

Inverse Methoden zur Bestimmung subsynoptischer und turbulenter Flüsse

Stefan Emeis

**Institut für Meteorologie und Klimaforschung - Atmosphärische Umweltforschung
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Kreuzeckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen**

stefan.emeis@imk.fzk.de

Einleitung

Gedanken über das Große und das Kleine

**Big whirls have little whirls what feed on their velocity,
little whirls have smaller whirls, and so on to viscosity.**

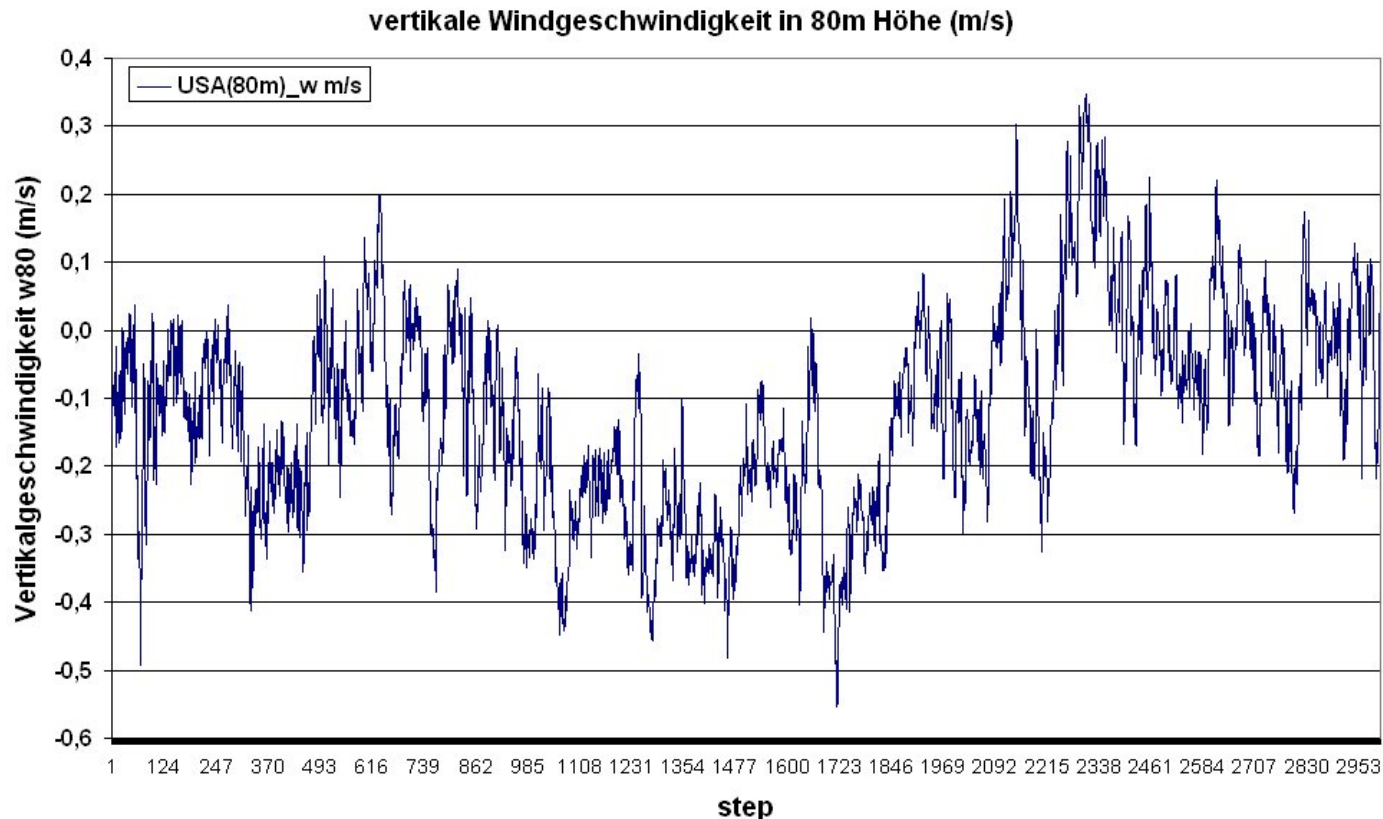
L.F. Richardson (1922)

in Abwandlung von Jonathan Swifts (1733):

So, the naturalists observe, the flea,
Hath smaller fleas that on him prey;
And these have smaller still to bite 'em;
And so proceed, ad infinitum.

Gedanken über das Große und das Kleine

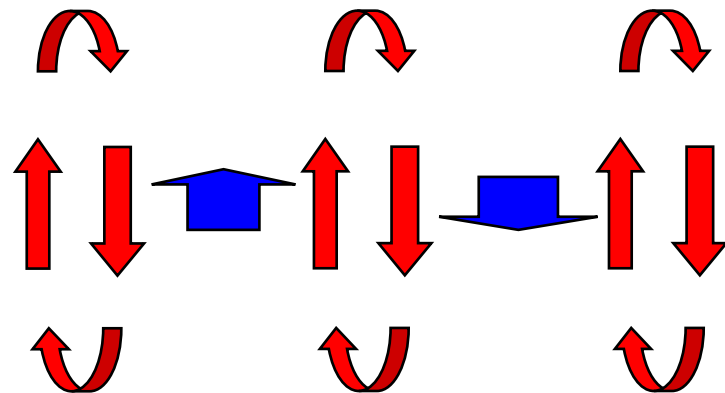
kleine Abweichungen von einem Mittel: Fluktuationen ...



