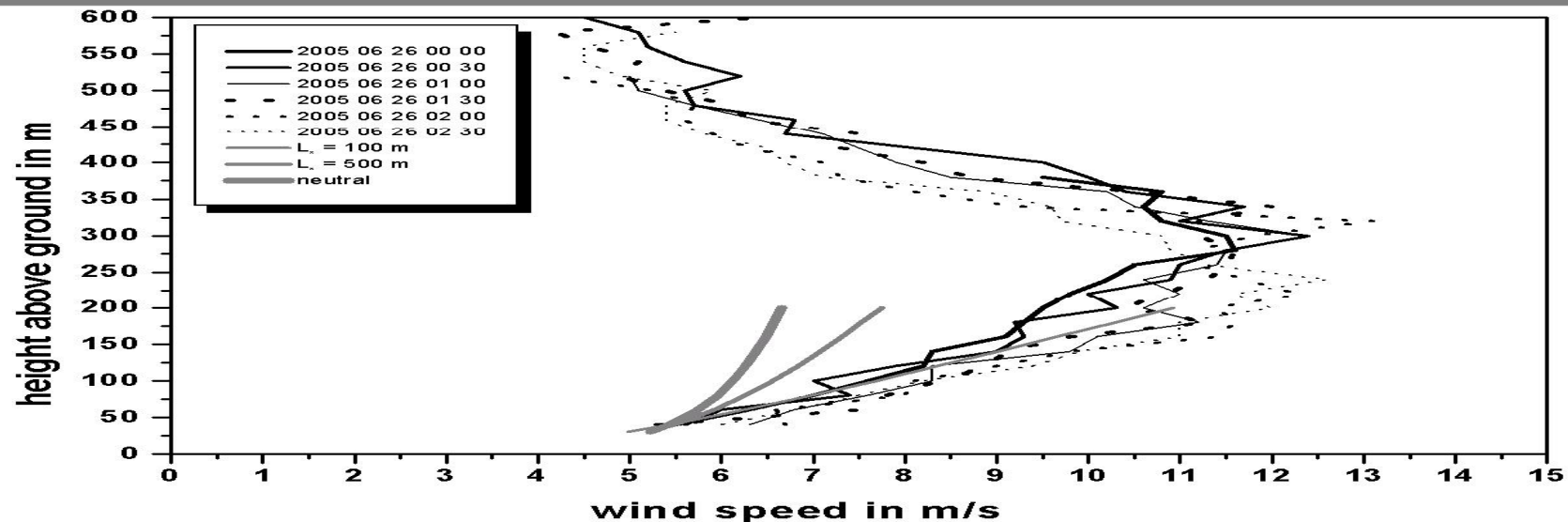


Moderne meteorologische Messverfahren für die Wettervorhersage und die atmosphärische Umweltforschung

Stefan Emeis
stefan.emeis@kit.edu

INSTITUTE OF METEOROLOGY AND CLIMATE RESEARCH, Atmospheric Environmental Research



Zur Person:

apl. Professor für Meteorologie an der Universität zu Köln

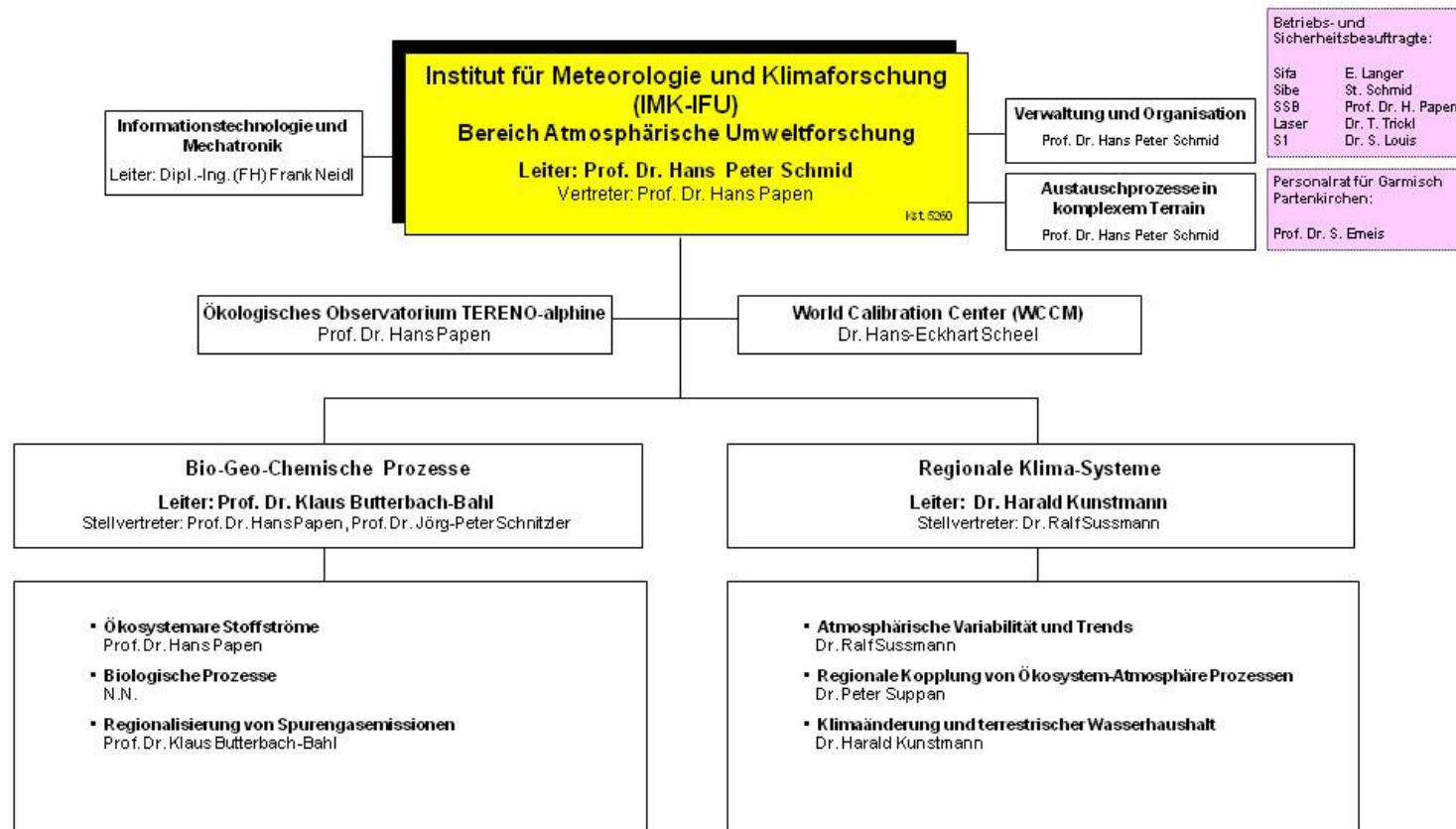
Mitarbeiter am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (Atmosphärische Umweltforschung) des Karlsruher Instituts für Technologie in Garmisch-Partenkirchen

Stellvertr. Chefherausgeber der Meteorologischen Zeitschrift

Obmann der Arbeitsgruppe „Bodengebundene Fernmessung meteorologischer Größen“ (Normenausschuss der „Kommission Reinhaltung der Luft“ im VDI und DIN)

Das Institut

April 2011

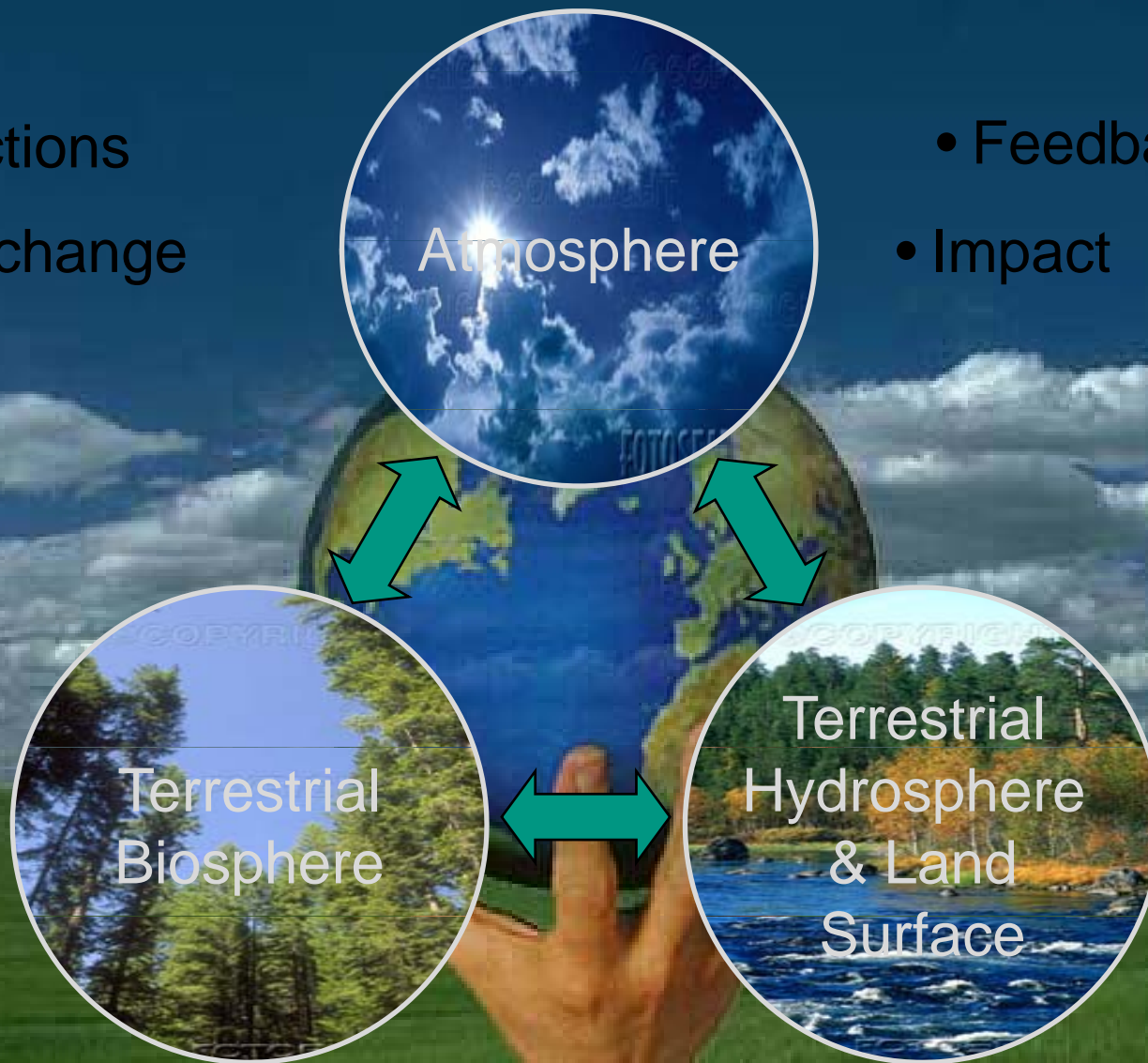


0

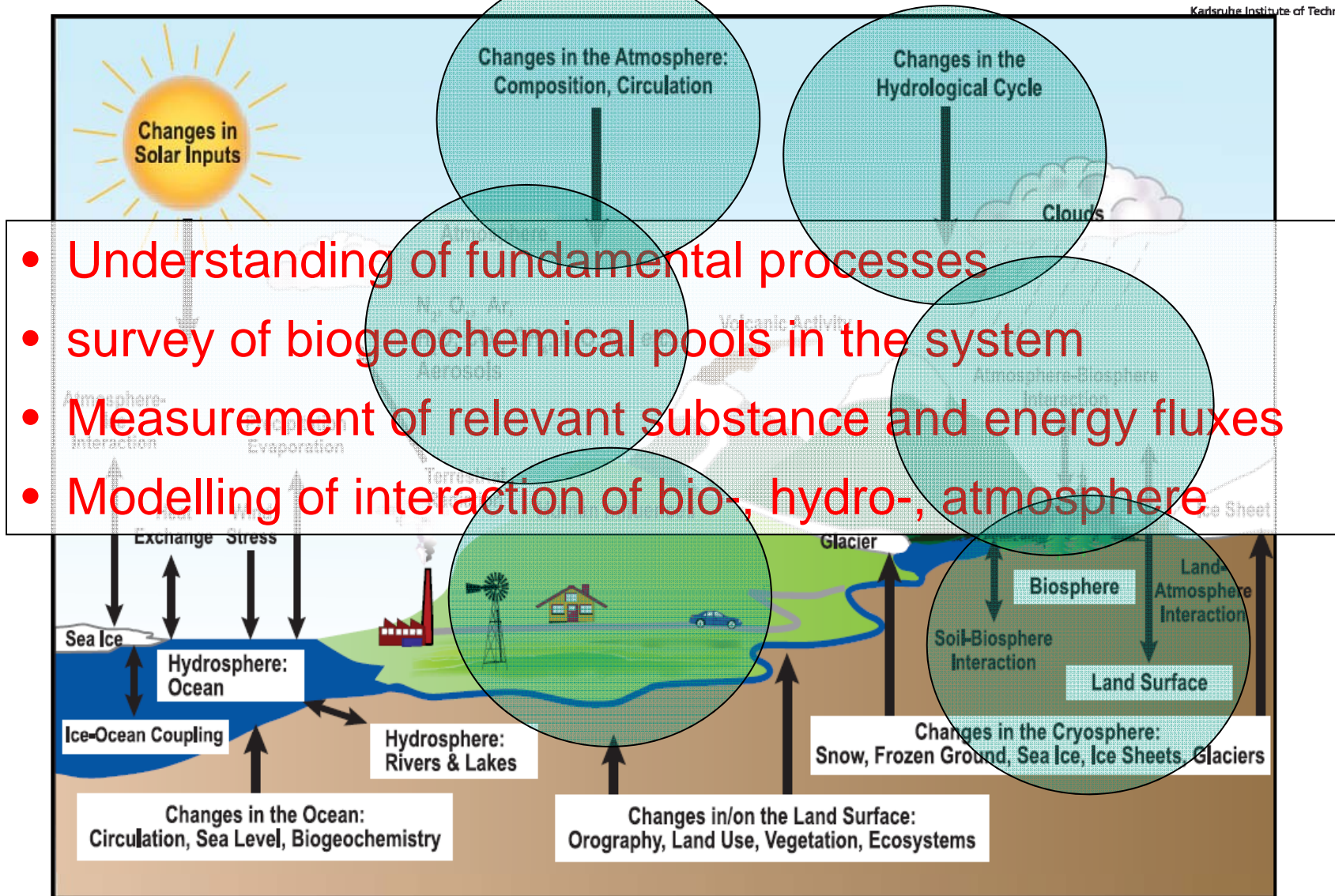


- Interactions
- Exchange

- Feedback
- Impact



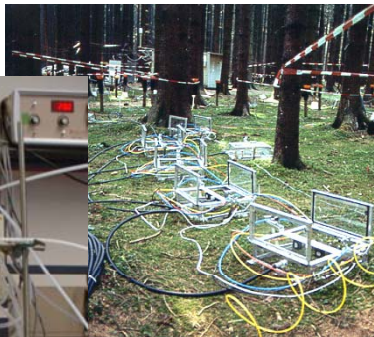
The challenge:



