Ankerstation Oberbärenburg. Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen im Zentrum zeigt den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf den sich die folgenden Detailabbildungen konzentrieren. 21
- Abbildung 13: Akkumulierte Quellgebiete für den Standort Oberbärenburg, aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben das akkumulierte Quellgebiet an. 22
- Abbildung 14: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für den Standort Oberbärenburg für a) Impulsfluss und b) fühlbaren Wärmestrom. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt. 23
- Abbildung 15: Gemittelte vertikale Windkomponente an der Station Oberbärenburg für a) der unrotierten vertikalen Windkomponente, und b) der vertikalen Windkomponente nach Anwendung der Planar-Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den

jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen.	23
Abbildung 16: Spannweite der Flussanteile [%] für 10 der 15 Landnutzungsarten an der Station Oberbärenburg. Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 4 gegeben.	25
Abbildung 17: Landnutzungskarte für die Standortbewertung der Ankerstation Lindenberg (Wald). Die Turmposition ist mit einem weißen Kreuz gekennzeichnet. Der weiße Rahmen markiert den Bereich mit signifikantem Flussbeitrag zu den Messungen, auf welchen sich die folgenden Detailabbildungen konzentrieren.	26
Abbildung 18: Akkumulierte Quellgebiete für die Ankerstation Lindenberg (Wald), aufgeteilt nach a) alle Schichtungen, b) labile Schichtungen, c) neutrale Schichtungen, und d) stabile Schichtungen. Die Turmposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet, die weißen Isolinien geben die Position des akkumulierten Quellgebietes an. Detaillierte Angaben dazu im Text.	27
Abbildung 19: Ergebnisse der räumlichen Datenqualität für die Ankerstation Lindenberg (Wald). Die Bewertungen wurden durchgeführt für a) Impulsfluss, b) fühlbaren Wärmestrom, c) latenten Wärmestrom und d) CO ₂ -Fluss. Zur Identifikation des für die Messungen signifikanten Einflussbereichs wurde das akkumulierte Quellgebiet für alle Schichtungsfälle (weiße Isolinien) eingefügt.	28
Abbildung 20: Gemittelte vertikale Windkomponenten an der Ankerstation Lindenberg (Wald): a) unrotierte vertikale Windkomponente, b) vertikale Windkomponente nach Anwendung der Planar Fit Koordinatenrotation. Zur detaillierteren Darstellung der Ergebnisse wurde der Maßstab an den jeweiligen Datenbereich angepasst, so dass gleiche Farben in den Abbildungen a) und b) nicht gleichen Werten entsprechen. Die Ergebnisse wurden mit einem zweiten Datensatz aus dem Winter 2002/2003 erstellt. Weitere Angaben dazu im Text.	28
Abbildung 21: Spannweite der Flussanteile [%] für 6 der 7 Landnutzungsarten an der Ankerstation Lindenberg (Wald). Farben repräsentieren die Häufigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen. Landnutzungsarten, bei denen für alle Einzelmessungen ein Flussanteil von < 1 Prozent des Gesamtflusses vorlag, wurden für die Darstellung nicht berücksichtigt. Eine Beschreibung der den Codes zugeordneten Landnutzungsarten wird in der Überschrift zu Tabelle 5 gegeben.	30
Abbildung 22: Skizze der Ankerstation Melpitz. Die Grenzen des Messfelds sind mit dem roten Rahmen nachgezeichnet, die hier bewertete Messposition ist mit dem roten Kreuz gekennzeichnet.	31

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel einer Übersichtstabelle der dominanten Kombinationspaare für vier Landnutzungs-klassen. Die Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungs-klasse, während die Spal-ten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag angeben. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%].	7
Tabelle 2: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungs-klassen im Quellgebiet für die Teststation Waldstein Weidenbrunnen. Die Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungs-klasse, während die Spalten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag repräsentieren. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: größere Wasserfläche (See); 2: Wie-se; 3: Lichtung; 4: Siedlung; 5: Nadelwald; 6: Ackerbau, Sommergetreide; 7: Ackerbau, Winter-getreide; 8: kleinere Wasserfläche (Teich); 9: Steinbruch; 10: keine Daten.	13

Tabelle 3: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungsklassen im Quellgebiet für den Standort Tharandter Wald. Die Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungsklasse, während die Spalten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag repräsentieren. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: Wasserfläche; 2: Laubwald; 3: Mischwald; 4: Nadelwald; 5: Jungwuchs; 6: Wiese; 7: Obstanbau; 8: Weinbau; 9: Kleingarten; 10: Ackerfläche; 11: Verkehrsfläche; 12: Brache; 13: Siedlung (dicht); 14: Siedlung (mittel); 15: Siedlung (locker).
 19