Daten: FINO1-Plattform, 1.1.2005, BMU-Projekt OWID

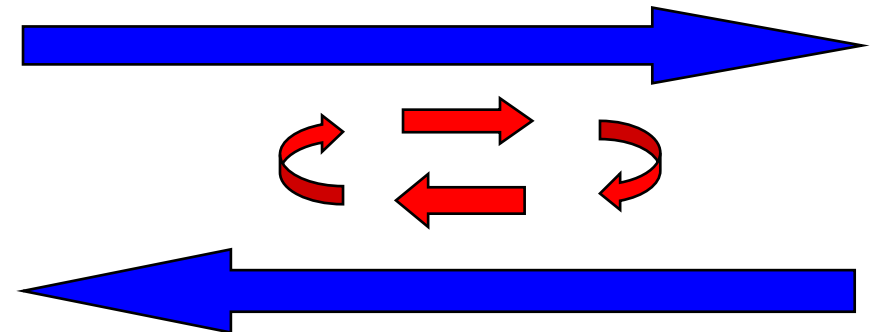
Gedanken über das Große und das Kleine

... aber die durch diese Fluktuationen ausgelösten **turbulenten Flüsse** können in vielen Fällen größer als die mittleren Flüsse sein



kleinskalig: turbulente
Grenzschichten

großskalig: Konvektion
ITCZ



Hochs und Tiefs

Passate

Bestimmungsmethoden für turbulente Flüsse und ihre Vertikalprofile

direkt: - Eddy-Korrelationsmessungen

indirekt: - Fernerkundung von Fluktuationen
- parametrisch aus mittleren Profilen
- Haushaltsmethoden

Jedes **indirekte** Verfahren verlangt **Inversionsmethoden**

direkte Messungen

eddy-Korrelation



<http://www.uni-duisburg-essen.de/klimatologie/technik/>

parallele Messung von
Wind- und Konzentrations-
fluktuationen

weitgehend
annahmenfrei

nur Punktmessung,
kein Vertikalprofil

indirekte Messungen von Vertikalprofilen

Fernerkundung

z.B. parallele Messung von Windfluktuationen (Windprofiler)
und
Konzentrationsfluktuationen (H_2O , CO_2) (Lidar)

geht nur für wenige Stoffe

SAD-RASS für Impulsfluss war bisher nicht erfolgreich
(spaced-antenna drift)

indirekte Methoden

parametrische Methoden (verlangen zu viel Vorwissen)

z.B. Fluss-Gradient-Beziehungen

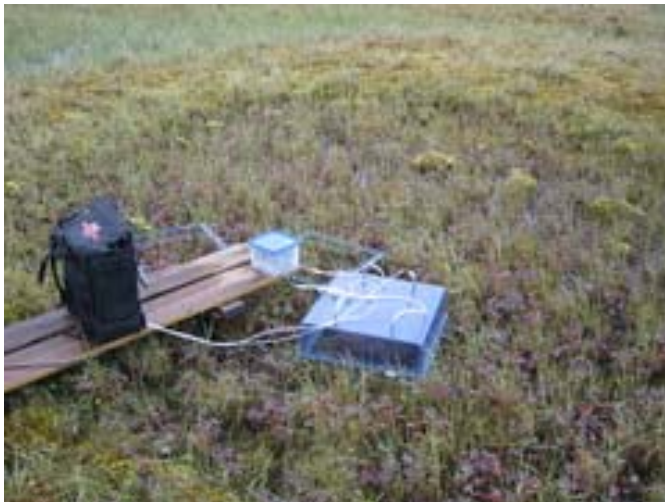
**aus den Gradienten der mittleren Größen wird
auf die Größe der turbulenten Flüsse geschlossen**

indirekte Methoden

Haushaltsmethoden (residual, kein Vorwissen notwendig)

1. Messung:

**geschlossene Kammern (nur für kleine Volumina
praktikabel)**



<http://www.awi.de/typo3temp/pics/89738f690e.jpg>

**beeinflussen ihre Umgebung
Punktmessung**

kein Vertikalprofil

indirekte Methoden / Haushaltsmethoden

2. rechnerische Methoden: **Bilanzierung großskaliger Terme** in den Haushaltsgleichungen

erste Arbeiten:

Riehl und Malkus (1958)

Wärmehaushalt der Tropen ohne
aufwärtsgerichtete Flüsse nicht
geschlossen

Palmén (1966)

erstes Vertikalprofil des turbulenten
Wärmeflusses

Hantel (1976)

erste Vertikalprofile der feuchtstatischen
Energie mit Angabe der **Imbalance**



Bilanzierung großskaliger Terme für eine Eigenschaft „e“

$$\int_V \frac{de}{dt} dV = \int_V \nabla e \vec{v} \cdot dV + \int_V Q \cdot dV - \int_V R \cdot dV$$