The challenge:



organisms
(laboratory meas.)



plot scale
(chamber meas.)



ecosystem scale
(tower meas./
remote sensing)



regional scale
(aircraft meas.)



global scale
(remote sensing)

Regionale Kopplung von Ökosystem-Atmosphäre Prozessen (Dr. Peter Suppan)

- Wechselwirkung zwischen urbanen/suburbanen/ländlichen Regionen und Rückwirkungen auf die Luftqualität
- Einfluss regionaler Klimaänderungen auf die Luftqualität
- Entwicklung und Validierung von innovativen Messtechniken für Luftqualität (z.B. für Megacities, alpine Täler)
- Kopplung von Modellen (z.B. MCCM, WRF-Chem, NEMO, GRAL, GRAMM)
- Vorhersage von gas- und partikelförmigen Schadstoffen
- Analyse von Emissionsstrategien (z.B. source attribution)
- städtische Wärmeinseln
- meteorologische Grundlagen der Windenergie

Geographische Schwerpunkte

- Chile, Mexico, China
- Europa und Europäische Alpen



klassische in-situ Messverfahren

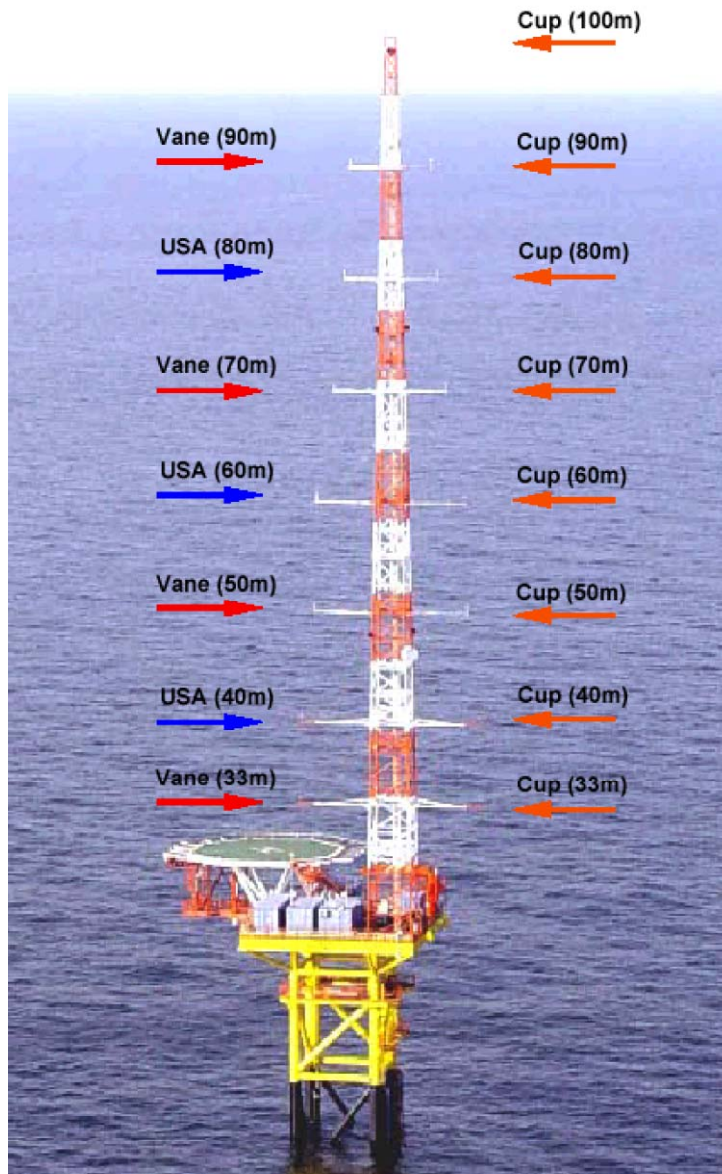


Wetterhütte für Beobachtungen in Bodennähe (2 m Höhe)



Sonnenscheinautograph

Messung der Sonnenscheindauer



Messmast FINO 1

Deutsche Bucht

45 km vor Borkum

(Foto: T. Neumann, DEWI)



Ultraleichtflugzeug für Beobachtungen bis in ca. 4 km Höhe

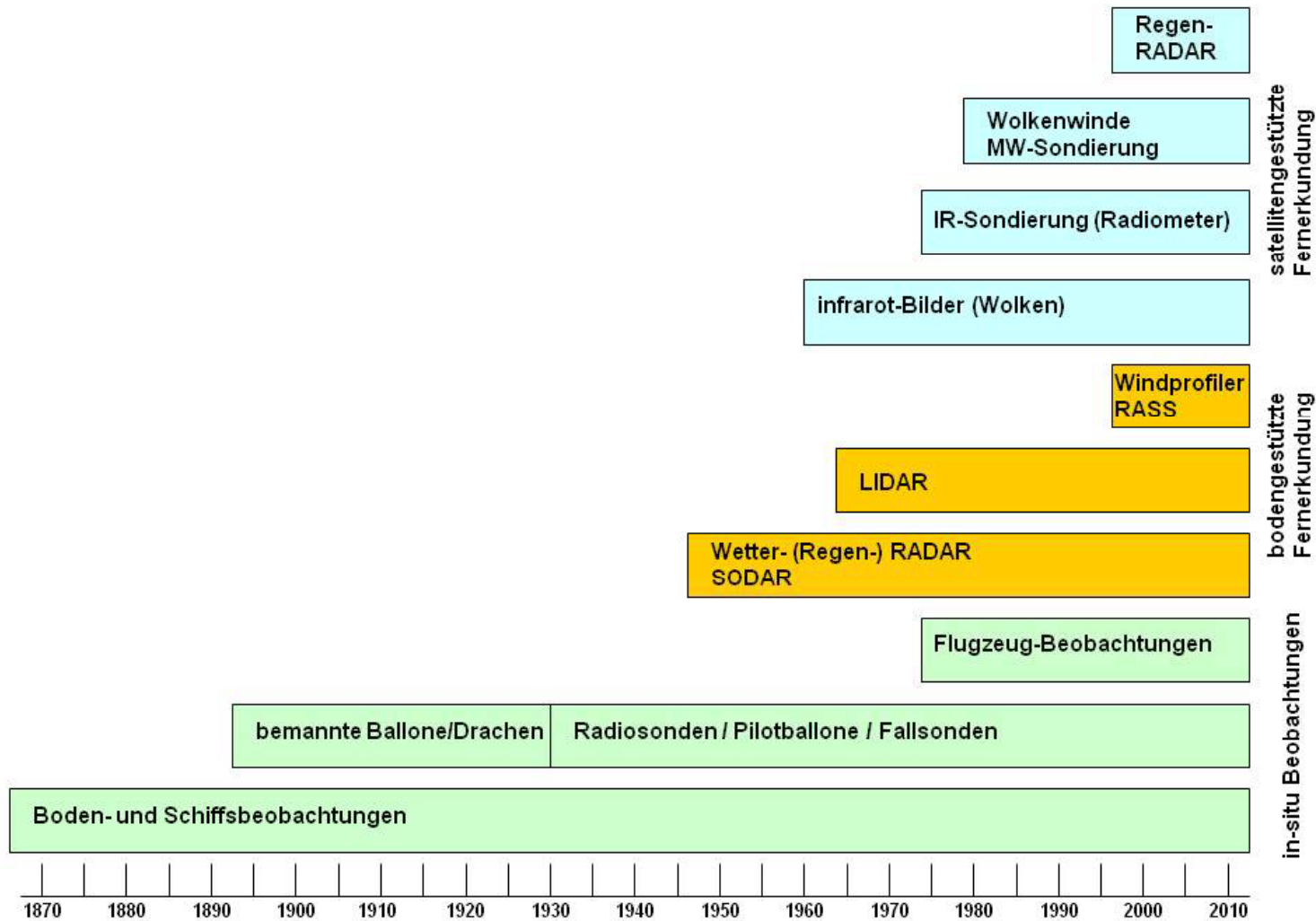
(Foto: Stefan Metzger)



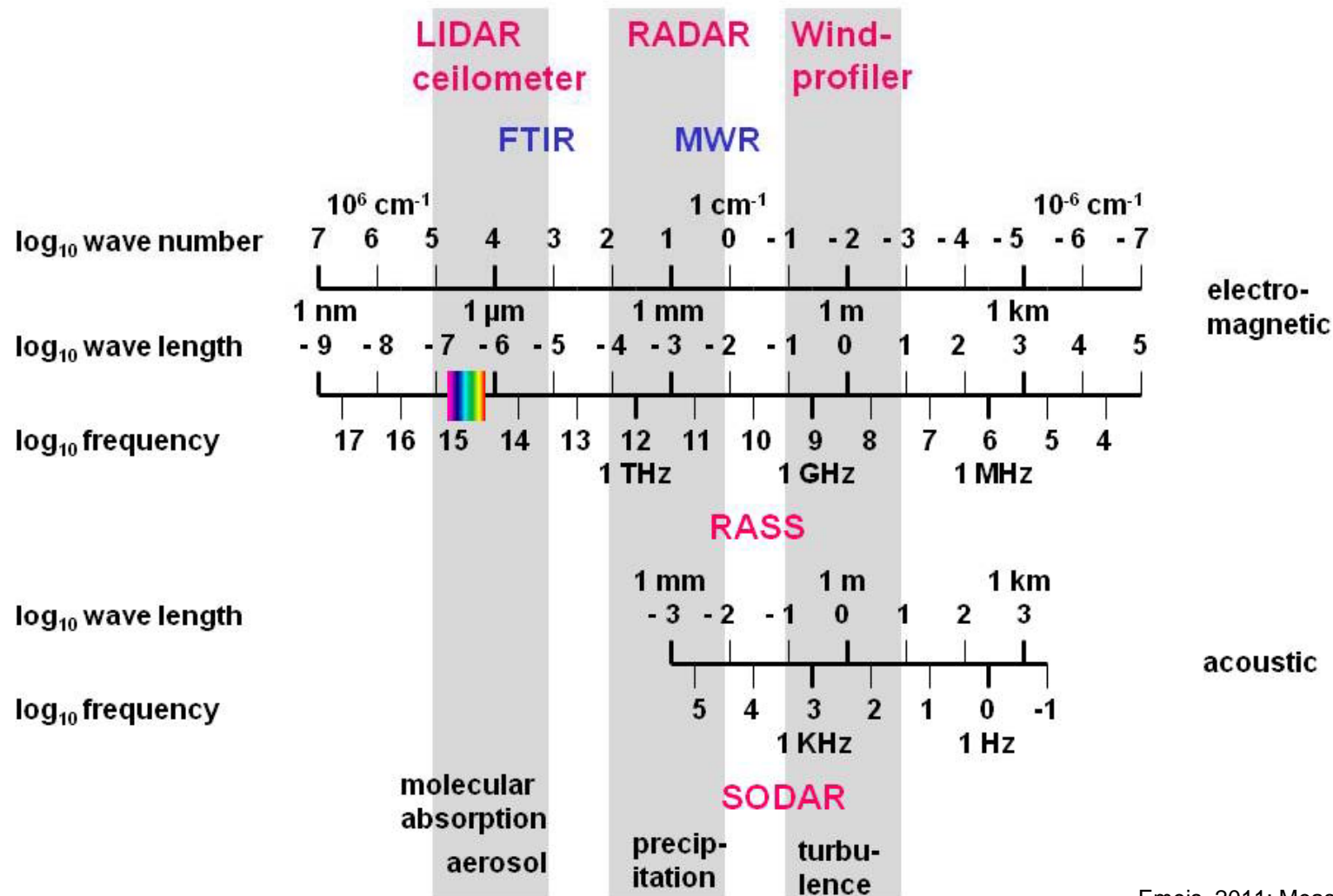
Wetterballon für Beobachtungen bis hinauf in die Stratosphäre

