



UNIVERSITÄT BAYREUTH

Abt. Mikrometeorologie

Der Bayreuther Turbulenzknecht

Thomas Foken

Arbeitsergebnisse

Nr. 01

Bayreuth, Februar 1999

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.

1. Einleitung

Der **Bayreuther Turbulenzknecht** kann auf eine etwa 10jährige Geschichte zurückblicken, die im wesentlichen an den Meteorologischen Observatorien in Potsdam und Lindenberg (Meteorologischer Dienst der DDR bzw. ab 1990 Deutscher Wetterdienst) geschrieben wurde. Ein erstes automatisiertes Turbulenzdatenbearbeitungsprogramm entstand während des Grenzschichtexperimentes 'Bohunice 1989' (Zelený und Foken, 1991) für den 'Heimcomputer KC 87'. Das erste PC lauffähige Programm entstand dann im Rahmen des Experimentes 'TARTEX-90' (Foken, 1991). Dieses Programmpaket **UNIMESS** (Autor: Foken) erlaubte es erstmals, während der Messungen sofort Fehlerprotokolle auszugeben, die eine Kontrolle der Messungen unmittelbar gestatteten, denn bei mehr als 64 Meßkanälen war eine visuelle Überprüfung nicht mehr möglich. Wesentliche Methoden der Fehlererkennung sind bei Foken (1990) beschrieben, die ohne Kenntnis voneinander in ähnlicher Weise auch bei Kaimal (1990) vorgeschlagen wurden. Dabei handelt es sich um Tests, die weitgehend mit allen Parametern durchgeführt werden und solche, denen nur einzelne Parameter unterzogen werden. Mit dem in den Jahren 1991-92 erfolgten Übergang zum Tabellenkalkulationsprogramm LOTUS als Datenbanksystem wurde schrittweise dieses Fehlerprotokoll zu einem System der Qualitätssicherung und -kontrolle der Meßdaten (QA/QC) ausgebaut, indem ein Arbeitsblatt von LOTUS eine derartige Information enthielt. In den Folgejahren fand das Fehlererkennungsprogramm im Datenerfassungsprogramm mit einer Sofortinformation Anwendung als auch in dem durch Wichura (1993) weiterentwickelten Bearbeitungsprogramm **Turbulenzknecht** (Dateiname **ETKNECHT** in Anlehnung an den ehemaligen Abteilungsnamen Experimentelle Turbulenzforschung) mit der Erstellung einer Qualitätskennziffer für Standardausgabedaten (Foken, 1993, Foken und Wichura, 1993). Das verwendete QA/QC-Konzept wurde erstmals durch Foken und Wichura (1994) auf einer internationalen Tagung vorgestellt und ebenfalls durch Foken und Wichura (1996) publiziert. Weitere Verbesserungen erfuhr das Programm in den Jahren 1996/97 am Meteorologischen Observatorium Lindenberg, indem die Qualitätskontrolle aktuellen Ergebnissen angepaßt wurde (Foken et al., 1997) und ein zusammengefaßter Ausgabedatenfile und der QA/QC-File durch ein Zusatzprogramm verbunden wurden.

Mit dem Wechsel des Programmautors an die Universität Bayreuth wurde das Programmpaket unter der veränderten Bezeichnung **Bayreuther Turbulenzknecht** (Dateiname **UBKNECHT**) in den Grundzügen für die Turbulenzdatenbearbeitung übernommen. Verändert wurde der sehr starke Bezug auf den Turbulenzmeßkomplex des Meteorologischen Observatoriums Lindenberg mit seinen drei Ultraschallanemometern vom Typ Kaijo-Denki DAT 310/A. Es wurde an eine Programmvariante angeknüpft, die bereits 1994 beim NOPEX-Experiment zur Qualitätsüberprüfung eingesetzt wurde (Foken, 1996) und sich dadurch auszeichnete, so daß der **Bayreuther Turbulenzknecht** ein von der Meßgerätekonfiguration unabhängiges Bearbeitungsprogramm ist. Durch ein für NOPEX bereits entwickeltes Zusatzprogramm erfolgt die individuelle Anpassung an das Meßexperiment, wobei in der jetzigen Variante das

Zusatzprogramm einen Konfigurationsfile für den **Bayreuther Turbulenzknecht** liefert. Beibehalten wurde die Bearbeitung der Turbulenzdaten ohne zusätzliche Korrekturen (Koordinatendrehung, spektrale Korrektur, Webb-Korrektur), um einen Standarddatenfile zu erhalten, der unabhängig von den teilweise umstrittenen Korrekturen ausgegeben wird. Eine Koordinatendrehung könnte prinzipiell im Zusatzprogramm erfolgen, während die anderen Korrekturen nach der Bearbeitung noch möglich sind. Das Schwergewicht wurde auf das QA/QC-Modul gelegt mit einer quasi real-time Kontrolle und einen unmittelbar ausgegebenen File mit der Verknüpfung von Meßdaten und Qualitätskennungen. Weiterhin wurde die bisherige DOS-Variante in ein unter WINDOWS lauffähiges Programm umgestellt. Verbesserungen sind auch in Zukunft nicht ausgeschlossen, so daß diese Schrift ggf. in ergänzter Form wieder herausgegeben wird.