Haushaltsgleichung

$$\int_V \nabla e \vec{v} \cdot dV = \int_S e v_n \cdot dS$$

Gauß'scher Satz

$$\int_S e v_n \cdot dS = \int_S \overline{e \cdot v_n} \cdot dS + \int_S \overline{e' v'_n} \cdot dS$$

Reynolds'sche
Zerlegung

$$\int_S \overline{e' v'_n} \cdot dS = \int_V \frac{de}{dt} dV - \int_S \overline{e \cdot v_n} \cdot dS - \int_V Q \cdot dV + \int_V R \cdot dV$$

Gleichung für
turb. Flüsse

weitere Annahmen zur Bestimmung vertikaler turb. Flüsse

- Vernachlässigung horizontaler turbulenter Flüsse,
- getrennte Behandlung von Flüssen an der Erdoberfläche
- Einführung der Imbalance als Unbekannte

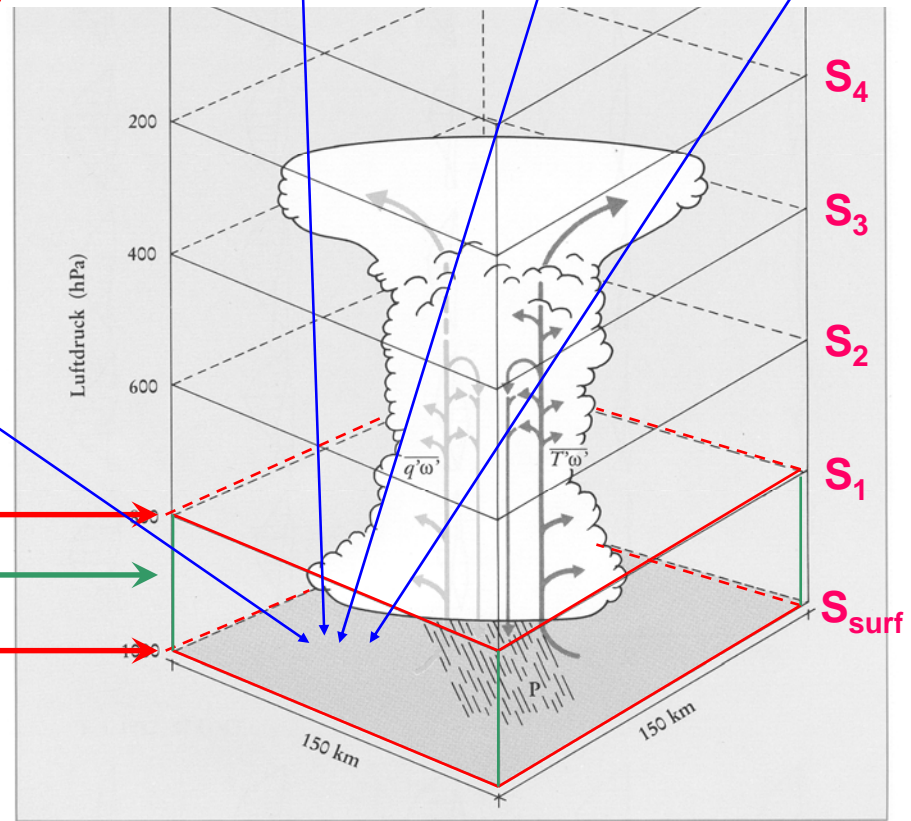
„Weitblick“

$$\int_{S_1} \overline{e'w'} \cdot dS = \int_V \frac{de}{dt} dV - \int_S \bar{e} \cdot \bar{v}_n \cdot dS - \int_{S_{surf}} \overline{e'w'} \cdot dS - \int_V Q \cdot dV + \int_V R \cdot dV - \int imb \cdot dV$$