Fernerkundungsverfahren

Zeitliche Entwicklung von Messtechniken

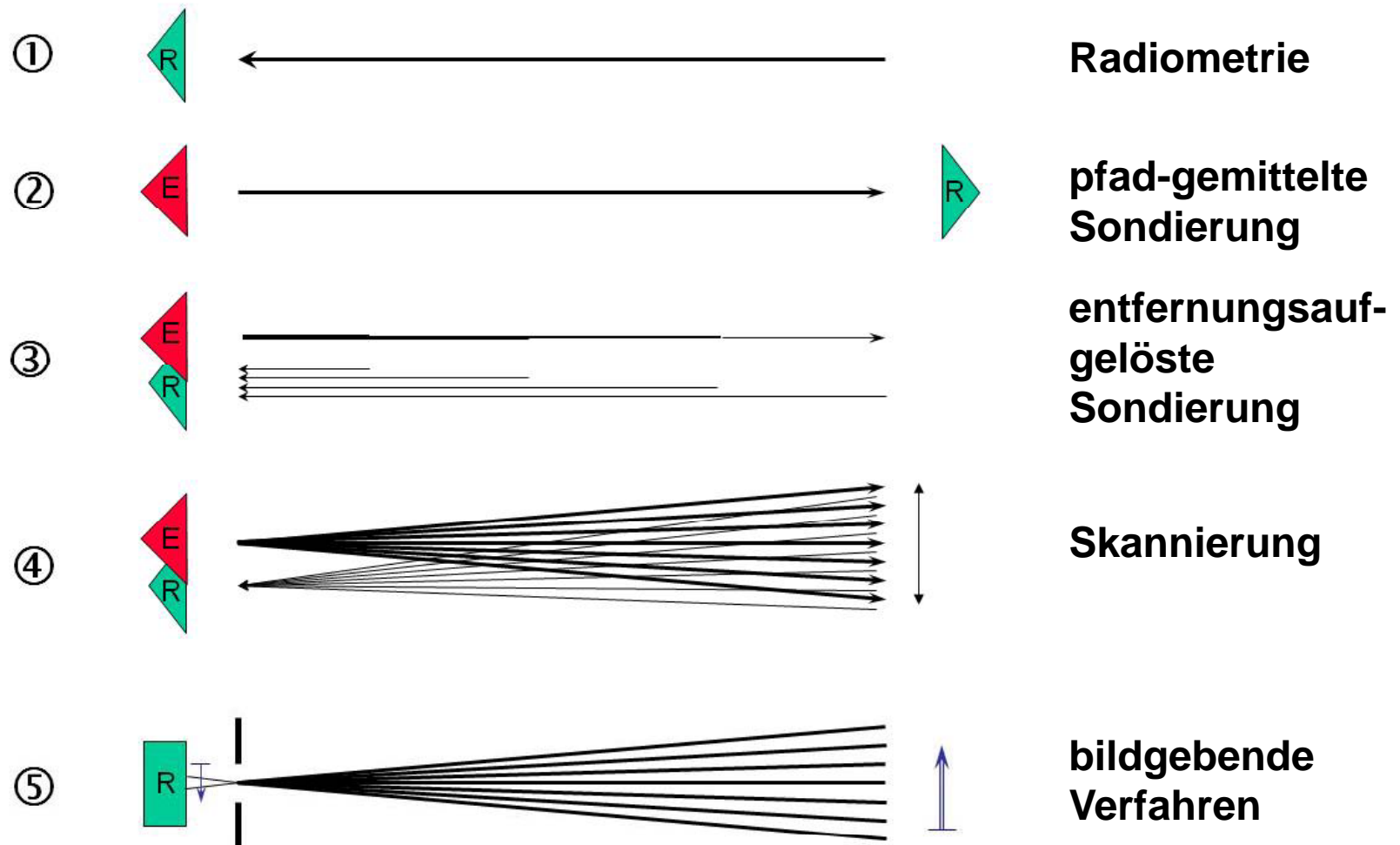


Typische Frequenzbänder für Fernerkundung der Atmosphäre

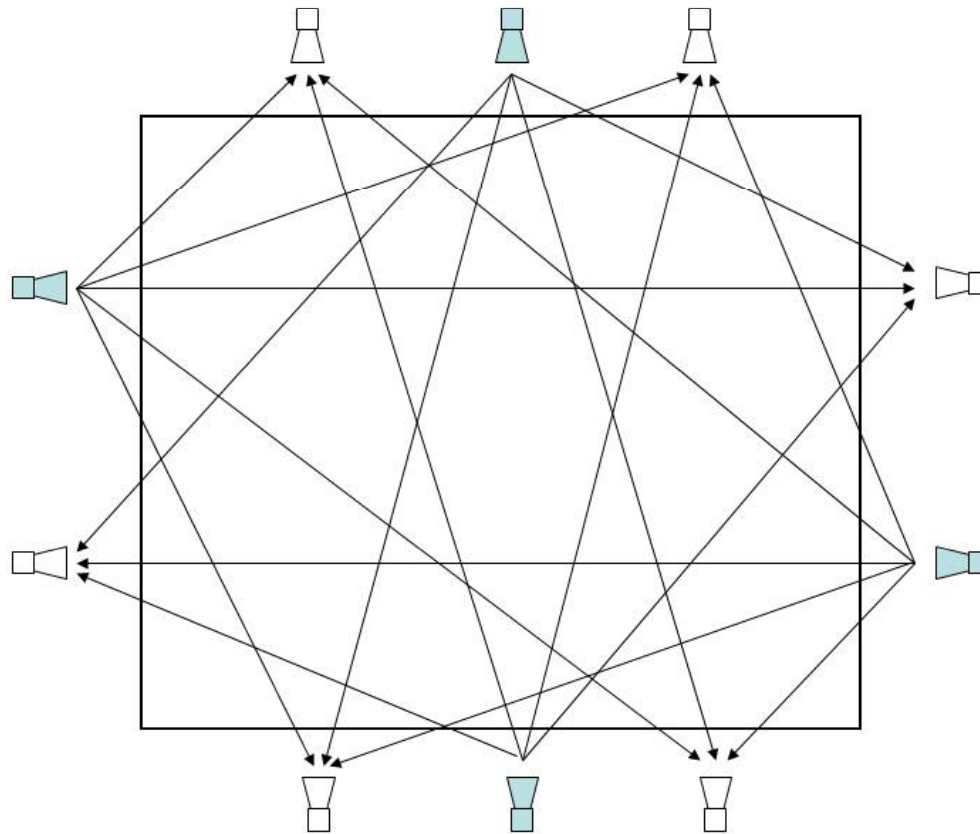


Emeis, 2011: Measurement Methods in Atmospheric Sciences. Borntraeger, Stuttgart.

verschiedene Geometrien für bodengestützte Fernmessverfahren



verschiedene Geometrien für bodengestützte Fernmessverfahren



**tomographische
Verfahren**

Übersicht bodengestützte Fernmessverfahren

name	principle	spatial resolution	direction	type
RADAR	backscatter, electro-magnetic pulses, fixed wave length	profiling	scanning, slanted	active, monostatic
SODAR	backscatter, acoustic pulses, fixed wave length	profiling	fixed, slanted, vertical	active, usually monostatic
LIDAR	backscatter, optical pulses, fixed wave length(s)	profiling	scanning, fixed, horizontal, slanted, vertical	active, monostatic
RASS	backscatter, acoustic, electro-magnetic, fixed wave length	profiling	fixed, vertical	active, monostatic
	absorption, infrared, spectrum	path-averaging	fixed, horizontal, slanted	active, bistatic or passive
FTIR	emission, infrared, spectrum	path-averaging	fixed, horizontal, slanted	passive
DOAS	absorption, optical, fixed wave lengths	path-averaging	fixed, horizontal	active, bistatic
radiometry	electro-magnetic, fixed wave length(s)	averaging, profiling	fixed, scanning, slanted, vertical	passive
tomography	travel time, acoustic, fixed wave length	horizontal distribution	fixed, horizontal	active, multiple emitters and receivers

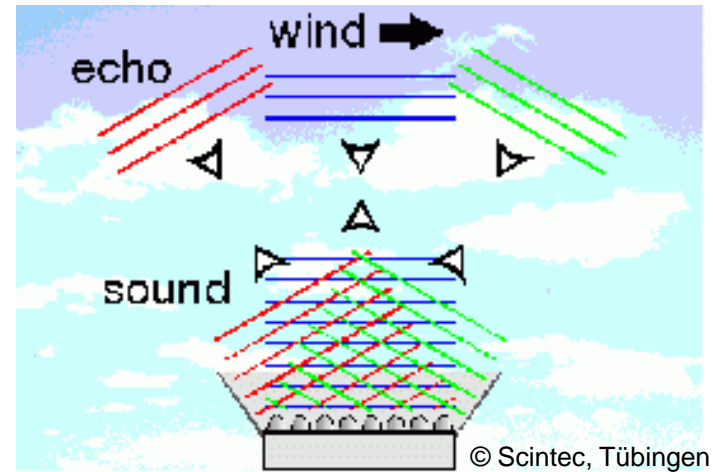
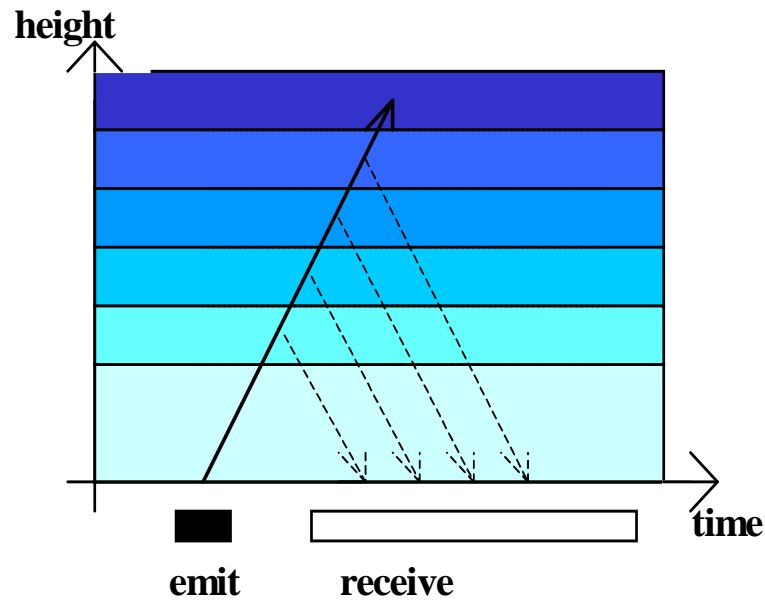
in diesem Vortrag

in diesem Vortrag

SODAR

zur Messung des vertikalen Wind- und Turbulenzprofils

monostatisches SODAR: Messprinzip



deduction:

sound travel time	=	height
backscatter intensity	=	turbulence
Doppler-shift	=	wind speed

Emission of sound waves
into three directions:

in order to measure all three
components of the wind
(horizontal and vertical)



Drei-Antennen SODAR
Reichweite: ca. 1 km



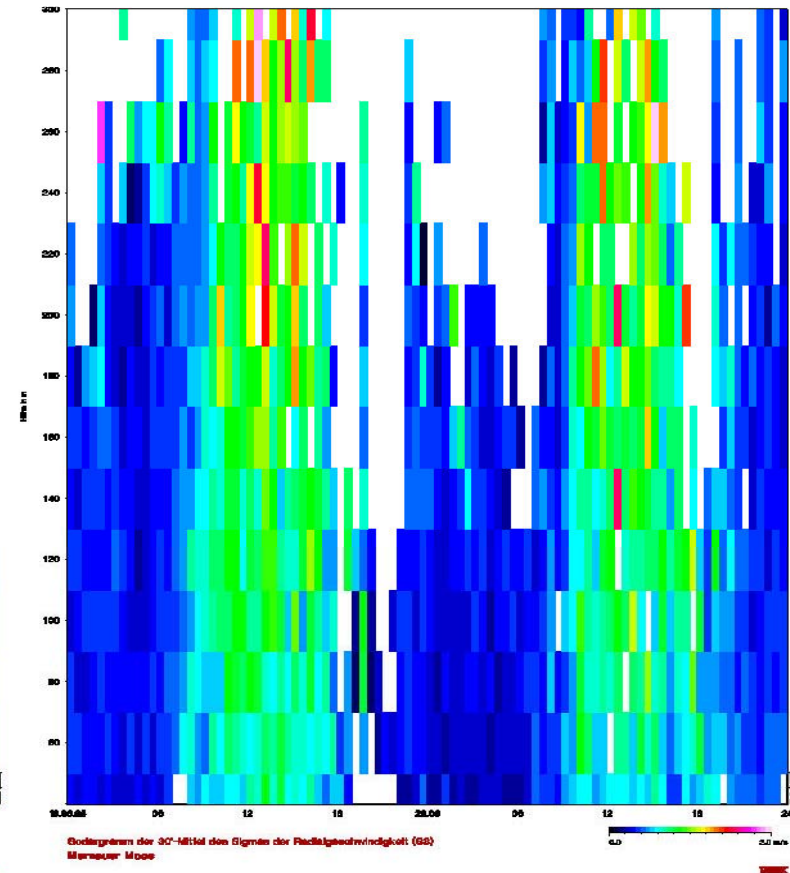
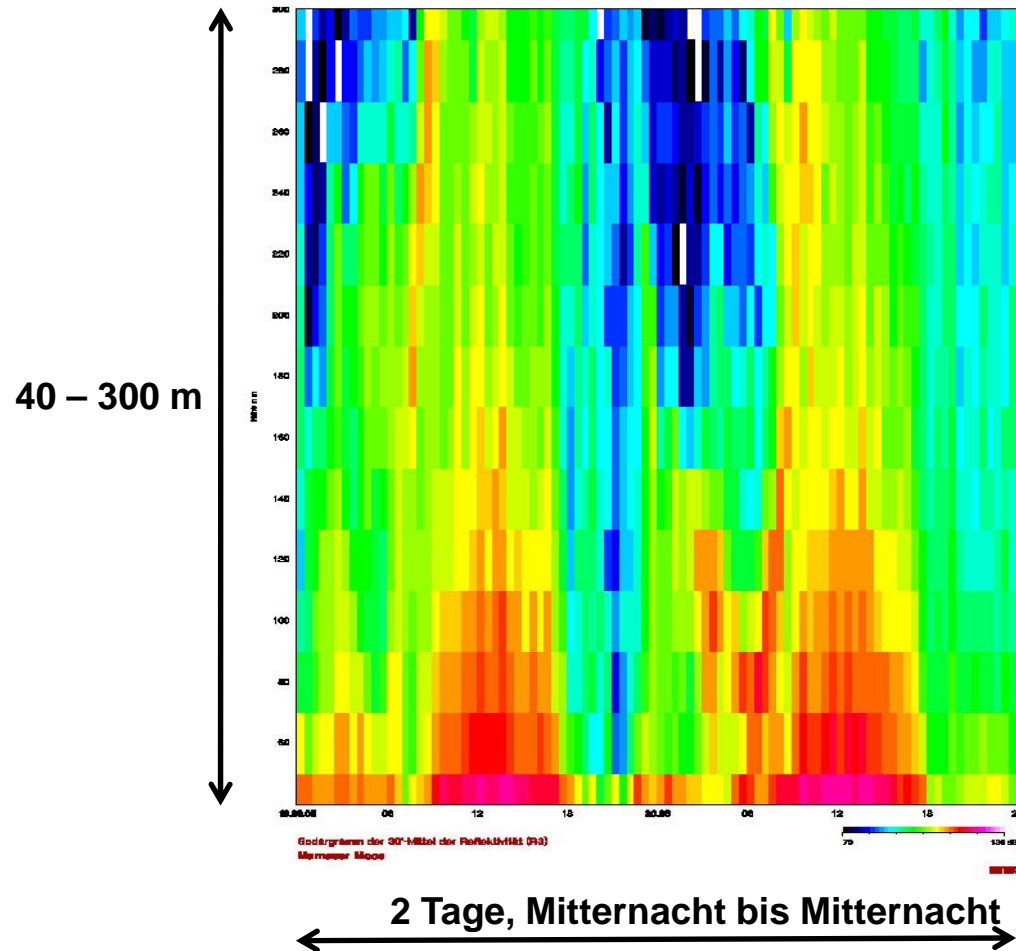
Phasen-array SODAR
Reichweite: ca. 600 m