2. Programmstruktur

2.1. Zusatzprogramm zur Datenaufbereitung

Das Zusatzprogramm (s. Anlage) dient dem Einlesen des Datenfiles des Turbulenzmeßgerätes, welches kontinuierlich über mehrere Stunden mißt. Nach Vorgabe der Anfangszeit, wird diese automatisch gesucht und ab diesem Zeitpunkt mit der Ausgabe von 5-Minuten-Dateien begonnen. Diese Dateien enthalten Summen aus den Einzelmessungen, Quadraten und Produkten (bei 20 Hz Abtastung der Turbulenzsignale: $N = 6000$), wobei die zur Kovarianzbildung vorgesehenen Kanalnummern i und j festgelegt werden müssen und im Zusatzprogramm fest einzugeben sind:

$$\sum_{k=1}^N x_{ik} \quad \sum_{k=1}^N x_{ik}^2 \quad \sum_{k=1}^N x_{ik} \cdot x_{jk} \quad (1)$$

Mit diesen drei Größen lassen sich Mittelwerte, Standardabweichungen und Kovarianzen berechnen. Das Programm analysiert gegenwärtig die vom Ultraschallanemometer (CSAT3) und vom Hygrometer (KH20) ausgegebenen Fehlercodes. Bis zu einer vorgebbaren Zahl von n Fehlerwerten (z. Z. $n = 100$) erfolgt die Berechnung mit einem gegenüber den 6000 Meßwerten reduzierten Datensatz, wobei die Anzahl der benutzten Messungen im Datenfile mit den Summenwerten gemäß (1) übergeben wird. Übersteigt die Fehlerzahl des KH20 die zulässige Grenze, die des CSAT3 jedoch nicht, so erfolgt keine Ausgabe des Feuchtekanals.

Die Kanalzahl ist gegenwärtig auf 20 festgelegt, wobei 10 verschiedene Kovarianzen gebildet werden können. Die Position der einzelnen Kanäle ist teilweise durch das CSAT3 vorgegeben bzw. kann frei gewählt werden. Die Kanäle erhalten eine Kennung aus zwei Buchstaben, die ebenfalls teilweise vorgegeben ist, da darauf der **Bayreuther**

Turbulenzkreuz zurückgreift. Die Kanalbelegungen einschließlich Kennungen sind in Tab. 1 angegeben.

Tab. 1: Festlegung der Kanalzuordnung und der Kanalnamen (fett: Zuordnung muß eingehalten werden)

Kanalnummer	Kanalname	Bezeichnung
n=1	UY	Windkomponente normal zu UX [m/s]
n=2	UX	Windkomponente in zentraler Anströmrichtung des Ultraschallanemometers [m/s]
n=3	UW	vertikale Windkomponente [m/s]
n=4	TA	akustische Temperatur [°C]
n=5+i	EE	Dampfdruck schneller Feuchtesensor (i=1), fehlender Sensor (i=0) [hPa]
n=5+i	VH	horizontale Windkomponente, berechnet aus UX und UY [m/s]
n=6+i	PH	Windrichtung, berechnet aus UX und UY und vorgegebener Orientierung des Gerätes [°]
n=(7+i)*j	TP	Temperatur eines schnellen Temperaturfühlers (j=1), fehlender Sensor (j=0) [K]
n=7+i+j 20	TT	Temperatur eines langsamen Temperaturfühlers (Pt 100) [°C]
	RH	relative Luftfeuchte eines langsamen Feuchtefühlers [%]
	EH	Dampfdruck bestimmt aus TT und RH [hPa]
	PP	aktueller Luftdruck eines Barogebbers [hPa]
	IX	Inklinometerneigung in UX-Richtung [°]
	IY	Inklinometerneigung in UY-Richtung [°]
	AB	beliebiges Kanalsymbol

Das Zusatzprogramm gibt pro Meßtag (ZTT: s. Tab. 2) einen Kanalbelegungsfile aus, der die Zahl der Meßkanäle und der Kovarianzkanäle, die Kanalzuordnungen für die Kovarianzbildung und die Kanalbezeichnungen enthält. Über vorhandene Fehler und Datenselektionen gibt ein Protokollfile pro Meßtag Auskunft. Jeweils für 5 Minuten wird ein Datenfile ausgegeben, der die in Formel (1) angegebenen Summen enthält und die Zahl der benutzten Meßwerte. Die Bezugszeiten sind im Dateinamen enthalten (Tab. 2).