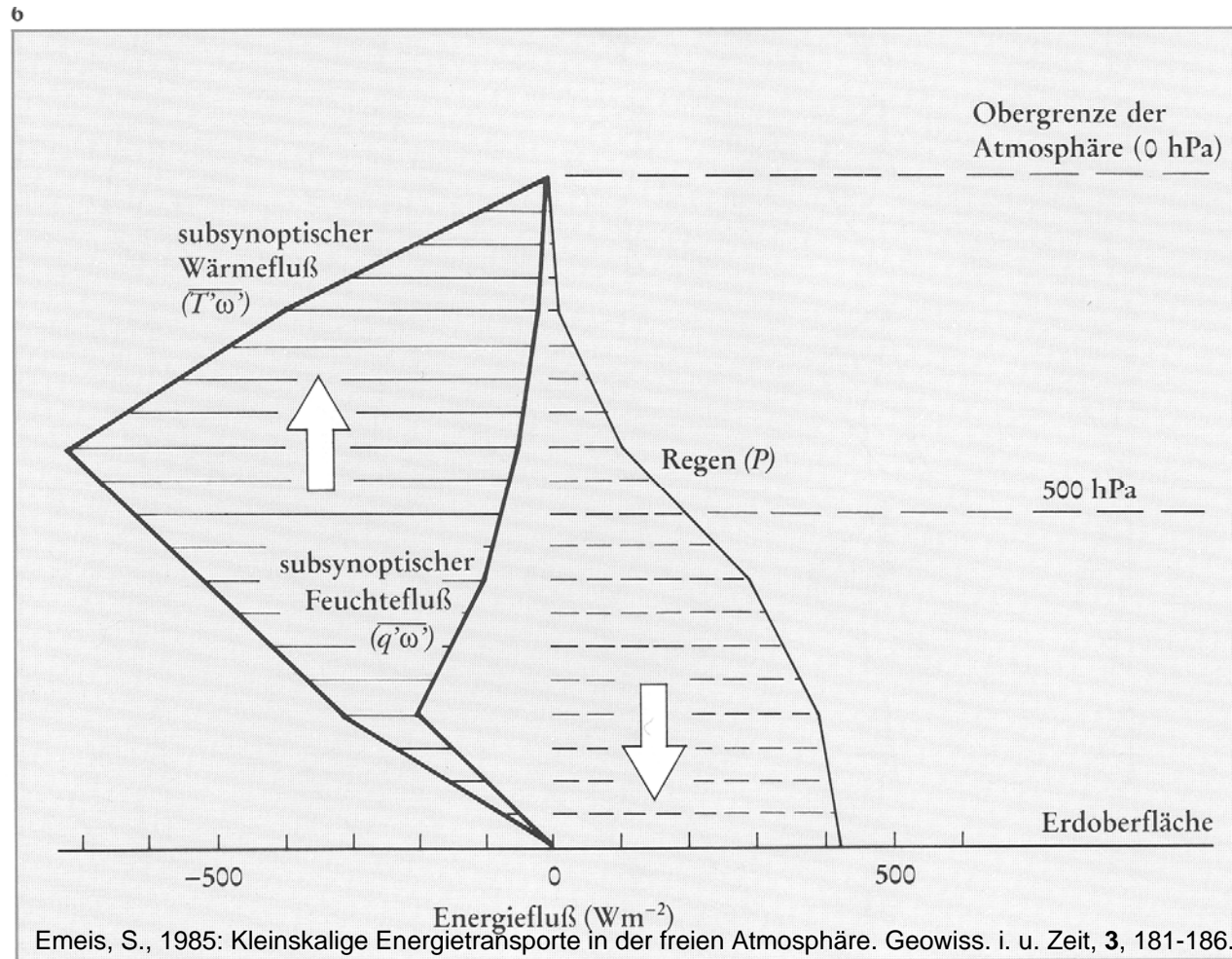


1. Möglichkeit: Vertikalprofile turbulenter Flüsse

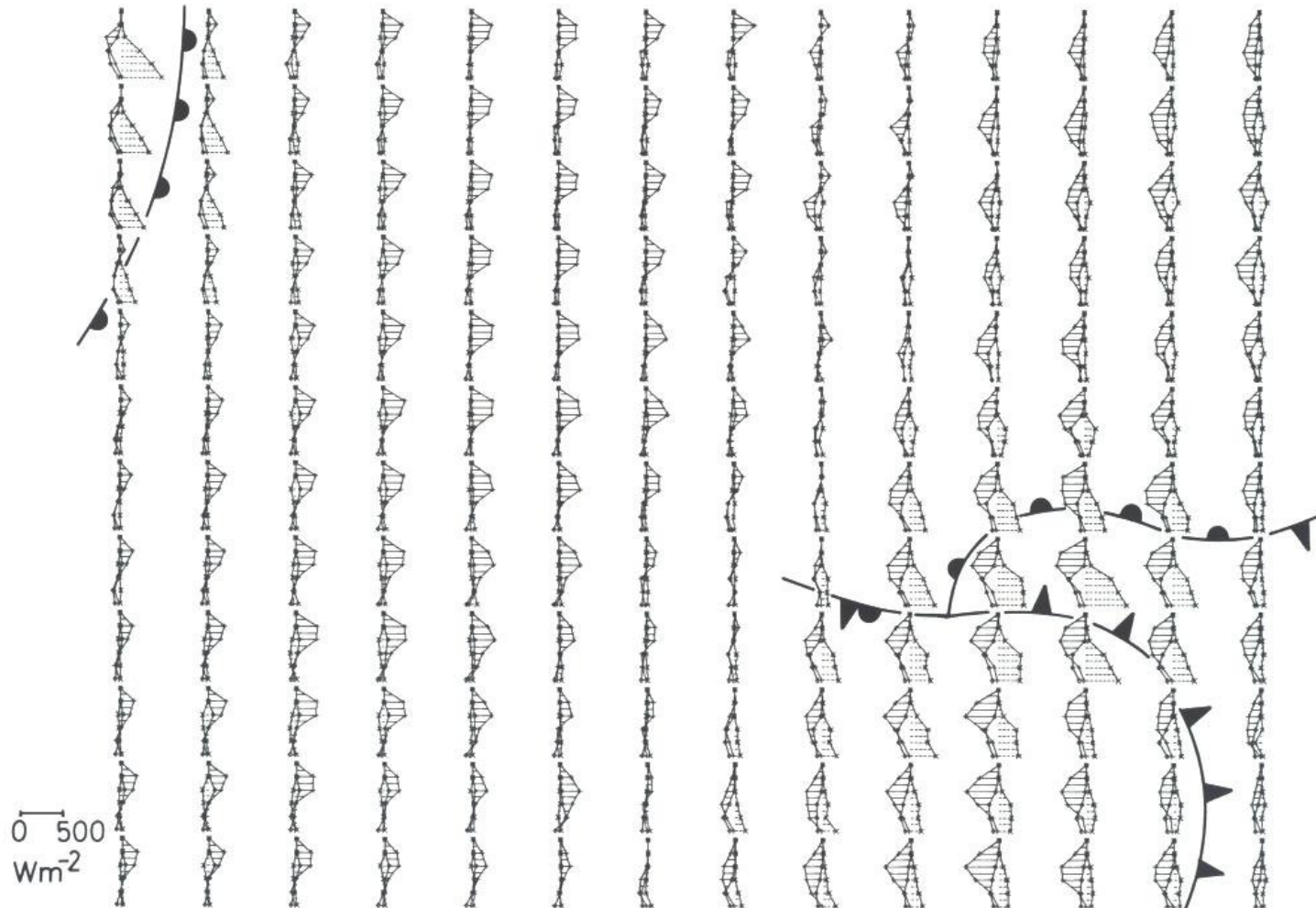
$$\int_{S_1} \overline{e'w'} \cdot dS = \int_V \frac{de}{dt} dV - \int_S \bar{e} \cdot \bar{v}_n \cdot dS - \int_{S_{surf}} \overline{e'w'} \cdot dS - \int_V Q \cdot dV + \int_V R \cdot dV - \int imb \cdot dV$$



