

Das Kräftemessen in unserer Atmosphäre – turbulente Zustände sind an der Tagesordnung...

was genau ist eigentlich
Turbulenz, und wie kann man sie bestimmen?



Georg Jocher, AWI Potsdam, Climate Sciences and Atmospheric Circulations

Inhaltsverzeichnis:

- Spektrale Organisation der Atmosphäre und typische Schemen – Grundordnung
 - Die Kräfte in der Atmosphäre – Grundgleichung (+Beispiele!)
 - Der turbulente Transport – Grundmechanismen
 - Ein Anwendungsbeispiel zur Bestimmung der Mikroturbulenz: die *Eddy – Kovarianz – Methode*; Grundprinzipien

 - Einige Bilder zu den Messgeräten
-

Spektrale Organisation der Atmosphäre und typische Schemen - Grundordnung

- klare Unterteilung meteorologischer Prozesse in raum-zeitliche Maßstabsbereiche, im Gegensatz zu anderen geophysikalischen Prozessen
 - bestimmte Wellenlängen entsprechen einer bestimmten zeitlichen Andauer
 - Markante Wellen:
 - Jahresgang
 - Rossby-Wellen (3-6 Tage, mehrere 1000 km)
 - Tagesgang
 - Energie- und Stoffaustausch in Minuten und Sekunden (Mikroturbulenz)
- => Unterscheidung Makro-, Meso- und Mikroturbulenz