Messbeispiel SODAR (konvektive GS tagsüber)

akustische Rückstreuintensität

sigma w

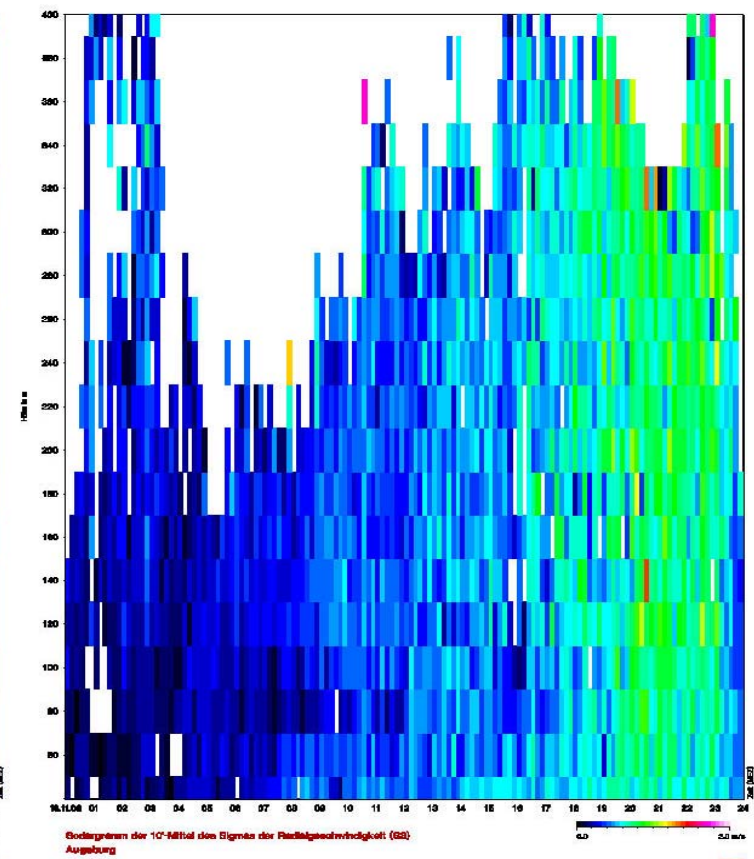
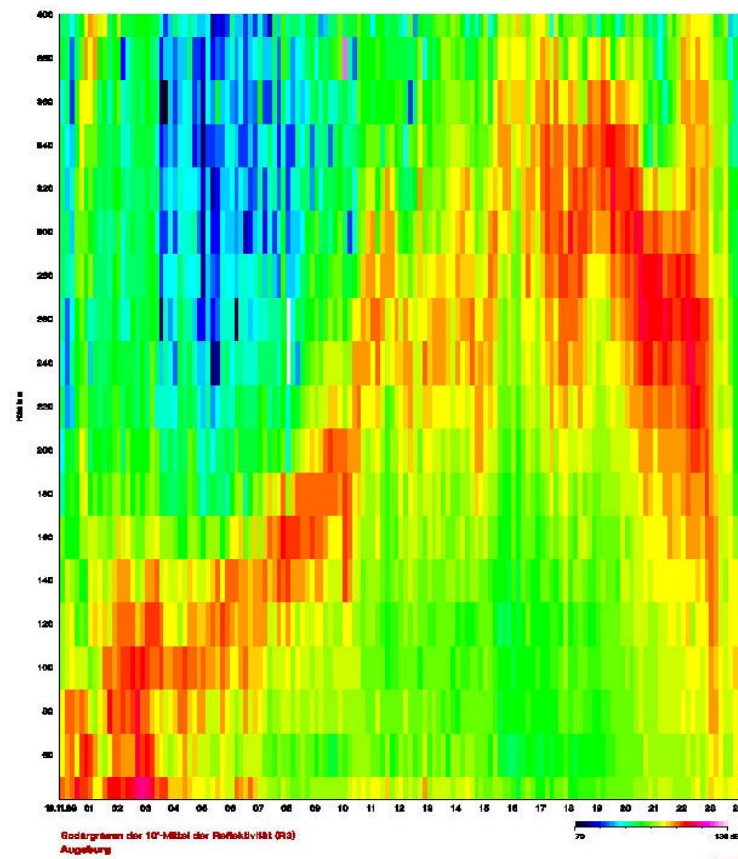


Messbeispiel SODAR (abgehobene Inversion)

akustische Rückstreuintensität

sigma w

40 – 400 m



1 day, midnight to midnight

Atmosphärische (Schönwetter-)Grenzschicht (Mischungsschichthöhe)

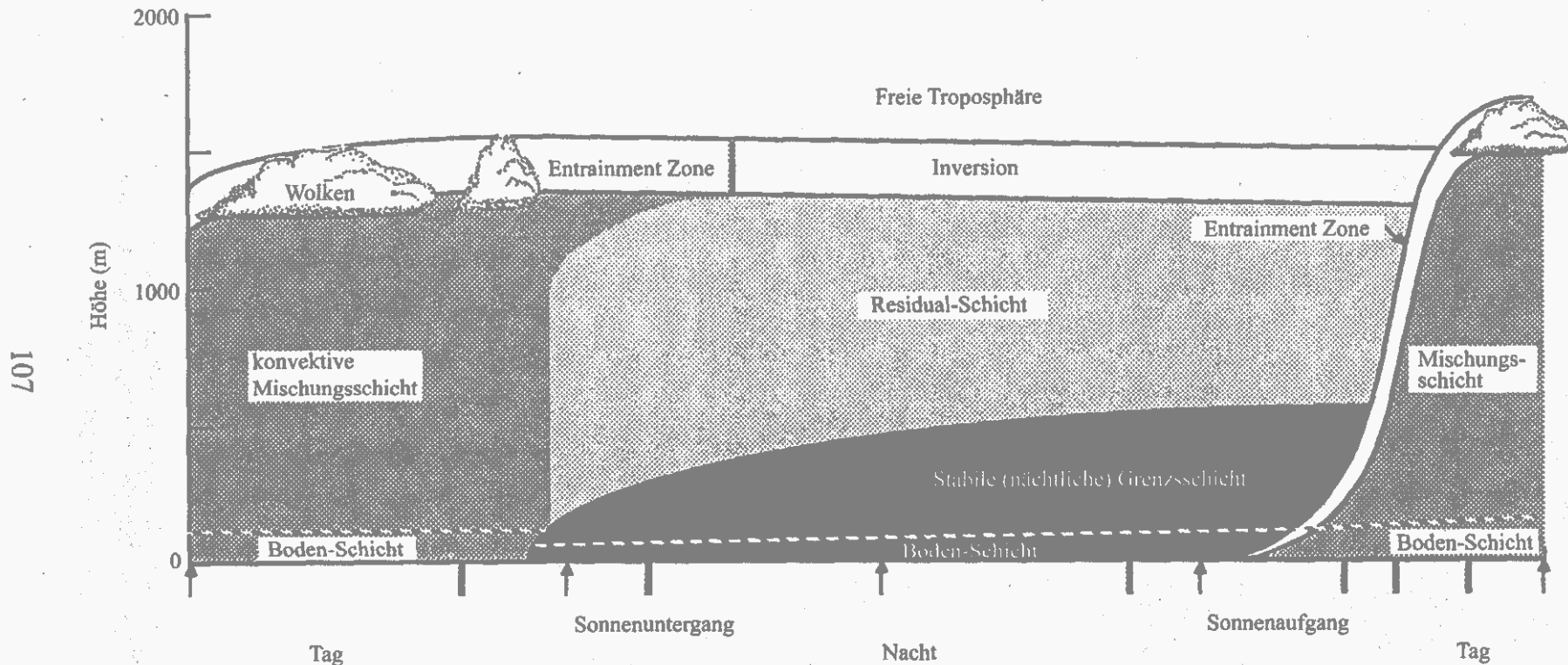


Abb. 7.2. Tagesgang der atmosphärischen Grenzschicht von Mittag (links über Mitternacht (Mitte) bis zum Mittag des nächsten Tages (rechts) für ruhiges Wetter mit klarem Himmel (modifiziert nach STULL 1988).

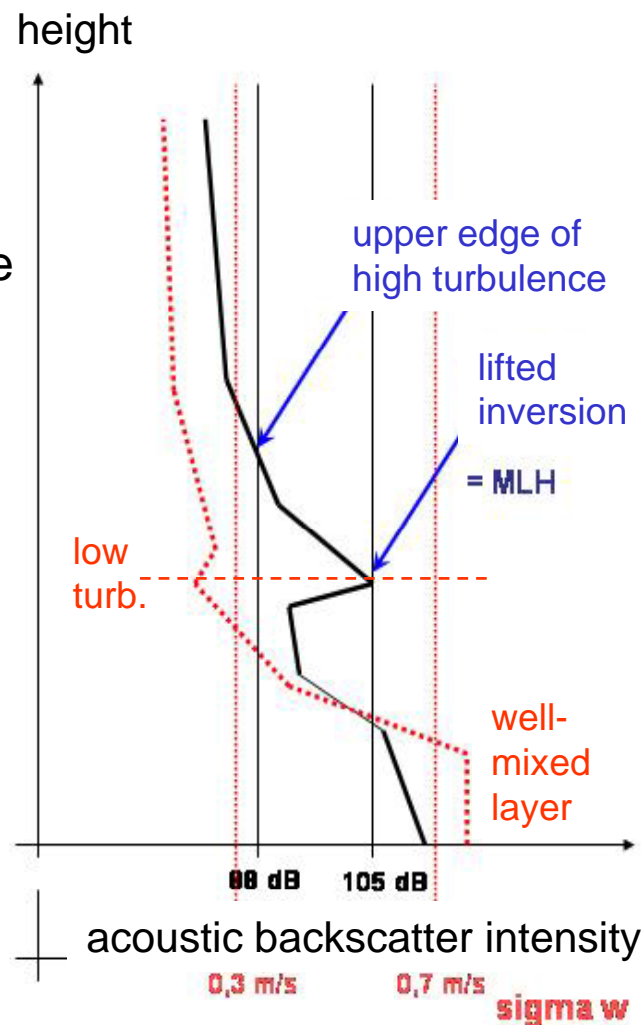
Quelle: Emeis, S.: Meteorologie in Stichworten. Bortraeger, Stuttgart, 2000.

Algorithmen zur Bestimmung der Mischungsschichthöhe aus SODAR-Daten

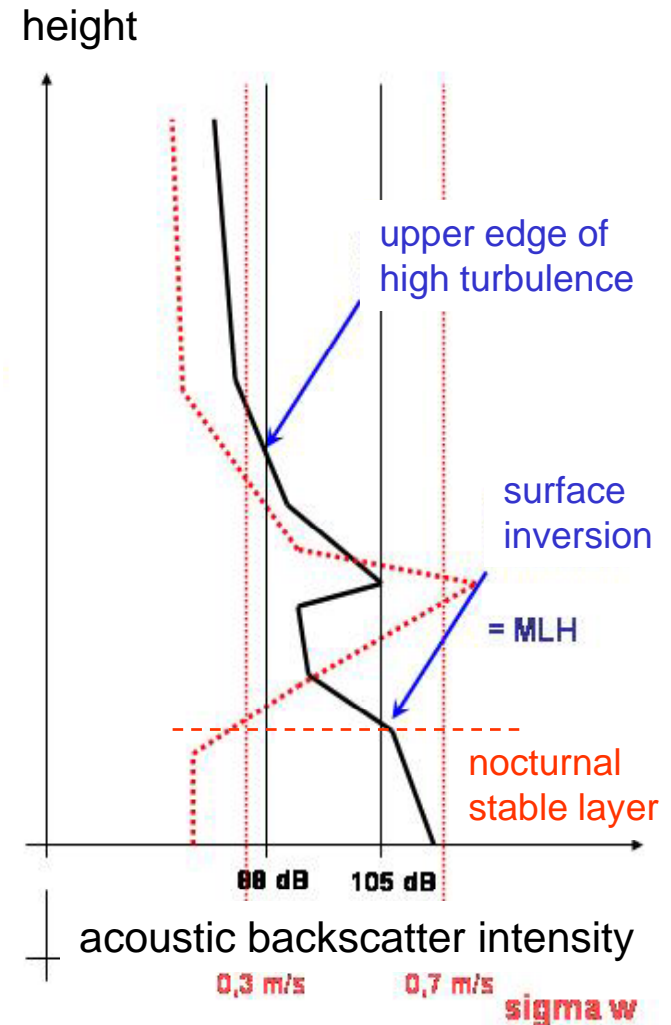
Kriterium 1:
Obergrenze erhöhter Turbulenz