Zu beachten ist, daß bei der Bearbeitung des Zusatzprogrammes die Ausrichtung des Anemometers in ° eingegeben werden muß. Es ist zu empfehlen, daß bei einer Veränderung der Ausrichtung möglichst mit einem neuen Datensatz beim Auslesen des Loggers begonnen werden sollte. Gegenwärtig enthält das Programm auch die Berechnung der lateralen Windkomponente bezogen auf VH. Alle Kalibrierwerte müssen im Zusatzprogramm vereinbart werden.

Tab. 2: Festlegung der File-Namen

Name/Symbol	Erläuterung
XZTTSSMM.dat	Datenfile
XZTTtext.txt	File mit Kanalinformationen
XZTTprot.pro	Protokoll über Fehlwerte
X	Buchstabe, der experimentabhängig vergeben wird und im Zusatzprogramm zu vereinbaren ist
Z	Ziffer für Monat (Jan.-Sept.), Okt. ='A', Nov. ='B', Dez. ='C'
TT	Tag
SS	Stunde
MM	Minute (nur 00,05,10,...,55 zulässig)

2.2. Der Bayreuther Turbulenzknecht

Das Programm ist voll menügesteuert und ermöglicht sowohl die Ausgabe berechneter Daten in Mittelungsintervallen von 5 bis 60 Minuten auf Bildschirm, Drucker oder in einen Datenfile als auch eine Qualitätskontrolle der Daten (s. 3.). Beibehalten wurde vom ~~Turbulenzknecht~~ die Möglichkeit, die Berechnung von 30-Minuten-Mittelwerten durchzuführen, wobei die Minuten 25-30 bzw. 55-00 nicht in die Auswertung einbezogen werden. Diese Variante ist sinnvoll, wenn häufige Wartungs- oder Kalibrie-

Tab. 3: Programmteile des ~~Bayreuther Turbulenzknechtes~~ im Vergleich zum ~~Turbulenzknecht~~

Programmname		Inhalt
Bayreuther Turbulenzknecht	Turbulenzknecht	
<i>UBKNECHT</i>	<i>ETKNECHT</i>	Haupt- und Steuerprogramm
DAT_MEAN	DAT_MEAN	Mittelwertbildung
<i>DATCSAT</i>	<i>DATMTOOL,</i> <i>DATNOPEX,</i> <i>DATLINEX</i>	Dateneinlesen und Vorbereitung
DATQAC	DATQAC	Fehlerausgabe
GRPHTOOL	GRPHTOOL	Grafikprogramme
MENUES	MENUES	Menüs
MGRUNDAT	MGRUNDAT	Bearbeitung der Eingabeparameter
OUT	OUT	File-Ausgabe
OUTDATEI	OUTDATEI	Dateiausgabe
OUTPRINT	OUTPRINT	Druckausgabe
OUTQAC	OUTQAC	QA/QC-Ausgabe
-	<i>OUTSTAND</i>	Standardfileausgabe
OUTVIDEO	OUTVIDEO	Bildschirmausgabe
QACFEHLE	QACFEHLE	QA/QC-Programm
FGRAPH.FD FGRAPH.FI GRAPHICS.LIB LLIBFOR7.LIB	FGRAPH.FD FGRAPH.FI GRAPHICS.LIB LLIBFOR7.LIB	notwendige Bibliotheksprogramme in der DOS-Version
MODERN.FON ROMAN.FON SCRIPT.FON TMSRB.FON	MODERN.FON ROMAN.FON SCRIPT.FON TMSRB.FON	notwendige Fonts in der DOS-Version
DFLIB		notwendige Bibliotheksprogramme und Fonts in WINDOWS-Version (FORTRAN 90/95, Digital Visual Fortran)

Tab. 4: Namen der Hilfs- und Auswertedateien des **Bayreuther Turbulenzknechtes**