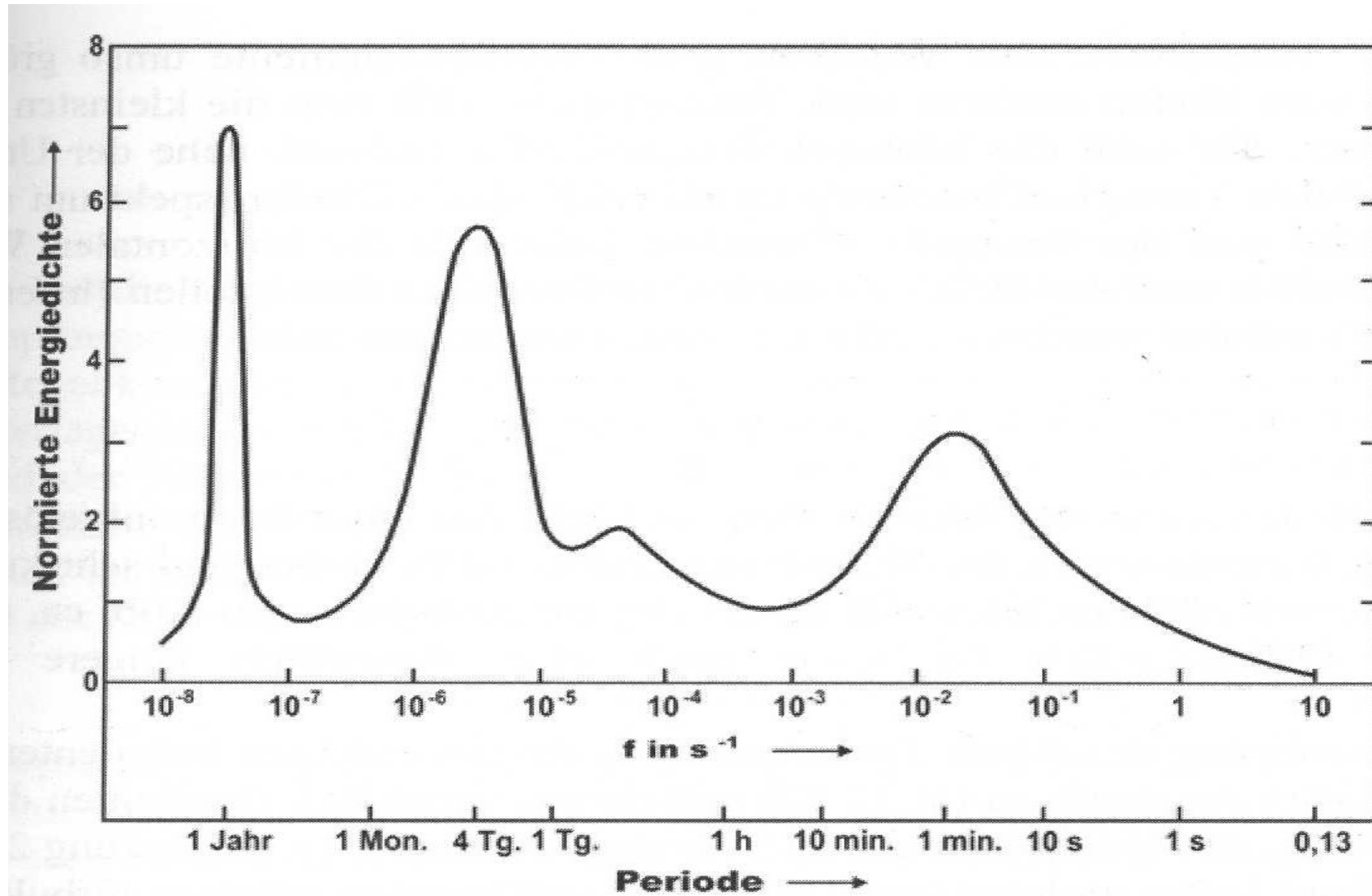


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Turbulenzspektrums (Roedel, 2000)

Die Kräfte in der Atmosphäre - Grundgleichung

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u_j u_i} + \overline{u'_j u'_i}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_i^2} + g \delta_{i3} + \varepsilon_{ijk} f \bar{u}_k$$

Zeitliche Tendenz

Advektion

Druckterm

Reibung

Erdanziehung

Corioliskraft

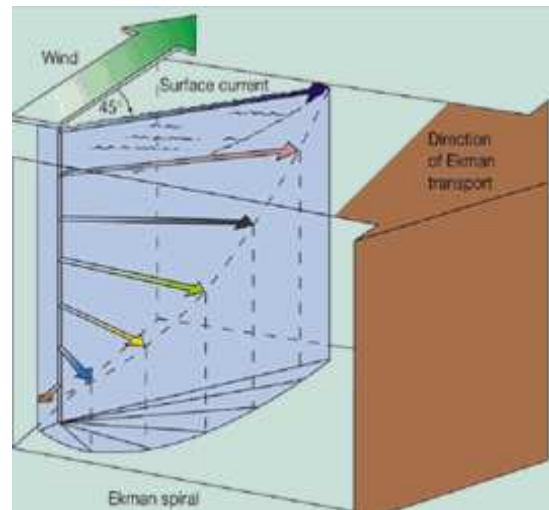


Zeitliche Entwicklung des Zustandes der Atmosphäre =

Reibung + Erdanziehung + Corioliskraft – Advektion – Druckgradient

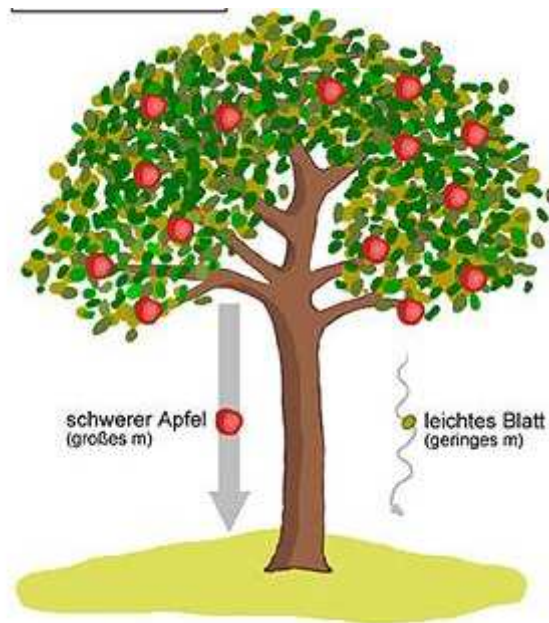
Ein wenig mehr zu den einzelnen Termen:

- Reibung: die Erdoberfläche bremst das Windfeld aufgrund ihrer Rauigkeit immer mehr ab, je näher man dieser kommt. Zusätzlich erfolgt eine Drehung des Windfeldes aufgrund der Corioliskraft (Ekman - Spirale)



Quelle:
<http://seacoos.org/Community%20and%20Classroom/currents-classroom/ekman.png>