Kriterium 2:
Boden- und abgehobene Inversionen

$$MLH = \text{Min}(C1, C2)$$



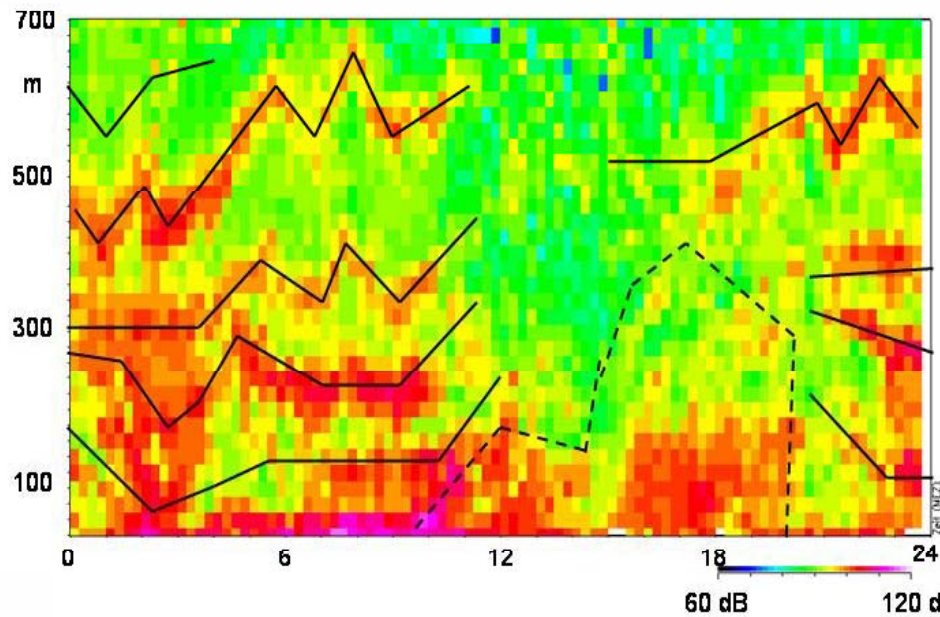
Beispiel 1: tagsüber



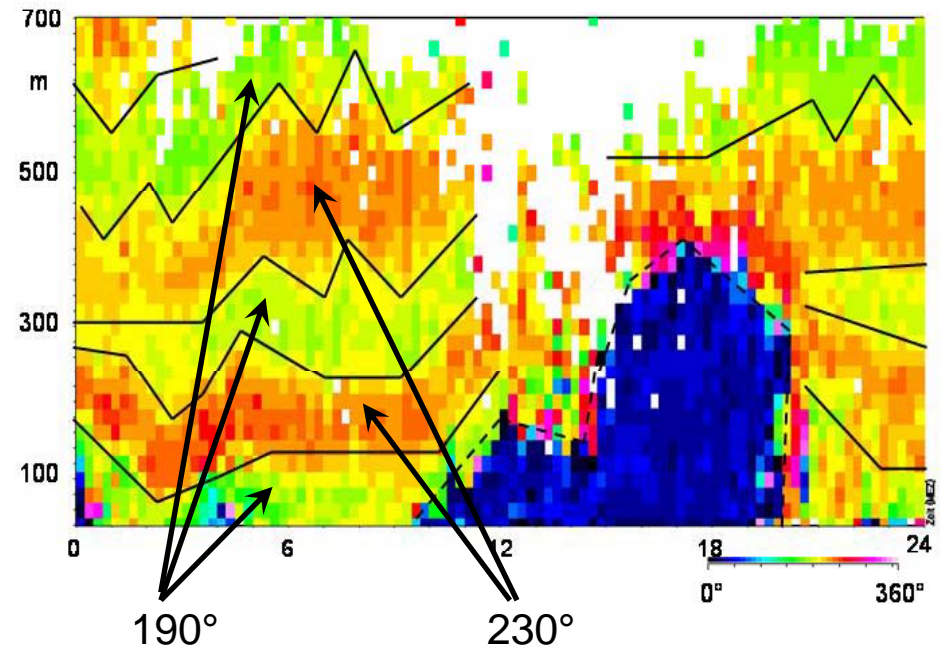
Beispiel 2: nachts

SODAR-Messungen in einem winterlichen Alpental

29. Januar 2006



Rückstreuintensität



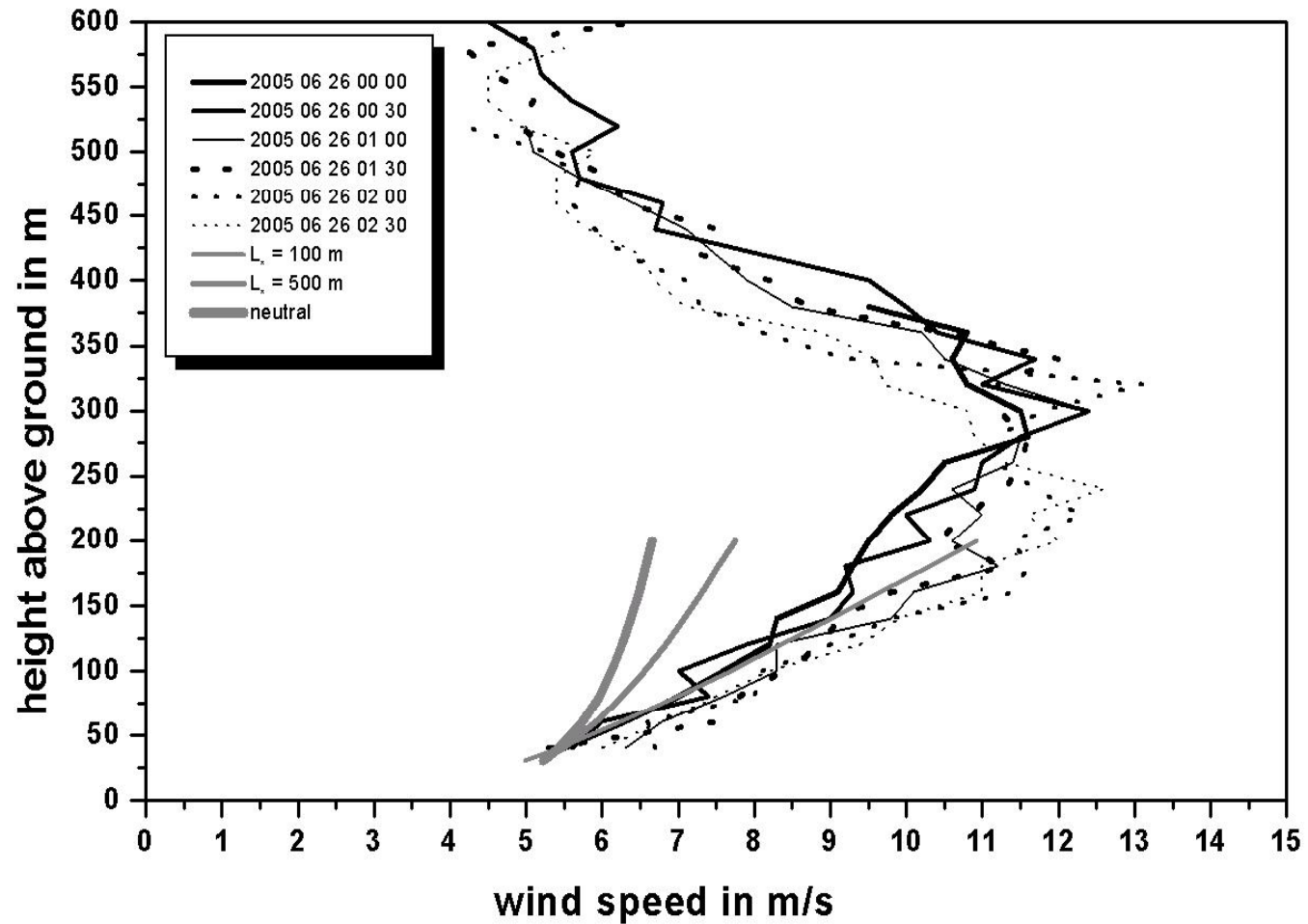
Windrichtung

Low-level jet (nächtlicher Grenzschichtstrahlstrom)

vertikale
Windprofile
nachts

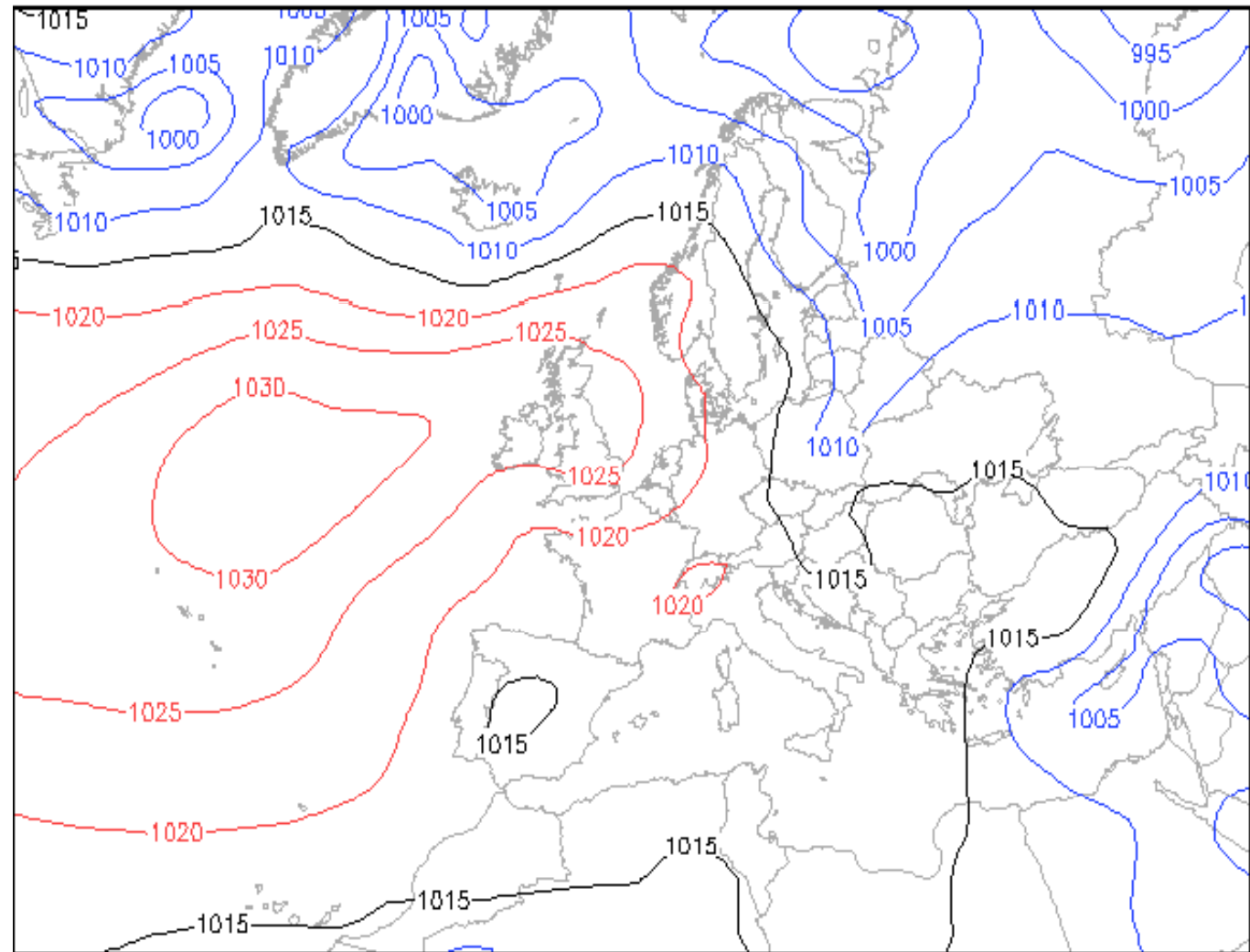
26. Juni 2005

AdP Ch d G



Low-level jet (nächtlicher Grenzschichtstrahlstrom)

**Bodendruck
00 GMT
26. Juni 2005**

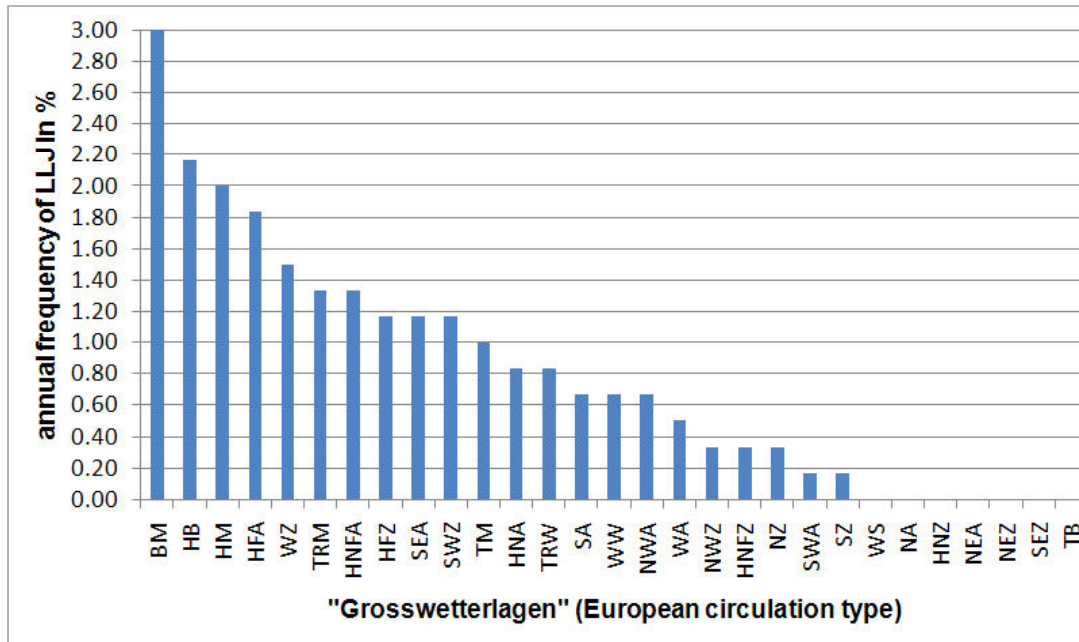


Bodendruck GFS (hPa)

So 26.06.05 00 GMT (Sa 00 + 24)
WetterOnline

Häufigkeit von LLJ über Hannover für 20 Monate in den Jahren 2001 bis 2003

Total: 23.17% aller Nächte



Großwetterlagen (GWL):

BM Brücke über Mitteleuropa

HB Hoch Britische Inseln

HM Hoch Mitteleuropa

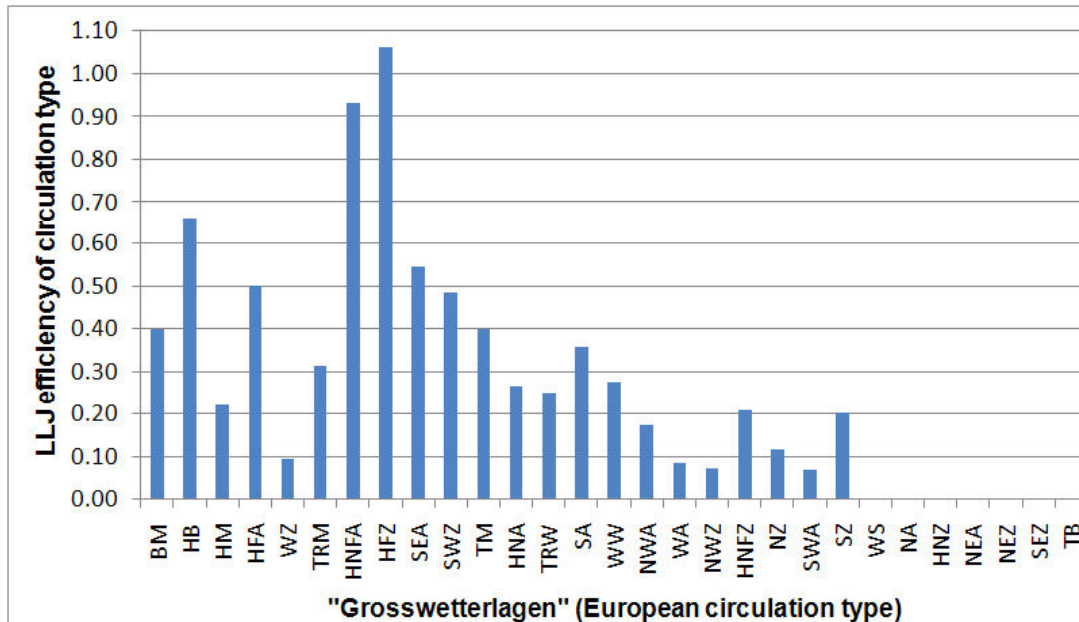
...