Dateiname	Art bzw. Parameteranordnung	Inhalt
KNECHTMI.DAT	Hilfsdateien	Grundparameter
MKAN.DAT		Kanalauswahl für Mittelwerte, Standardabweichungen
COKAN.DAT		Kanalauswahl für Kovarianzen und Korrelationen
XYZZTTmi.NNd	Ausgabedatei, Kanalbelegung durch MKAN.DAT festgelegt NN: Mittelungszeit	Mittelwerte
XYZZTTst.NNd		Standardabweichung
XYZZTTdg.NNd		Dispersion für gesamtes Mittelungsintervall
XYZZTTdt.NNd		mittlere Dispersion aus 5-Minuten-Teilintervallen
XYZZTTcg.NNd	Ausgabedatei, Kanalbelegung durch COKAN.DAT festgelegt NN: Mittelungszeit	Covarianz für gesamtes Mittelungsintervall
XYZZTTct.NNd		mittlere Covarianz aus 5-Minuten-Teilintervallen
XYZZTTkg.NNd		Korrelationskoeffizient für gesamtes Mittelungsintervall
XYZZTTkt.NNd		mittlerer Korrelationskoeffizient aus 5-Minuten-Teilintervallen
XYZZTTqc.NNd	Ausgabedatei, feste Kanalbelegung NN: Mittelungszeit	QC-Flag-Ziffernfolge
XYZZTTzu.NNd		Meßgrößen mit QC-Gesamtbewertung
XYZZTTfc.NNd	Ausgabedatei, feste Kanalbelegung NN: Mittelungszeit	QC-Flag-Ziffernfolge für 5 Depositionsflüsse
XYZZTTfu.NNd		Meßgrößen mit QC-Gesamtbewertung für 5 Depositionsflüsse

rungsarbeiten am Meßkomplex vorgenommen werden. Das Programm besteht aus einer Reihe von Teilprogrammen, die z. T. mehrere Unterprogramme enthalten. Einen Überblick gibt Tab. 3, wobei zum Vergleich die Programmnamen des **Turbulenzknecht**

nochmals angegeben sind, obwohl die Programme wegen der unterschiedlichen Datenstruktur nicht mehr austauschbar sind.

Das Programm kann aus jedem beliebigem Laufwerk, in dem sich auch die drei Hilfsdateien, die bei Nichtvorhandensein vom Programm erzeugt werden, KNECHTMI.DAT, COKAN.DAT und MKAN.DAT (s. Tab. 4) befinden, gestartet werden. Die Datenfiles XZTTSSMM.dat und der Belegungsfile XZTTtext.txt müssen sich in der Subdirectory ZZTT (ZZ: Monat, 01-12) einer Directory XYyyyyy für jeden Bearbeitungstag getrennt befinden. Die Zeichen sind in Tab. 2 erläutert. Yyyyyy bedeutet dabei der Experimentname bestehend aus 6 Zeichen, wobei das erste Zeichen in einigen Ausgabedateien vorkommt. Diese Directory wird in der Datei KNECHTMI.DAT gespeichert. Hilfsdateien und Ausgabedateien sind in Tab. 4 erläutert. Die Ausgabedateien enthalten in der ersten Zeile die Kennung für die jeweilige Meßgröße, so daß auf eine Beschreibung der Dateien verzichtet werden kann. Sie enthalten dann alle Meßdaten eines Tages. Es besteht die Möglichkeit der Voreinstellung, ob bei fehlenden Meßserien die entsprechenden Zeiten im Auswertefile ausgelassen werden oder mit Fehlwerten (9999.9) belegt werden sollen.

Tab. 5: Bereitstellung der Größen für Zusatzberechnungen

Größe	Wahlmöglichkeit
Lufttemperatur	Zusatzthermometer (TT)
	akustische Temperatur (TA)
	Festtemperatur (20°C), wird auch bei Fehlwerten bei anderen beiden Wahlmöglichkeiten gesetzt
Luftdruck	aktueller Luftdruck eines Barometers (PP)
	Festluftdruck (1013 hPa), wird auch bei Fehlwerten bei anderen beiden Wahlmöglichkeiten gesetzt
	Berechnung aus Normalluftdruck (1013 hPa für Meeresspiegelniveau) für eingegebene Meßhöhe mit barometrischer Höhenformel und mittlerem Temperaturgradienten von 0.7 K/100 m (Nutzung der verwendeten Lufttemperatur)
fühlbarer Wärmestrom bei Stabilitätsbestimmung	fühlbarer Wärmestrom gemessen mit TP
	Auftriebsstrom gemessen mit TA

Zur Bearbeitung der energetischen Einheiten bei den turbulenten Energieflüssen ist die Festlegung einer Temperatur und des Luftdrucks notwendig. Dies erfolgt bei den Grundeingaben und wird in der Datei KNECHTMI.DAT gespeichert (Tab. 5). Da diese Datei nicht zusammen mit den Ausgabedaten gespeichert wird, sondern durch das Programm bei jeder Veränderung überschrieben wird, sollte jedoch in der Experimentdokumentation festgehalten werden, in welcher Form die Berechnung erfolgte. Steht für die Bearbeitung kein geeigneter Wert zur Verfügung, wird ein plausibler Wert durch das Programm gesetzt.