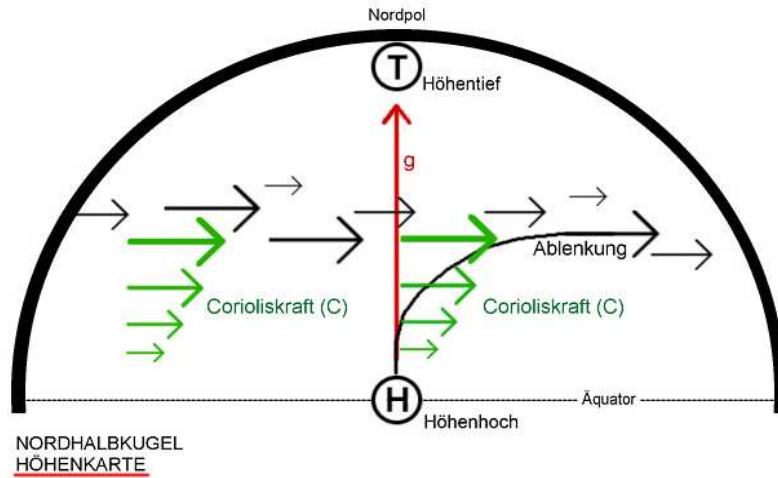
- Erdanziehung: Die Erde hat aufgrund ihrer Masse eine Schwerebeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$, und sorgt somit für den nötigen „Zusammenhalt“.



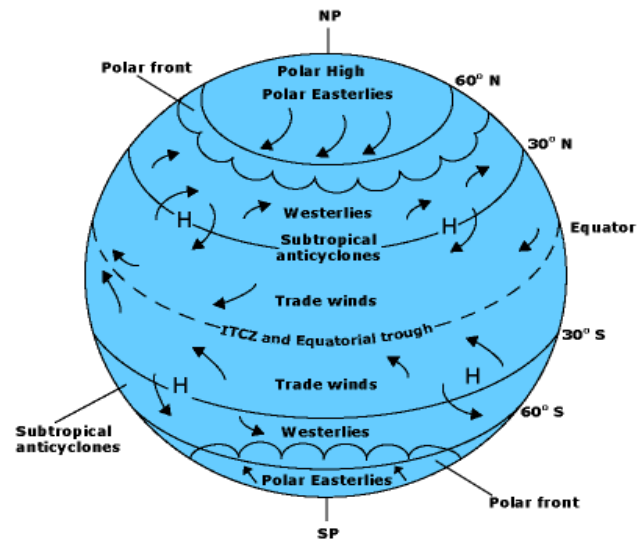
Quelle:

http://www.goruma.de/export/sites/www.goruma.de/Globale_Inhalte/Bilder/Content/A/astromomie_Gravitation.jpg_1515514185.jpg

- Corioliskraft: Eine aus der Drehung der Erde resultierende „Scheinkraft“, die Massen auf der Nordhemisphäre nach rechts, auf der Südhemisphäre nach links ablenkt.



Quelle:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/1b/Jetsteam_hoehenkarte_nordhalbkugel.png