Beispiel für vertikale Flussprofile

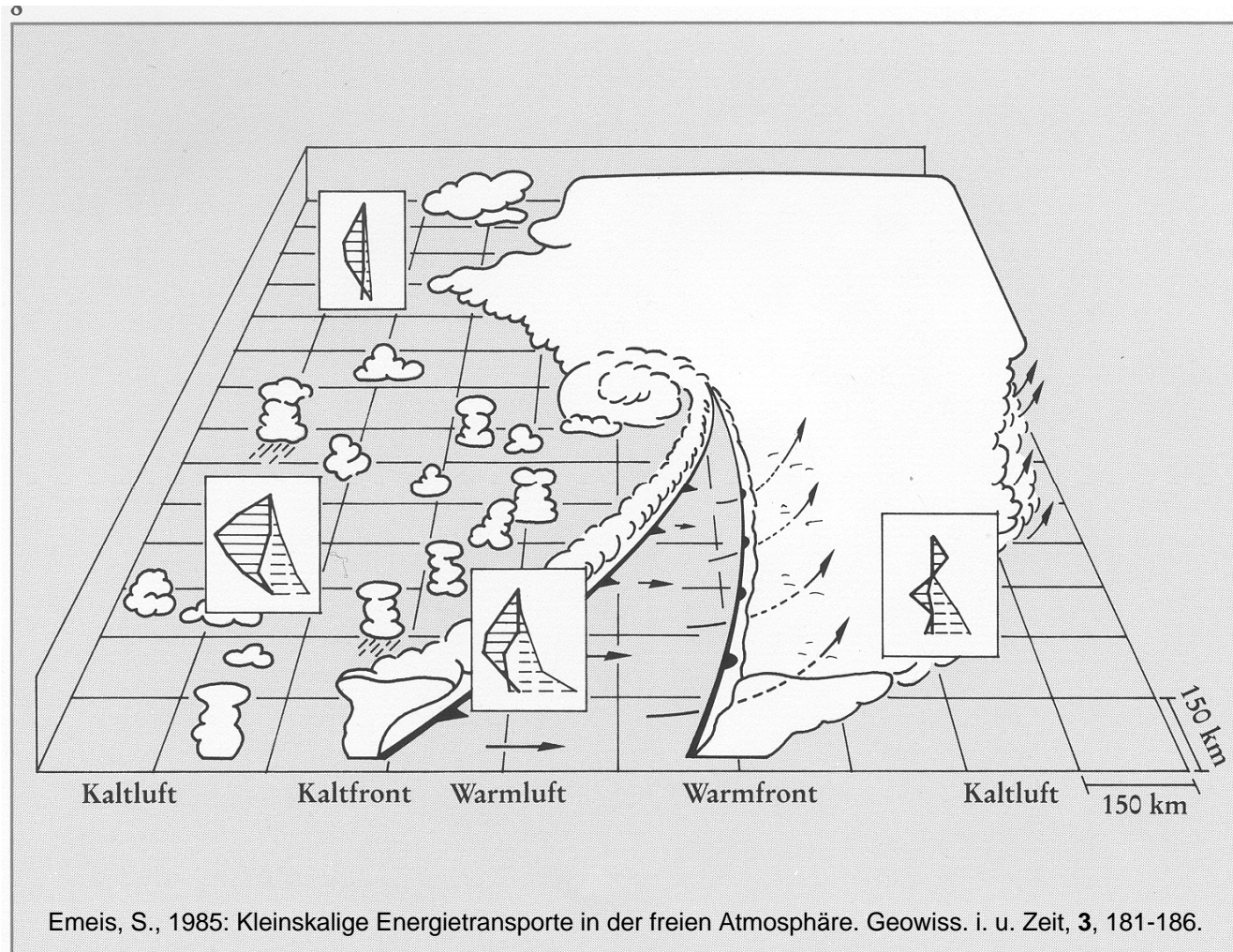


horizontale Kohärenz vertikaler Flussprofile



— Emeis, S., 1986: Subsynoptic Vertical Energy Fluxes in Midlatitude Cyclones. Meteorol. Rundsch., **39**, 161-172.