Die Berechnung der Kovarianzen erfolgt ohne zusätzliche Korrekturen nach der Formel (2). Die Bestimmung der Dispersionen erfolgt analog für $i=j$.

$$\overline{x'_i x'_j} = \overline{x x_j} - \overline{x_i} \overline{x_j} = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{k=1}^N x_{ik} \cdot x_{jk} - \frac{1}{N} \left(\sum_{k=1}^N x_{ik} \right) \cdot \left(\sum_{k=1}^N x_{jk} \right) \right] \quad (2)$$

3. QA/QC-Programm

3.1. Grundlagen des Testprogrammes

3.1.1. Stationaritätstest

Die bekannten Ansätze zur Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten der bodennahen Luftschicht gelten nur für stationäre Bedingungen. Gleiches gilt für die angewandten Auswerteverfahren. Aus diesem Grund ist die Kenntnis über eventuell vorhandene Instationaritäten von erheblicher Bedeutung. Als sehr einfaches Verfahren wird ein am Institut für Physik der Atmosphäre in Moskau erprobtes Verfahren (Zubkovskij und Gurjanov, 1981) verwendet. Die Messung wird in $(N/M=4\dots 8)$ -Meßintervalle eingeteilt, wobei mit bei einer Intervalldauer von 5 Minuten ($M=6000$ Meßwerte bei 20 Hz Abtastung in 5 Minuten, d. h. $N=36000$ in 30 Minuten) gearbeitet wird. Für die Kovarianzen (analog für Dispersionen mit $i=j$) einer Größe i bzw. j gilt für das l -te Intervall:

$$\overline{x'_{il} x'_{jl}} = \frac{1}{M-1} \left[\sum_{k=1}^M x_{ikl} \cdot x_{jkl} - \frac{1}{M} \left(\sum_{k=1}^M x_{ikl} \right) \cdot \left(\sum_{k=1}^M x_{jkl} \right) \right] \quad (3)$$

Für den Test wird die mittlere Kovarianz aus N/M Einzelintervallen genutzt

$$\overline{x'_i x'_j} = \frac{1}{N/M} \left[\sum_{l=1}^{N/M} \overline{x'_{il} x'_{jl}} \right] \quad (4)$$

Andererseits wird die Kovarianz aus der vollen Meßzeit bestimmt (vergl. Gleichung 2):

$$\overline{x'x'_j} = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{l=1}^{NIM} \sum_{k=1}^M x_{ikl} x_{jkl} - \frac{1}{N} \left(\sum_{l=1}^{NIM} \sum_{k=1}^M x_{ikl} \right) \cdot \left(\sum_{l=1}^{NIM} \sum_{k=1}^M x_{jkl} \right) \right] \quad (5)$$

Die Differenz aus Gleichungen (4) und (5) ist ein Maß für die Stationarität.

3.1.2. Test auf integrale Turbulenzcharakteristiken

Unter integralen Turbulenzcharakteristiken versteht man die mit einem Skalierungsfaktor normierten Streuungen turbulenter Größen, wie σ_w/u_* , σ_u/u_* , σ_T/T_* . Diese Größen werden vielfach konstant angenommen, jedoch wiesen bereits Wyngaard et al. (1971) darauf hin, daß eine Stabilitätsabhängigkeit vorhanden ist. Ein Parametrisierungsschema für den gesamten Bereich neutraler und labiler Schichtung stellten Foken et al. (1991) vor. Bei der Parametrisierung wurde die universelle Funktion nach Skeib (1980) verwendet. Für die vertikale Windkomponente ergibt sich

$$\frac{\sigma_w}{u_*} = a_1 \cdot [\varphi_m(z/L)]^{b_1} \quad (6)$$

und für die Temperatur

$$\frac{\sigma_T}{T_*} = a_2 \cdot [(z/L) \cdot \varphi_h(z/L)]^{b_2} \quad (7)$$

Eine ausführliche Herleitung der o.a. Beziehungen ist z.B. in Foken (1991) zu finden. Die sich daraus ergebenden Beziehungen für verschiedene Stabilitätsbereiche sind in Tab. 6 angegeben. Nach Foken et al. (1997) ergeben sich einige Korrekturen, wobei diese Werte (Tab. 7) auch für den stabilen Fall angewandt werden können (Foken, 1999). Diese Form der integralen Charakteristiken ist gegenwärtig programmiert.