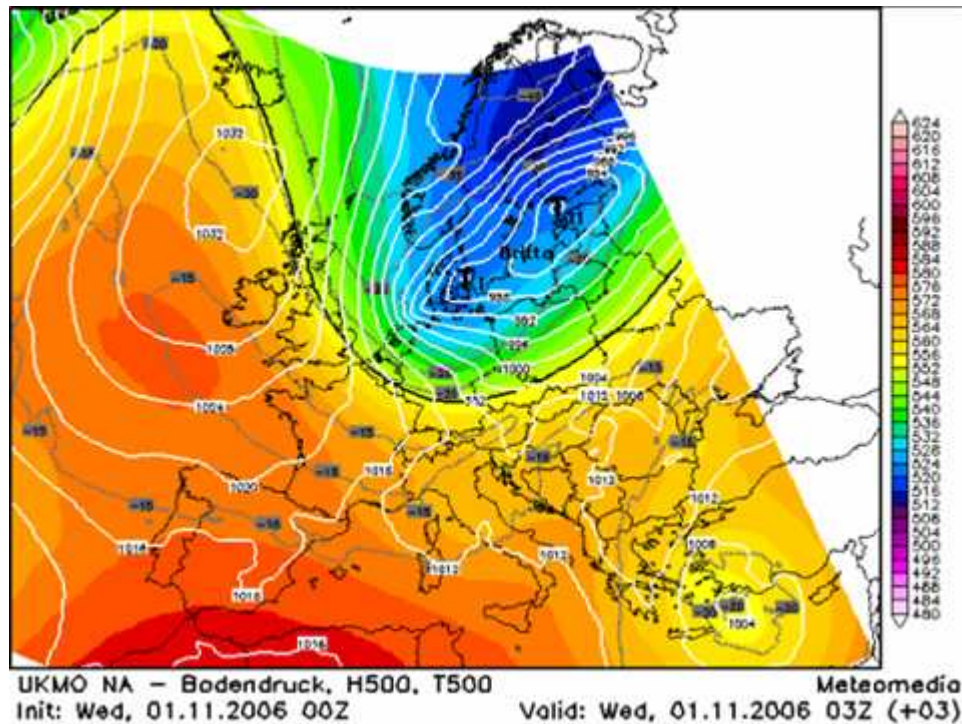
Quelle:
<http://sunnyokanagan.com/joshua/coriolis.gif>



Quelle: http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/upload/thumb/Kate_2003.jpg/420px-Kate_2003.jpg

Grundgleichung

- Advektion: horizontaler Transport (aufgrund horizontaler Temperatur- oder Stoffgradienten)
- Druckgradient: der unterschiedliche Luftdruck an verschiedenen Stellen der Erde sorgt für Ausgleichsströmungen und somit für Transport von hohem Luftdruck zu niedrigem Luftdruck.



Quelle: http://www.meteomedia.de/fileadmin/template/meteomedia/img/Verifikationen/2006_2007_Sturmsaison/Britta/bodendruck_20061101_03z.png

Der turbulente Transport – Grundmechanismen

Atmosphärische Turbulenz ist eine Besonderheit der atmosphärischen Strömung, die darin besteht, dass einzelne Luftkörper (wesentlich größer als Moleküle: Turbulenzelemente, Turbulenzwirbel) unregelmäßige und zufällige Bewegungen um einen mittleren Zustand ausführen. Sie sind von unterschiedlicher Größenordnung mit charakteristischer Ausdehnung und Lebensdauer von Bruchteilen eines Zentimeters und einer Sekunde bis zu Tausenden von Kilometern und mehreren Tagen. (Foken, 2008)

Der Transport der Energie vollzieht sich von Turbulenzelement zu Turbulenzelement und durch Eigenbewegung der Turbulenzelemente (vs molekular: von Molekül zu Molekül), große Turbulenzelemente erhalten ihre Energie aus der mittleren Strömung, in einem Kaskadenprozess geben sie diese an kleinere Elemente wieder ab.

Kleine Turbulenzelemente zerfallen unter Freisetzung von Energie (Dissipation).