HFZ Hoch Fennoskandien

HNFA Hoch Nordatlantik

...

“Effizienz” einer GWL
einen LLJ zu produzieren

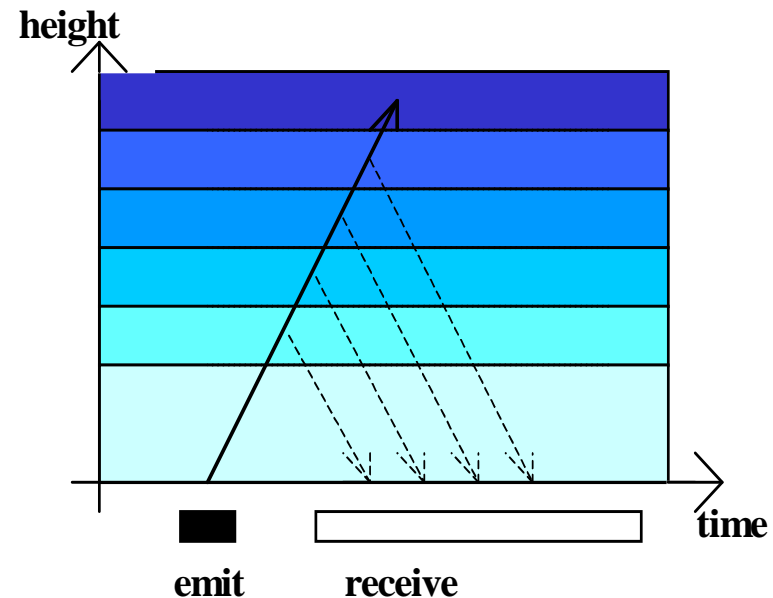


Ceilometer

**zur Messung des Vertikalprofils
der Aerosolrückstreuung**

**(Ursprünglich nur zur Messung
der Höhe der Wolkenuntergrenze)**

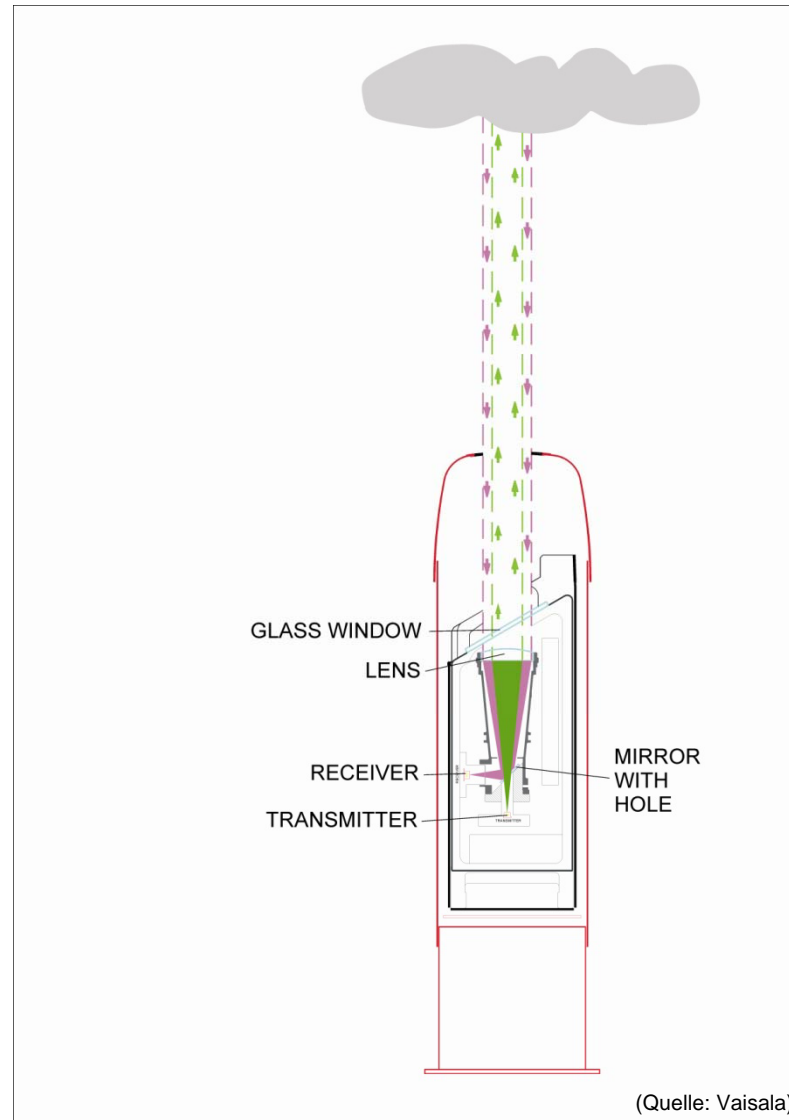
Ceilometer/LIDAR Messprinzip



detection:

travel time of signal	= height
backscatter intensity	= particle size and number distribution
Doppler-shift	= cannot be analyzed from ceilometer data (only from Wind-LIDAR: velocity component in line of sight)

Ceilometer

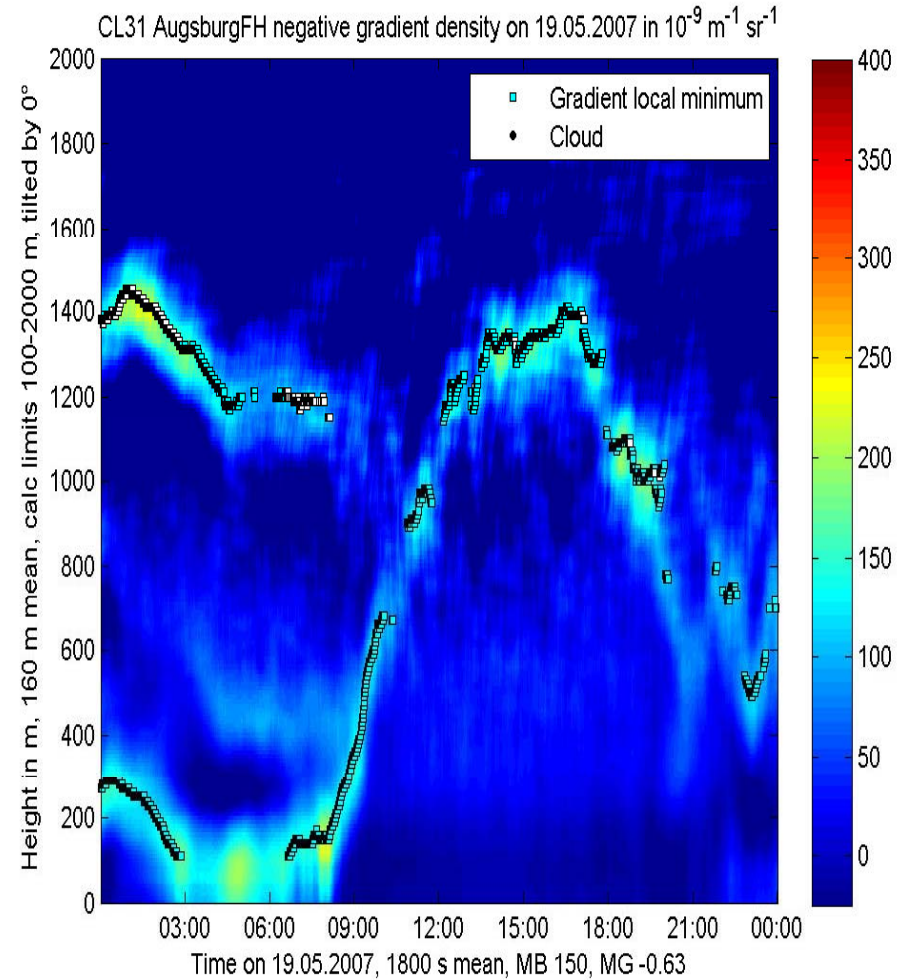
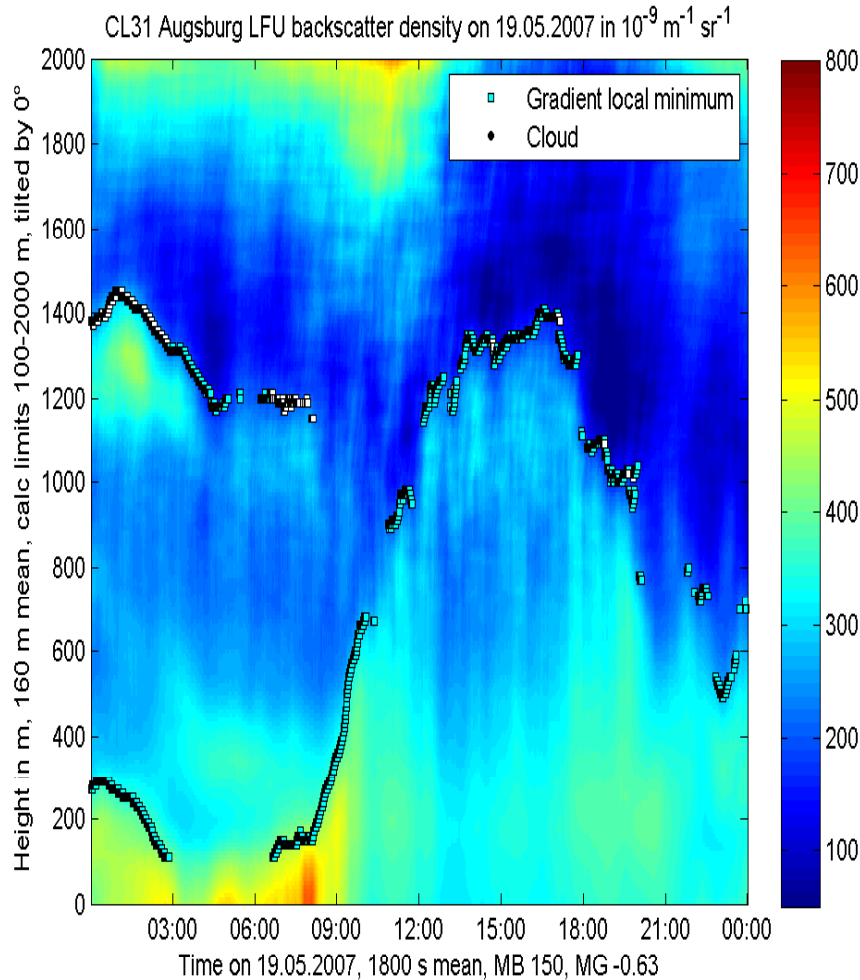


Messbeispiel Ceilometer (konvektive GS tagsüber)