typische vertikale Flussprofile in einem Tiefdruckgebiet



2. Möglichkeit: Flüsse an der Erdoberfläche

- horizontale Homogenität
- keine Flüsse durch die Obergrenze des Volumens
- keine Quellen und Senken im Volumen

$$\int_{S_{surf}} \overline{e'w'} \cdot dS = \int_V \frac{de}{dt} dV - \int imb \cdot dV$$

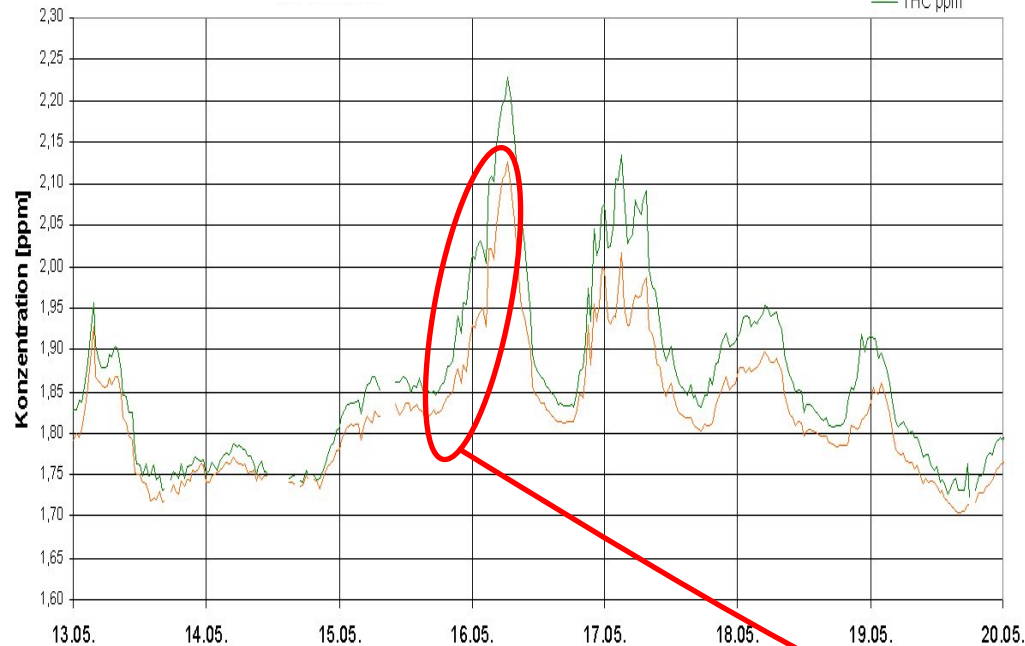
folgendes Beispiel: Methanflüsse ($e = c_{CH_4}$) aus dem Boden während nächtlicher Inversionswetterlagen

gleichzeitige Messung von Konzentration und Inversionshöhe

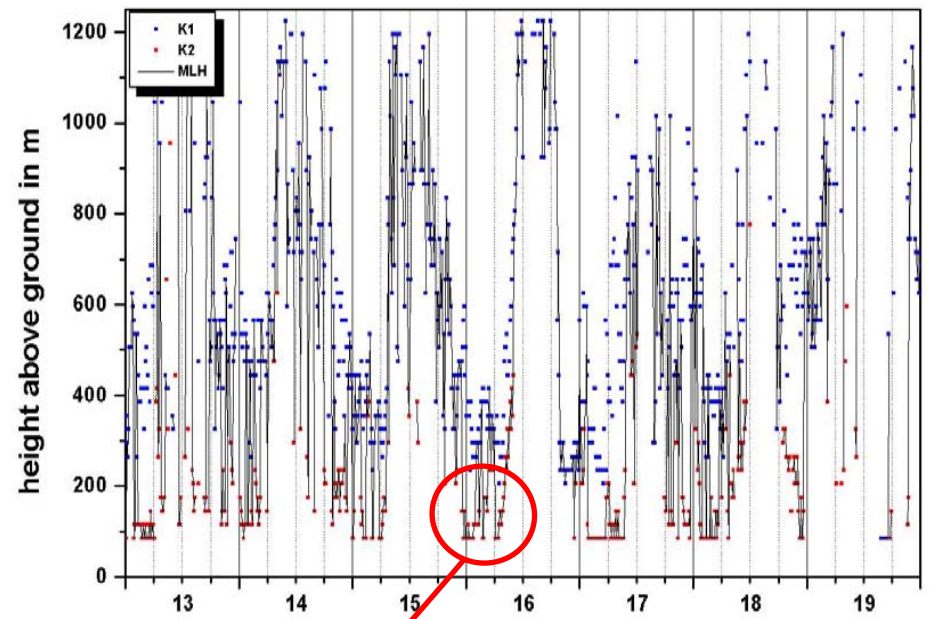
→ **inverse** Methode unter Benutzung **inverser** Messverfahren