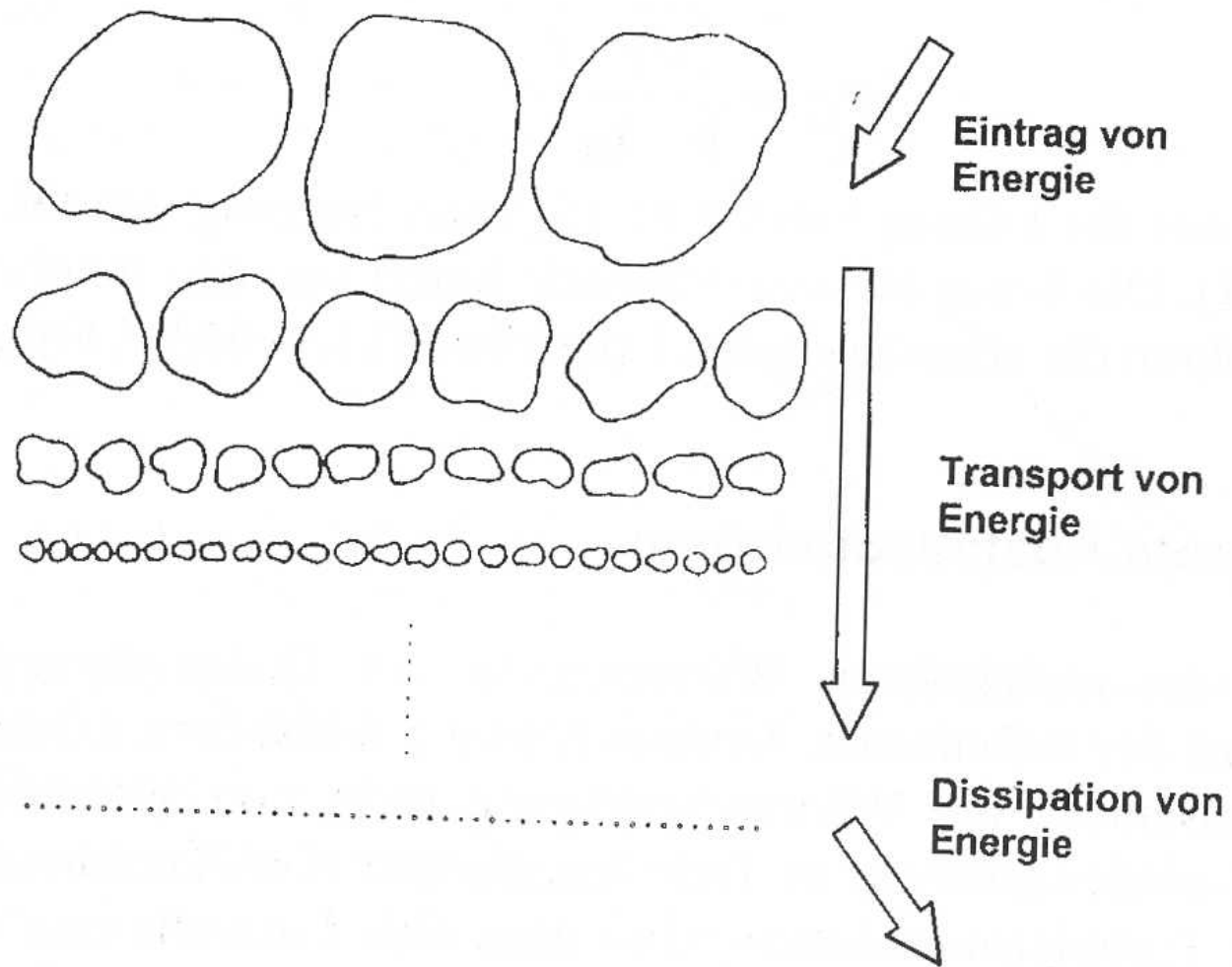


Abbildung 2: Kaskadenprozess der Turbulenzelemente (Frisch, 1995) (die Räume zwischen den Turbulenzelementen sind durch weitere Elemente gefüllt)