negativer vertikaler Gradient der optischen Rückstreuintensität

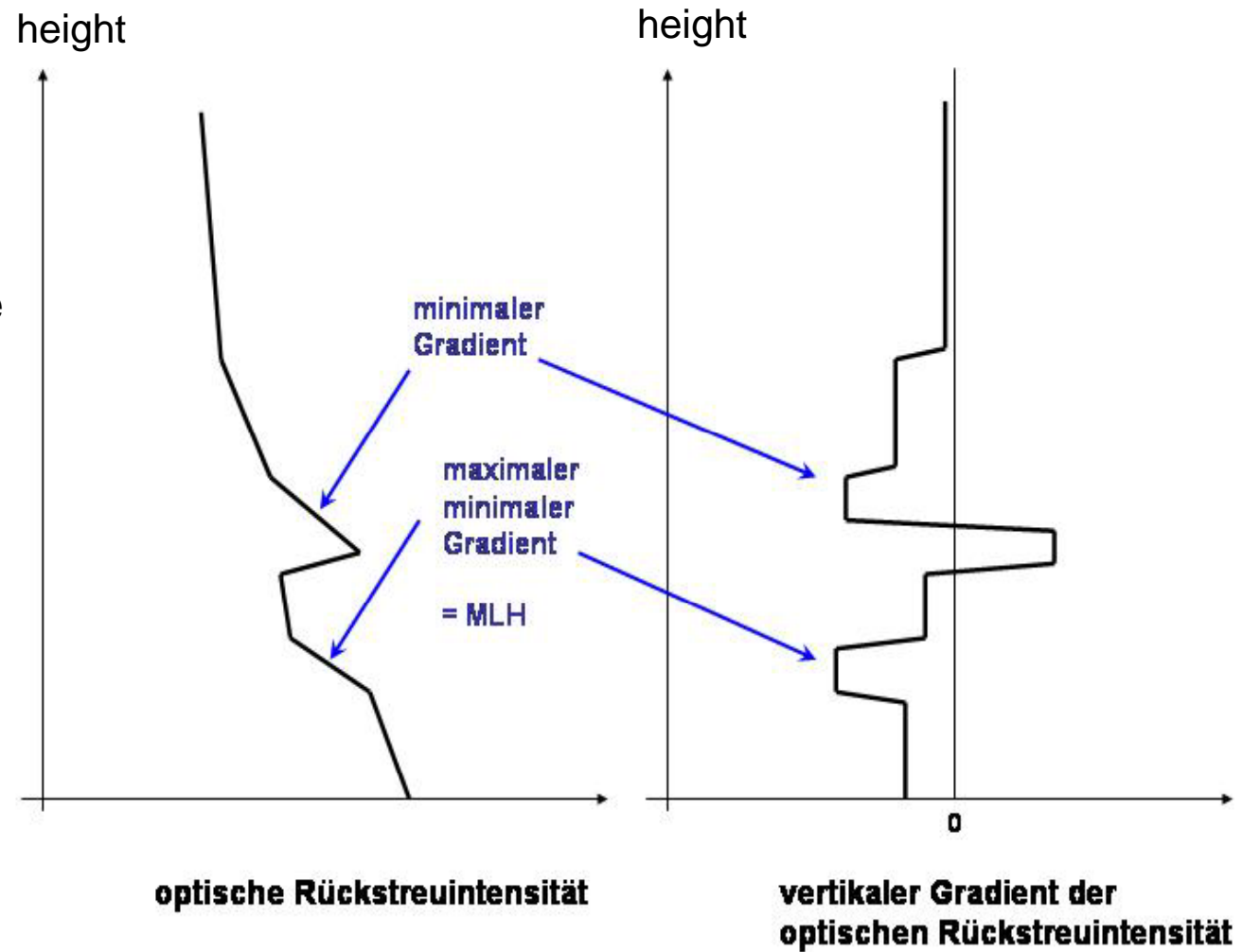
optische Rückstreuintensität



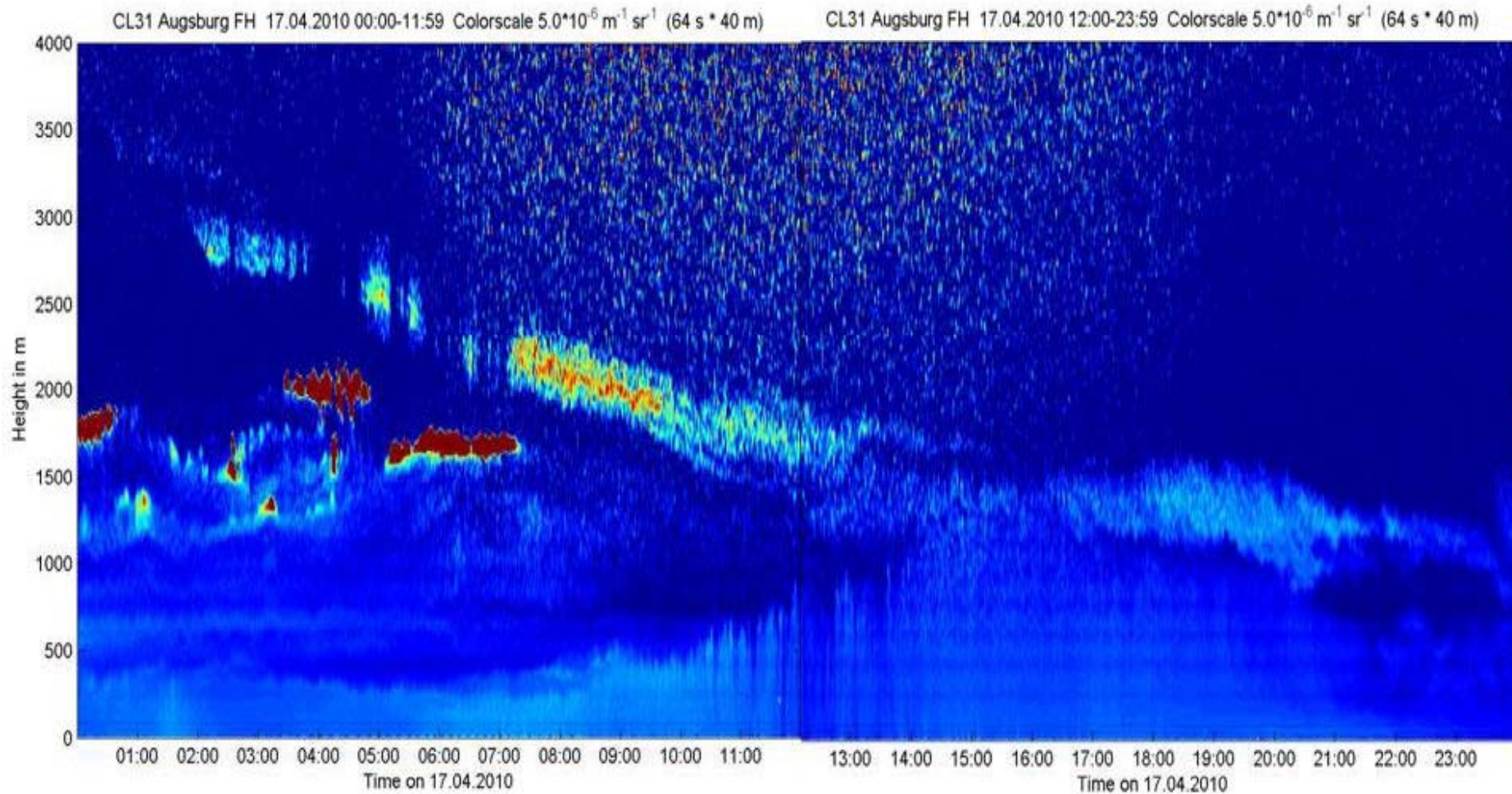
Algorithmen zur Bestimmung der Mischungsschichthöhe aus Ceilometer-Daten

Kriterium

minimaler vertikaler Gradient der Rückstreuintensität



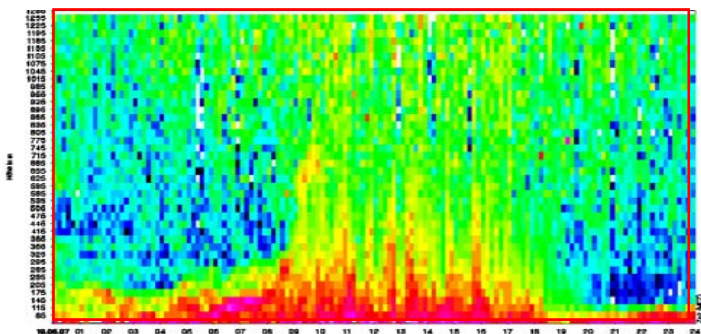
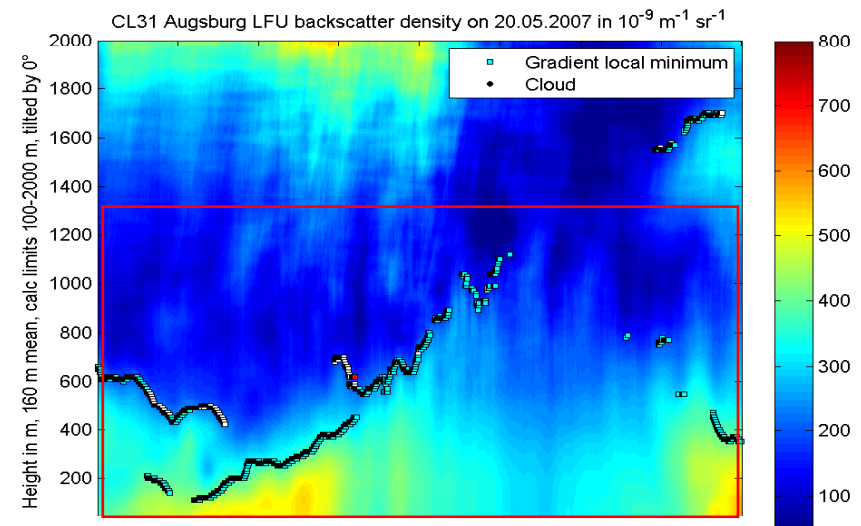
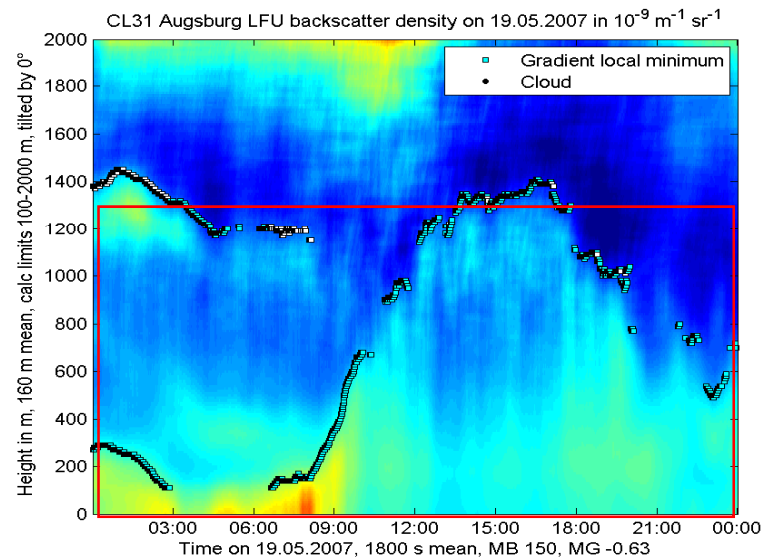
Eyjafjallajökull Aschewolke über Süddeutschland



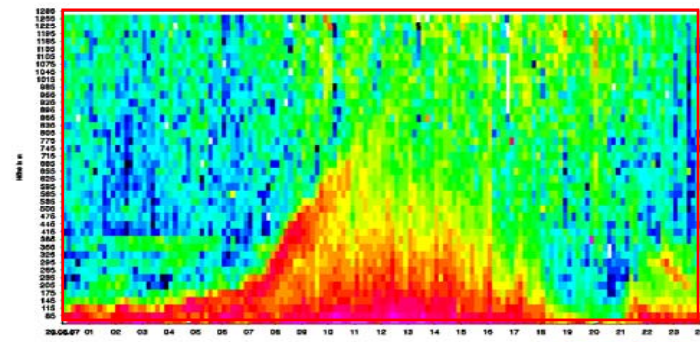
Anwendungsbeispiele für SODAR und Ceilometer

gemeinsamer Einsatz beider Verfahren

Vergleich von optischer (oben) und akustischer (unten) Rückstreuintensität

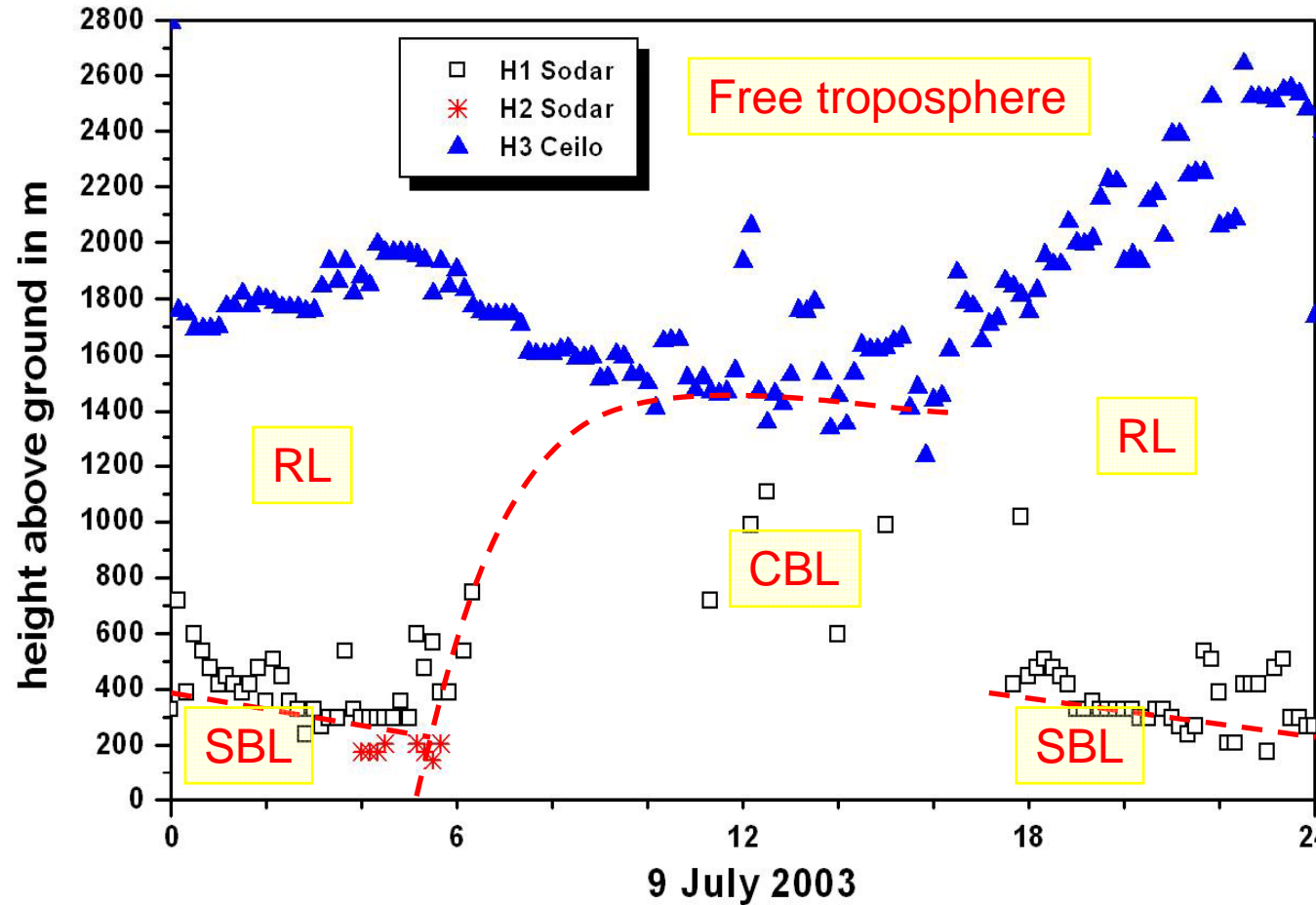


19. Mai 2007



20. Mai 2007

Tagesgang der Mischungsschichthöhe aus SODAR und Ceilometer-Daten (Budapest)



SBL:

stable boundary layer (usually at night and in winter)

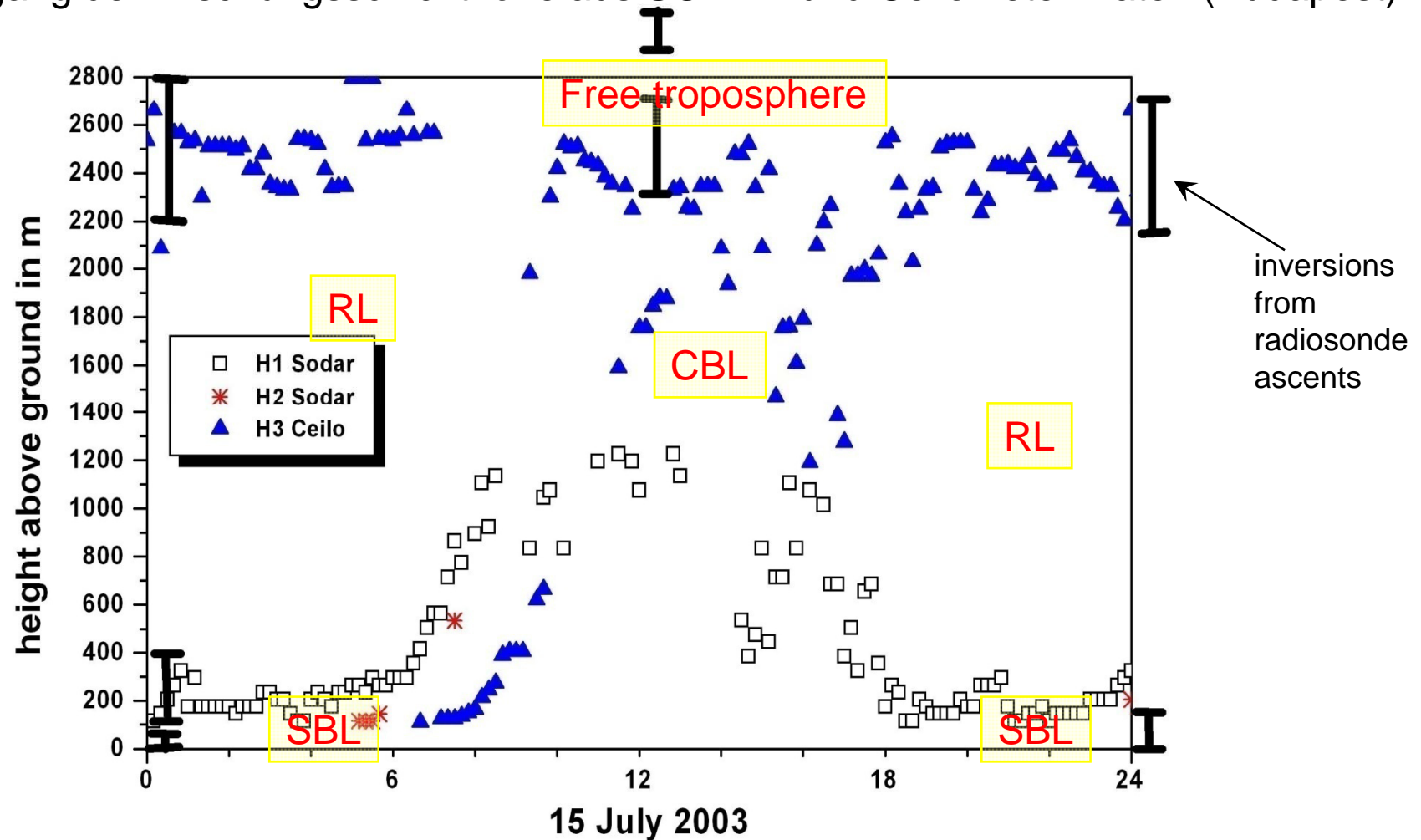
CBL:

convective boundary layer (usually at daytime due to strong insolation)