Tab. 6: Abhängigkeit der integralen Turbulenzcharakteristiken von der Schichtung nach Foken et al. (1991)

z/L	σ_w / u_*	σ_u / u_*	σ_T / T_*
< -1	$2.00 (-z/L)^{1/6}$	$2.83 (-z/L)^{1/6}$	$1.00 (-z/L)^{-1/3}$
-1 ... -0.0625	$2.00 (-z/L)^{1/8}$	$2.83 (-z/L)^{1/8}$	$1.00 (-z/L)^{-1/4}$
0.0625 ... < 0	1.41	1.99	$0.50 (-z/L)^{-1/2}$

Tab. 7: Abhängigkeit der integralen Turbulenzcharakteristiken von der Schichtung nach Foken et al. (1991) in der Bearbeitung von Foken et al. (1997) und der Erweiterung auf den stabilen Fall (Foken, 1999)

$ z/L $	σ_w / u_*	σ_u / u_*	σ_T / T
> 1	$2.0 (-z/L)^{1/6}$	$4.1 (-z/L)^{1/6}$	$1.00 (-z/L)^{-1/3}$
$1 \dots 0.032$	$2.0 (-z/L)^{1/8}$	$4.1 (-z/L)^{1/8}$	$1.00 (-z/L)^{-1/4}$
$0.032 \dots 0$	1.3	2.7	$0.50 (-z/L)^{-1/2}$

Die Bedeutung integraler Turbulenzcharakteristiken liegt, wie von Foken (1990) gezeigt, darin, daß allein durch die Bestimmung der Dispersion turbulenter Größen der im Skalierungsparameter verwendete turbulente Fluß bestimmt werden kann. Damit werden die integralen Turbulenzcharakteristiken zu einem Kontrollparameter für die Flußmessungen. Abweichungen von mehr als 30 % deuten darauf hin, daß das turbulente Feld nicht voll entwickelt ist bzw. Übertragungs- oder Meßfehler bei den einzelnen zur Bestimmung der Charakteristiken notwendigen Meßkanäle vorliegen.

3.1.3. Test auf Spikes

Unter Spikes versteht man Meßwertspitzen, die nicht von physikalischer Natur sind, sondern Störungen im Meßsystem darstellen. Ein entsprechendes Programm zur Aussonderung von Spikes wurde von Foken (1999) vorgestellt, vergl. auch Vickers und Mahrt (1998). Es ist bislang nicht integriert. Die Möglichkeit besteht prinzipiell im Zusatzprogramm (derzeit nicht realisiert).

3.1.4. Horizontale Orientierung der Ultraschallanemometer

Die Annahme eines im Mittel verschwindenden Vertikalwindes kann nicht aufrecht erhalten werden. Dennoch entstehen beachtliche Fehler bei geneigtem Ultraschallanemometer, wobei die Neigung in erster Linie durch einen merklich von 0 abweichenden Vertikalwind erkennbar ist. Es wird für $\bar{w} > 0,15$ m/s eine Fehlermeldung abgegeben. Im Einzelfall ist jedoch zu überprüfen, ob die Ursache für diesen Fehlerwert in einer zu großen Neigung des Gerätes oder in konvektiven Bedingungen begründet ist. Bei vorhandenem Inklinometer (Größen IX und IY) werden diese ebenfalls zur Fehlererkennung herangezogen

3.1.5. Ausrichtung des Anemometers in den mittleren Wind

Das Programm bestimmt die Abweichung zwischen der optimalen Orientierung des Anemometers und der mittleren Windrichtung zuzüglich der Streuung ($\bar{\varphi} \pm \sigma_{\varphi}$). Für Abweichungen größer $\pm 150^\circ$ wird der Meßwert beim CSAT3 verworfen.

3.2. Anwendung des Fehlererkennungsprogrammes

Das Fehlerprogramm (QACFEHLE) errechnet für alle hier dargelegten Tests jeweils die Abweichung zwischen Sollwert und möglichem Testwert. Daraus ergibt sich die in Tab. 8 angegebene Bewertung.

Tab. 8: Umsetzung der Testwerte in Flag-Ziffern

Ziffer	Stationarität in %	integral. Char. in %	vert. Wind in m/s	Windrichtung in °
1	0-15	0-15	0-0,07	0-15
2	16-30	16-30	0,08-0,15	16-30
3	31-50	31-50	0,16-0,25	31-45
4	51-75	51-75	0,26-0,35	46-60
5	76-100	76-100	0,36-0,45	61-100
6	101-250	101-250	0,46-0,60	101-150
7	251-500	251-500		
8	501-1000	501-1000		
9	1001- ...	1001 - ...	0,61- ...	151 - ...