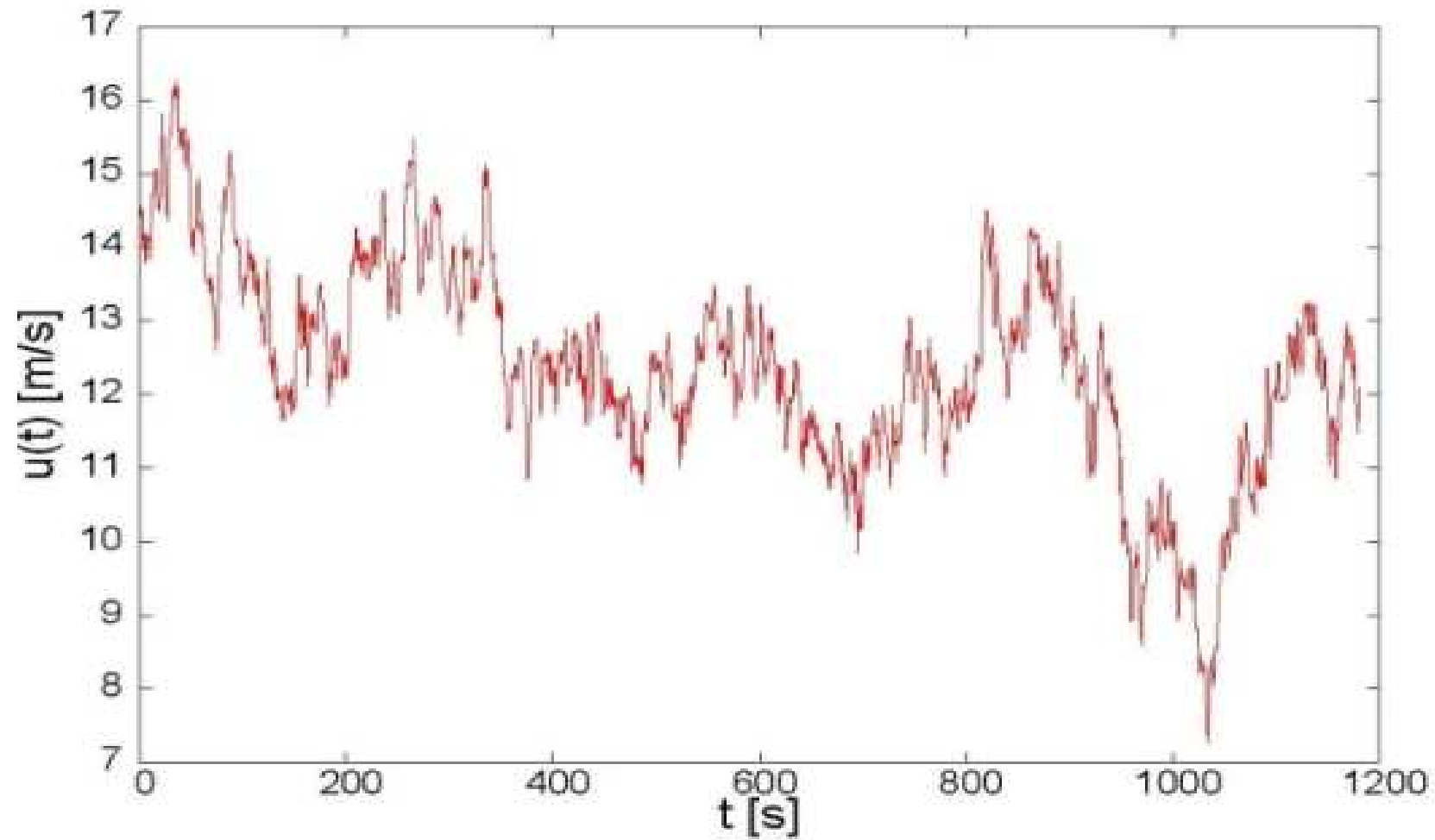


Abbildung 3: Messreihe Windgeschwindigkeit (http://www.forwind.de/forwind/files/windzr_tanja1.jpg)

Ein Anwendungsbeispiel zur Bestimmung der Mikroturbulenz: die *Eddy – Kovarianz – Methode*; Grundprinzipien

Momentan ist die einzige **direkte** Methode zur Bestimmung der Mikroturbulenz (Energie- und Stoffflüsse) die **Eddy-Kovarianz-Methode**.

Prinzip: Messung der Fluktuationen der Turbulenzelemente („Eddies“) um den mittleren Zustand mit hochfrequenten Messgeräten.

Unter Anwendung diverser Annahmen und Vereinfachungen lässt sich aus der **Kovarianz** zweier Größen der Fluss bestimmen.

Daher: **Eddy-Kovarianz**.

In Anwendung vor allem für den fühlbaren Wärmestrom und den latenten Wärmestrom („verborgene“ Energieumsetzung durch Verdampfen und Kondensieren von Wasser). Weiterhin für ausgewählte Spurengase wie z.B. Methan.

Nach der grauen Theorie...: nun ein paar Bilder



Ultraschallanemometer CSAT 3 und optisches Hygrometer Licor 7500



Quelle: <http://140.112.63.212/new%20web%20pictures/introduction-04.gif>

Optisches Kryptonhygrometer KH20 und CSAT 3



Quelle: http://pages.unibas.ch/geo/mcr/Projects/CAPAC/images/pics/ramadan_kitsch.jpg

Messtandort: Ny – Ålesund auf Spitzbergen (78° 55' 18" N, 11° 56' 31" E)