C_{CH_4}

— CH₄ ppm
— NMHC ppm
— THC ppm



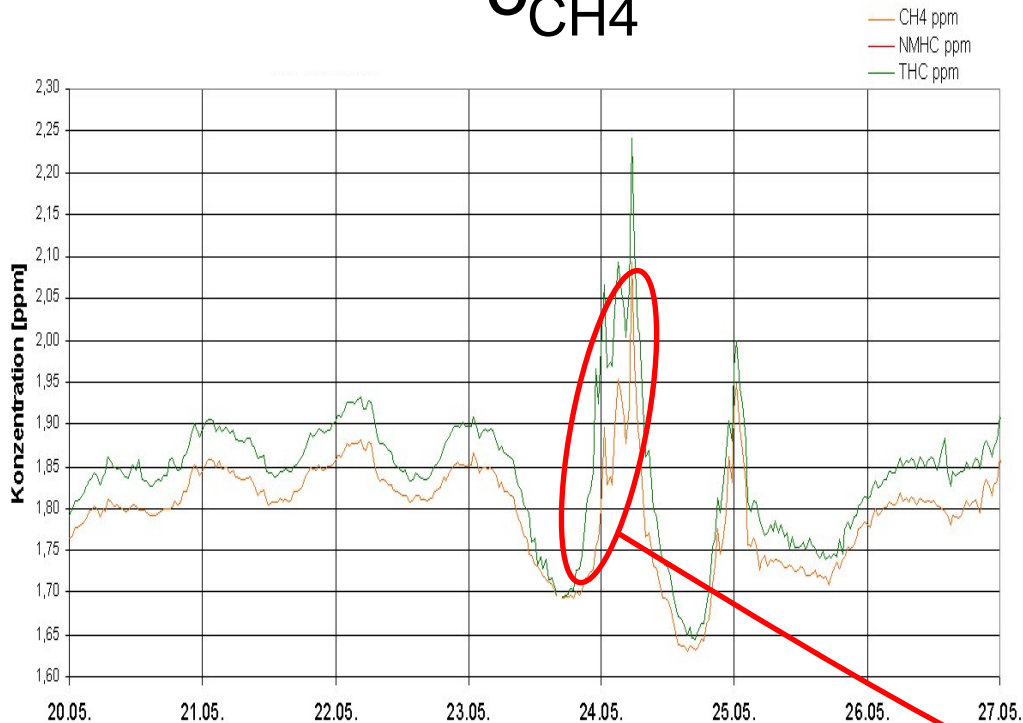
MLH



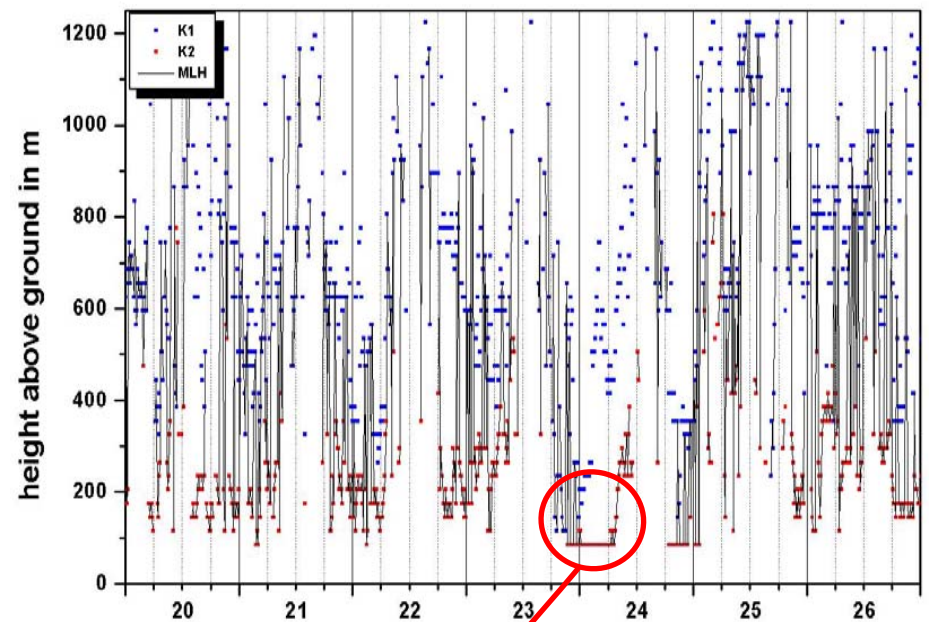
13.-19.05.2003

gleichzeitige Messung von Konzentration und Inversionshöhe

C_{CH_4}

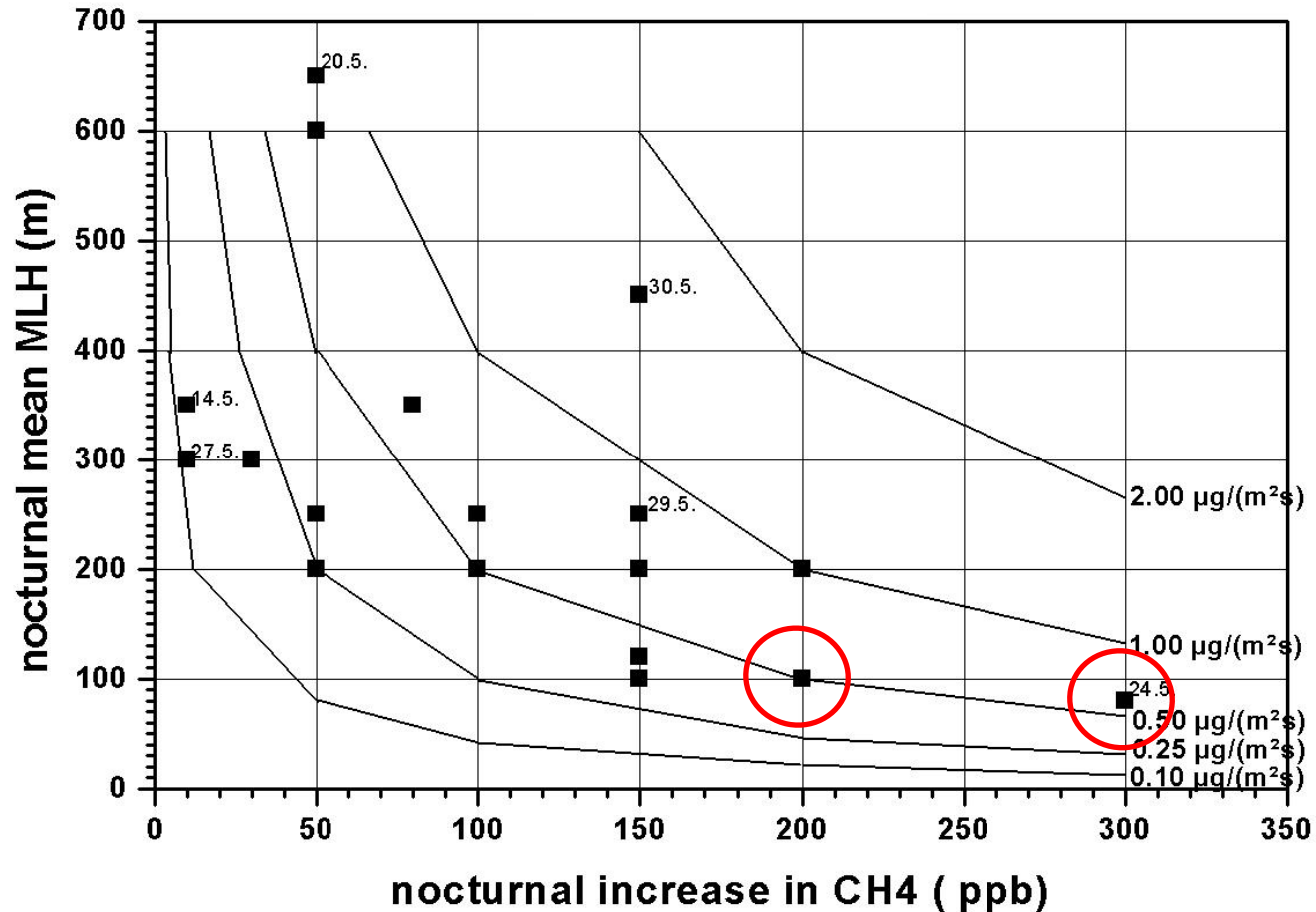


MLH



20.-26.05.2003

Bestimmung von $[e'w']_{surf}$ (Kurven) aus Konzentrationsänderung (x-Achse) und Inversionshöhe (y-Achse)



Bestimmung von $[e'w']_{surf}$ aus Konzentrationsänderung und Inversionshöhe

Methanemissionen:

typische Werte, die hier erhalten wurden:

Spanne:	0,10 bis 2,00 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{s})$
Mittelwert:	0,50 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{s})$

durchschnittlicher Wert aus den Zumeldungen
zum Kyoto-Protokoll:

für ganz Deutschland:	0,20 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{s})$
davon aus der Landwirtschaft:	0,13 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{s})$

Schlussfolgerungen

Die Kombination von modernen (und sich noch weiter entwickelnden) Fernerkundungsverfahren mit Gesetzen der atmosphärischen Grenzschicht (Haushaltsmethoden) erlaubt es, den Austausch zwischen bodennahen Ökosystemen und der Atmosphäre zu beobachten.

Bodenkammern:	repräsentativ für 1 m², 10 – 60 min
direkte Flussmessungen: (auch Fernerkundung)	repräsentativ für 1 - 10 km², 10 - 30 min (footprint)
Haushaltsmethoden:	repräsentativ für 100 – 1000 km², 30 - 360 min

d.h., durch eine geeignete Wahl des Verfahrens können Flüsse für ausgewählte räumliche und zeitliche Skala bestimmt werden.

Mein Dank gilt den immer wieder erfahrenden Wegweisungen



Haltet die Berge sauber
Läßt keine Abfälle zurück



Nur für Geübte