Die Flag-Ziffern werden in den Datenfiles XYZZTTqc.NNd und XYZZTTfc.NNd ausgegeben. In jeder Zeile werden neben der Meßzeit für die in Tab. 9 bzw. 10 in der zweiten Spalte angegebenen Parameter die 5 Testziffern (Stationarität, integrale Charakteristiken, vertikaler Wind, Windrichtung, freier Platz = 0) angeben (für QC wird kein Wert ausgegeben). Die zusammengefaßten Datenfiles XYZZTTzu.NNd und XYZZTTfu enthalten neben der Meßzeit die in Tab. 9 bzw. 10 in der zweiten Spalte angegebenen Parameter, wobei die zugehörigen QC-Werte komplexe Qualitätsmerkmale gemäß Tab. 11 darstellen.

Tab. 9: Wirksamkeit der Tests auf den Qualitäts-Flag der Ausgangsparameter (*wirksam nur wenn für Berechnung vereinbart, ** nur Stationarität, sind mehrere Größen wirksam für einen Flag, dann gilt der höhere Wert)

	Testart	Stationarität*/ integrale Charakteristiken					vert. Wind	Wind- richt.	offen
		VH	UW	TP	TA	EE			
	Testparameter						UW	PHI	
1	USTERN	X	X				X	X	
2	QC								
3	WTP		X	X			X	X	
4	WTPWATT		X	X			X	X	
5	QC								
6	WTA		X		X		X	X	
7	WTAWATT		X		X		X	X	
8	QC								
9	WE		X			X	X	X	
10	WEWATT		X			X	X	X	
11	QC								
12	sW^2		X				X	X	
13	sW/U*	X	X				X	X	
14	sU^2	X						X	
15	sU/U*	X	X				X	X	
16	sTp^2			X				X	
17	sTp/T*	X	X	X			X	X	
18	sTA^2				X			X	
19	sTAT*	X	X		X		X	X	
20	sE^2					X		X	
21	sE/E*	X	X			X	X	X	
22	L	X	X	X*	X*		X	X	
23	z/L	X	X	X*	X*		X	X	
24	Bo	X	X	X*	X*	X	X	X	
25	z								
26	PHI	X						X	
27	sPHI	X						X	
28	frei								
29	frei								
30	frei								

Tab. 10: Wirksamkeit der Tests auf den Qualitäts-Flag der Ausgangsparameter (*wirksam nur wenn für Berechnung vereinbart, ** nur Stationarität, sind mehrere Größen wirksam für einen Flag, dann gilt der höhere Wert), F1...F5: fünf verschiedene Depositionsflüsse

	Testart	Stationarität**/ integrale Charakteristiken							vert. Wind	Wind- richt.	offen
		Testparameter	VH	UW	F1	F2	F3	F4	F5	UW	PHI
1	USTERN	X	X						X	X	
2	QC										
3	WF1		X	X					X	X	
4	QC										
5	WF2		X		X				X	X	
6	QC										
7	WF3		X			X			X	X	
8	QC										
9	WF4		X				X		X	X	
10	QC										
11	WF5		X					X	X	X	
12	QC										
13	sF1^2			X						X	
14	sF1/F1*	X	X	X					X	X	
15	sF2^2				X					X	
16	sF2/F2*	X	X		X				X	X	
17	sF3^2					X				X	
18	sF3/F3*	X	X			X			X	X	
19	sF4^2						X			X	
20	sF4/F4*	X	X				X		X	X	
21	sF5^2							X		X	
22	sF5/F5*	X	X					X	X	X	
23	L	X	X	s. Tab. 9					X	X	
24	z/L	X	X	s. Tab. 9					X	X	
25	z										
26	PHI	X								X	
27	sPHI	X								X	
28	frei										
29	frei										
30	frei										

Tab. 11: Berechnung der kombinierten Flags in Zusatzauswertung

Ziffer	Stationaritäts-Flag	integral. Char.-Flag	vert. Wind Flag	Windrichtung in °
1	1,2	1,2	1-4: kein Einfluß 5-6: Erhöhung der Ziffer um +3 (max. Ziffer 8)	1-6 kein Einfluß
2		3,4		
3		5,6		
4	3,4	1,2		
5		3,4		
6		5,6		
7	5,6	1,2		
8		3-6		
9	7-9	7-9	7-9	7-9

Dabei bedeuten im kombinierten Qualitätswert gemäß Tab. 11 die Ziffern 1-3, daß es sich um hochwertige Daten handelt, die in der Grundlagenforschung Verwendung finden können. Die Ziffern 4-6 kennzeichnen Daten, die noch für einen allgemeinen Gebrauch, Darstellung von Tagesgängen u. ä., geeignet sind. Die Ziffern 7 und 8 kennzeichnen Meßwerte, die nur einer Orientierung dienen sollten und 9 sind zu verwerfende Meßdaten.