Quelle: Google earth

Messstandort: Ny – Ålesund auf Spitzbergen

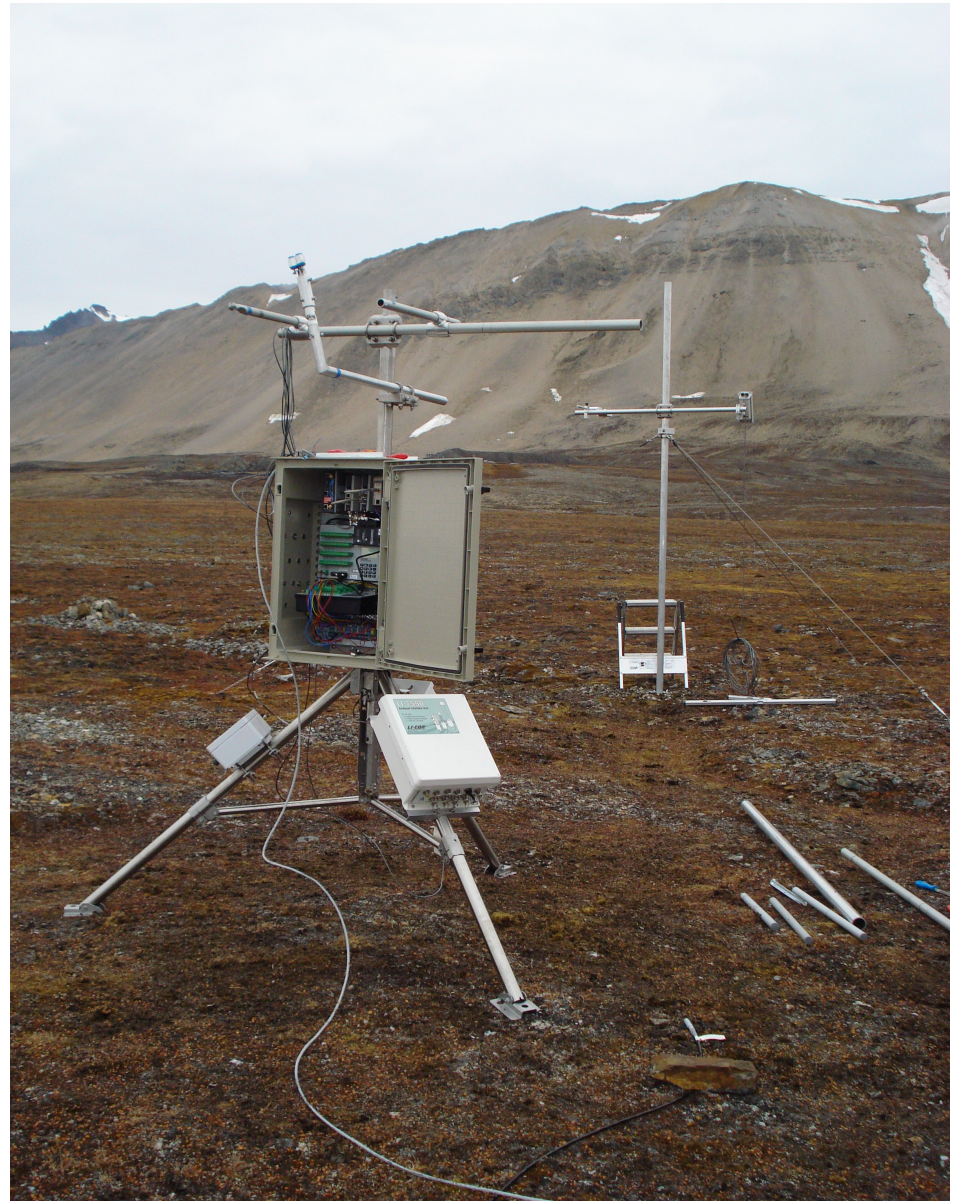


Bild: Markus Rex, Alfred Wegener Institut Potsdam

Messstandort: Ny – Ålesund auf Spitzbergen



Messstandort: Ny – Ålesund auf
Spitzbergen



Eddy-Kovarianz-Messsystem



Bild: Konstanze Piel; aufgenommen im September 2010

Eddy-Kovarianz-Messsystem



Bild: Christian Konrad, derzeit Stationsingenieur am meteorologischen Observatorium in Ny – Ålesund, aufgenommen Ende März 2011

Herzlichen Dank
für die
Aufmerksamkeit !