Tabelle 4: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungsklassen im Quellgebiet für den Standort Oberbärenburg. Zeilen stehen für die dominierende Landnutzungsklasse, Spalten für die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: Wasserfläche; 2: Laubwald; 3: Mischwald; 4: Nadelwald; 5: Jungwuchs; 6: Wiese; 7: Obstanbau; 8: Weinbau; 9: Kleingarten; 10: Ackerfläche; 11: Verkehrsfläche; 12: Brache; 13: Siedlung (dicht); 14: Siedlung (mittel); 15: Siedlung (locker)..... 24

Tabelle 5: Dominante Kombinationspaare der Landnutzungsklassen im Quellgebiet für die Station Lindenberg (Wald). Zeilen stehen für die jeweils dominierende Landnutzungsklasse, während die Spalten die Klasse mit dem zweithöchsten Flussbeitrag angeben. Die Zahlen geben die Häufigkeit der jeweiligen Kombination an [%]. 1: Wasserfläche; 2: Wiese; 3: Nadelwald; 4: Laubwald; 5: Ackerland; 6: Siedlung; 7: Getreide..... 30

Tabelle 6: Flussanteile der Messfläche an der Ankerstation Melpitz. x : Länge der homogenen Anrömsstrecke [m]; δ : berechnete Höhe der internen Grenzschicht [m]. Die Flussanteile des Messfelds wurden für 4 unterschiedliche Messhöhen und 3 Stabilitätsklassen berechnet und sind jeweils in Prozent angegeben. 32

Bisher erschienene Arbeiten der Reihe , Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie'

Nr	Name	Titel	Datum
01	Foken	Der Bayreuther Turbulenzknecht	01/99
02	Foken	Methode zur Bestimmung der trockenen Deposition von Bor	02/99
03	Liu	Error analysis of the modified Bowen ratio method	02/99
04	Foken et al.	Nachtfrostgefährdung des ÖBG	03/99
05	Hierteis	Dokumentation des Experimentes Dlouha Louka	03/99
06	Mangold	Dokumentation des Experiments am Standort Weidenbrunnen, Juli/August 1998	07/99
07	Heinz, Handorf, Foken	Strukturanalyse der atmosphärischen Turbulenz mittels Wavelet-Verfahren zur Bestimmung von Austauschprozessen über dem antarktischen Schelfeis	07/99
08	Foken	Comparison of the sonic Anemometer Young Model 81000 during VOITEX-99	10/99
09	Foken et al.	Lufthygienisch-Bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales, Zwischenbericht 1999	11/99
10	Sodemann	Stationsdatenbank zum BStMLU-Projekt Lufthygienisch-Bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales	03/00
11	Neuner	Dokumentation zur Erstellung der meteorologischen Eingabedateien für das Modell BEKLIMA	10/00
12	Foken et al.	Dokumentation des Experimentes VOITEX-99	12/00
13	Bruckmeier et al.	Documentation of the experiment EBEX-2000, July 20 to August 24, 2000	01/01
14	Foken et al.	Lufthygienisch-Bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales	02/01

15	Göckede	Die Verwendung des footprint-Modells nach SCHMID (1997) zur stabilitätsabhängigen Bestimmung der Rauigkeitslänge	03/01
16	Neuner	Berechnung der Evapotranspiration im ÖBG (Universität Bayreuth) mit dem SVAT-Modell BEKLIMA	05/01
17	Sodemann	Dokumentation der Software zur Bearbeitung der FINTUREX-Daten	08/02
18	Göckede et al.	Dokumentation des Experiments STINHO-1	08/02
19	Göckede et al.	Dokumentation des Experiments STINHO-2	12/02
20	Göckede et al.	Characterisation of a complex measuring site for flux measurements	12/02
21	Liebenthal	Strahlungsmessgerätevergleich während des Experimentes STINHO_1	01/03
22	Mauder et al.	Dokumentation des Experiments EVA_GRIPS	03/03
23	Mauder et al.	Dokumentation des Experimentes Litfass-2003 Dokumentation des Experimentes GRASTATEM-2003	12/03
24	Thomas et al.	Documentation of WALDATEM-2003 Experiment	05/04
26	Göckede et al.	Qualitätsbegutachtung komplexer mikrometeorologischer Messstationen im Rahmen des VERTIKO-Projekts	11/04