4. Zusammenfassung

Das Programm hat sich in seiner langen Geschichte gut bei der Bearbeitung von Meßdaten bewährt. Insbesondere der Fehlererkennungsteil hat ein subjektiven Ausschließen von Meßdaten vermeiden helfen und gestattet somit ein Erkennen von Meßproblemen. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß es Probleme gibt, die durch das Programm in der gegenwärtigen Form noch nicht erfaßt sind. Insbesondere erfolgt die Behandlung von Stoffflüssen nur in völliger Analogie zum fühlbaren Wärmestrom.

5. Literatur

Foken, Th., 1990: Turbulenter Energieaustausch zwischen Atmosphäre und Unterlage, Methoden, meßtechnische Realisierung, sowie Ihre Grenzen und Anwendungsmöglichkeiten. Ber. Dt. Wetterdienstes **180**, 287 pp.

Foken, Th., 1991: Information über das internationale Experiment TARTEX-90, Töravere bei Tartu, Estland, 28. 05. bis 13. 07. 1990. Z. Meteorol. **41**, 227

Foken, Th. 1993: Übersicht Turbulenzdatenbearbeitung. Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Potsdam, interne Publikation, 3 pp., erweiterte Fassung 1996 (nicht verfügbar)

Foken, Th., 1999: The turbulence experiment FINTUREX at the Neumayer-Station/Antarctica. Ber. Deutschen Wetterdienstes, in Vorbereitung

Foken, Th., Wichura, B., 1993: Übersicht Fehlererkennungsprogramm. Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Potsdam, interne Publikation, 11 pp. (nicht verfügbar)

Foken, Th.; Wichura, B., 1994: Quality of surface-based flux measurements. Ann. Geophys., Suppl. II to vol. **12**, C538 (Summary)

Foken, Th.; Wichura, B., 1996: Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. Agric. & Forest Meteorol. **78** (1996), 83-105

Foken, Th.; Skeib, G.; Richter, S. H., 1991: Dependence of integral turbulence characteristics on the stability of stratification and their use for Doppler-Sodar measurements. Z. Meteorol. **41**, 311-315

Foken, Th.; Gryning, S.-E.; Constantin, J.; Heikinheimo, M.; Wichura, B., 1996: Classification of the complexity of the meteorological situation in respect to turbulence measurement, NOPEX, Techn. Report No. 17 , 32 pp.

Foken, Th., Jegede, O. O., Weisensee, U., Richter, S. H., Handorf, D., Görsdorf, U., Vogel, G., Schubert, U., Kirzel, H.-J., Thiermann, V., 1997: Results of the LINEX-96/2 Experiment. DWD, Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung, Arbeitsergebnisse No. 48, 75 pp.

Kaimal, J. C.:

Basic tests for checking validity of field data. WPL Application Note No. 5, NOAA, Boulder CO., Dec. 1990, 3 p.

Skeib, G.

Zur Definition universeller Funktionen für die Gradienten von Windgeschwindigkeit und Temperatur in der bodennahen Luftschicht. *Z. Meteorol.* **30** (1980), 23-32

Vickers, D., Mahrt, L., 1997: Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data. *J. Atm. & Ocean. Techn.* **14**, 512-526

Wichura, B., 1993: Programmdokumentation 'Der Turbulenzknecht'. Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Potsdam, interne Publikation, 31 pp. (nicht verfügbar)

Wyngaard, J. C.; Côté, O. R.; Izumi, Y.

Local free convection, similarity and the budgets of shear stress and heat flux. *J. Atm. Sci.* **28** (1971), 1171-1182

Zelený, J.; Foken, Th., 1991: Ausgewählte Ergebnisse des Grenzschichtexperimentes in Bohunice 1989. *Z. Meteorol.* **41**, 439-445

Zubkovskij, S. L., Gurjanov, A. A., 1981: Persönliche Mitteilung

**Arbeitsergebnisse,
Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie**

Bislang erschienene Arbeiten:

Nr	Name	Titel	Seiten	Datum
01	Foken	Der Bayreuther Turbulenz- knecht	16	02/99
02	Foken	Methode zur Bestimmung der trockenen Deposition von Bor	13	02/99

Die Reihe dient dem Zweck einer schnellen fachlichen Dokumentation und Präsentation. Die Beiträge können in deutscher, englischer und russischer Sprache abgefaßt sein. Eine spätere Veröffentlichung soll hiermit nicht vorweggenommen werden. Für den Inhalt sind die Autoren selbst verantwortlich.

Die Reihe kann gegen eine Schutzgebühr bei der Abteilung Mikrometeorologie der Universität Bayreuth angefordert werden.