RL:

residual layer (usually at night-time)

Tagesgang der Mischungsschichthöhe aus SODAR und Ceilometer-Daten (Budapest)



Emeis, S., K. Schäfer, 2006: Remote sensing methods to investigate boundary-layer structures relevant to air pollution in cities. Bound.-Lay Meteorol., 121, 377-385,

RASS

radio-akustisches Sondierungssystem

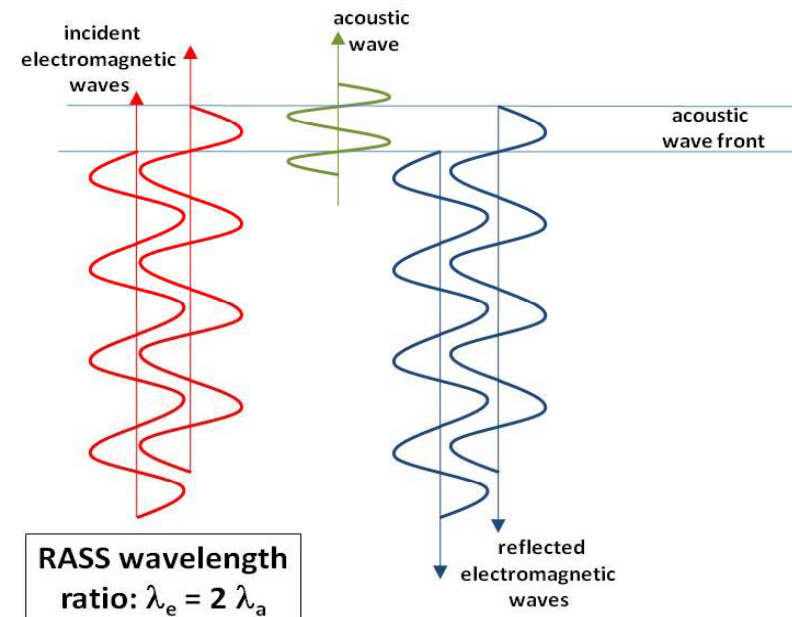
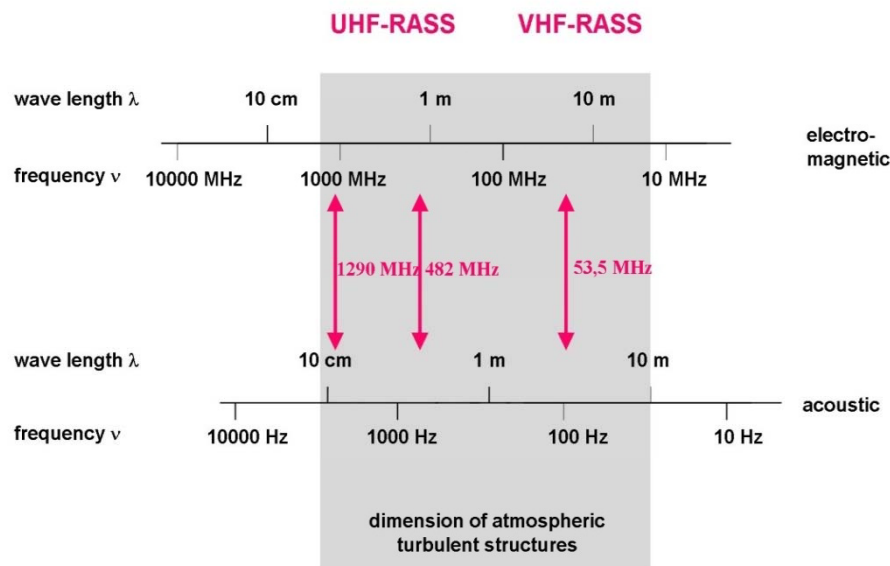
Grundprinzip

zur Messung des vertikalen
Temperaturprofils

RASS: Frequenzen

**Bragg-Bedingung:
akustische Wellenlänge = 1/2 elektro-magnetische Wellenlänge**

electro-magnetic - acoustic frequency pairs for RASS devices





SODAR-RASS (Doppler-RASS) des IMK-IFU

(METEK)

akustische Frequ.: um 1077 Hz

Radiofrequenz: 474 MHz

Auflösung: 20 m

niedrigste

Messhöhe: ca. 40 m

Reichweite: 540 m



Grenzschicht-RASS des DWD in Lindenberg

akustische Frequ.:	um 3000 Hz
Radiofrequ.:	1290 MHz
Auflösung:	50 m
unterste Messhöhe:	ca. 200 m
Reichweite:	1000 m



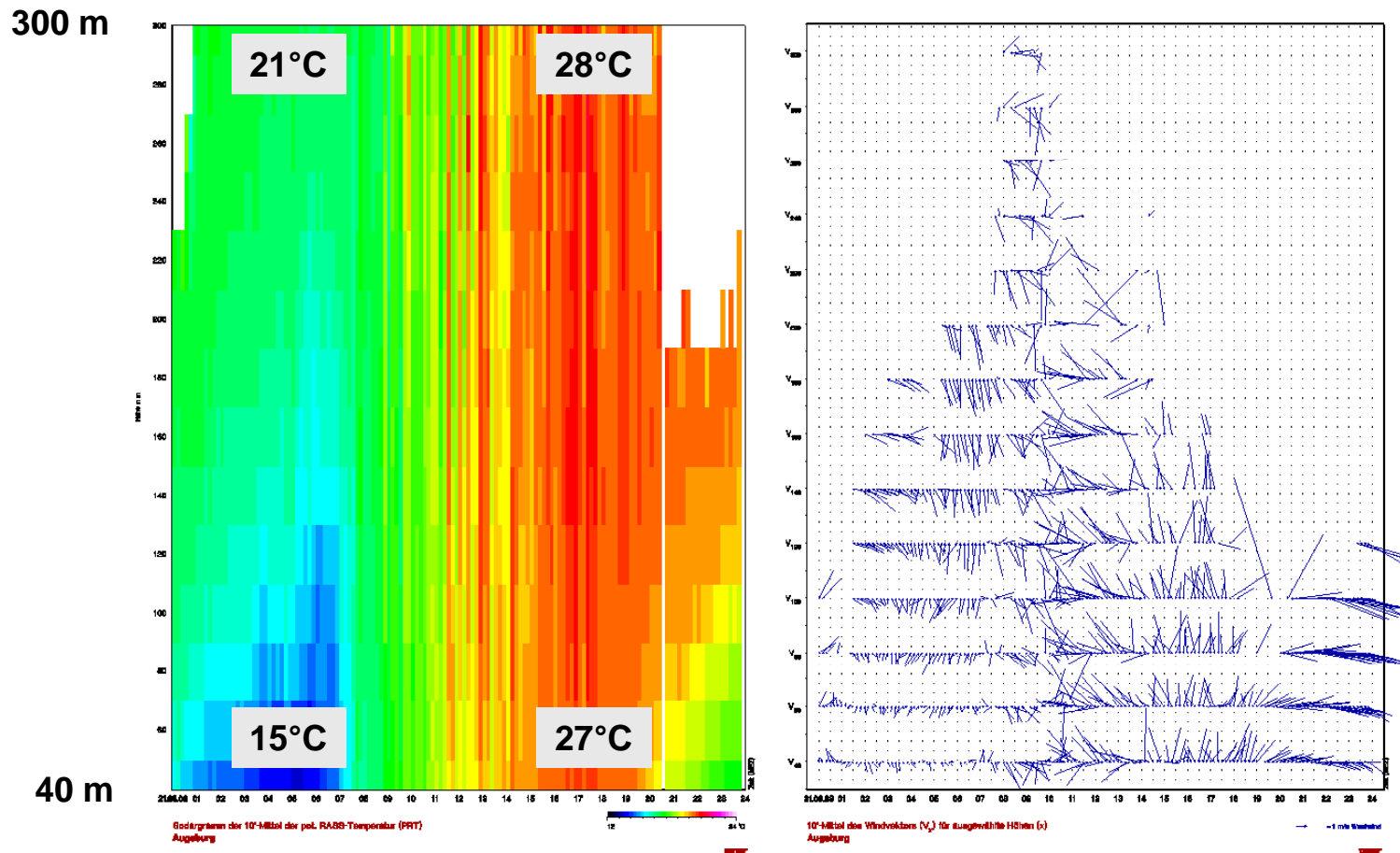
Großes RASS des DWD in Lindenberg

akustische Frequ.:	um 1000 Hz
Radiofrequ.:	482 MHz
Auflösung:	100 m
unterste Messhöhe:	ca. 200 m
Reichweite:	10000 m

solche RASS ersetzen teilweise Radiosondenstationen

Temperaturprofile und Wind

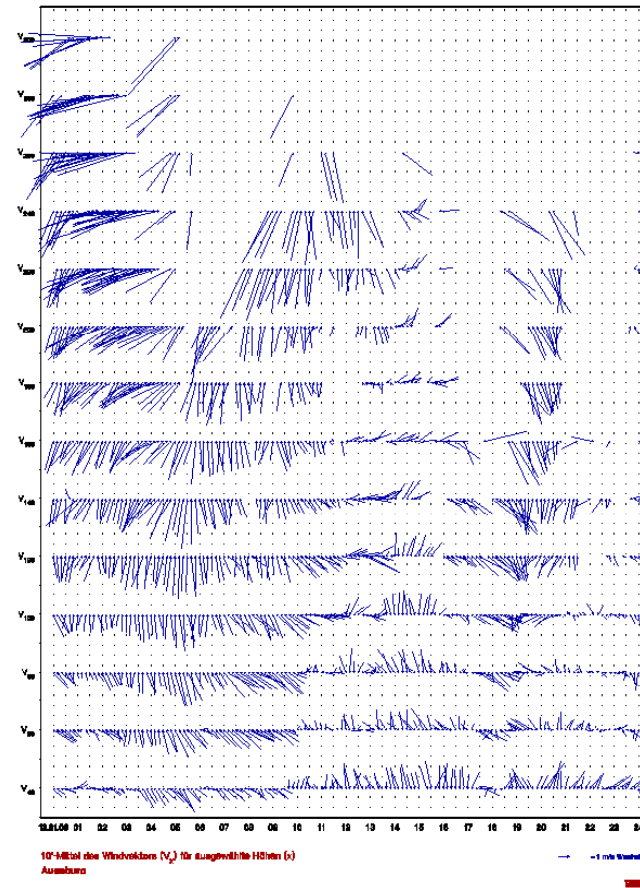
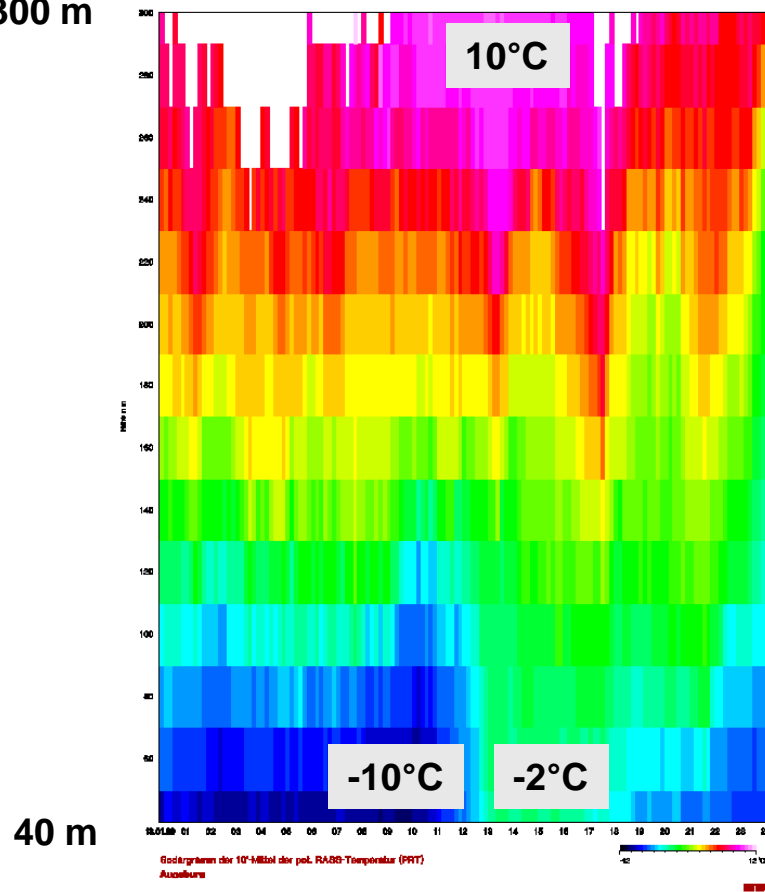
Beispieldaten RASS: Sommertag
potentielle Temperatur (links), horizontaler Wind (rechts)



Temperaturprofile und Wind

Beispieldaten RASS: Wintertag
potentielle Temperatur (links), horizontaler Wind (rechts)

300 m

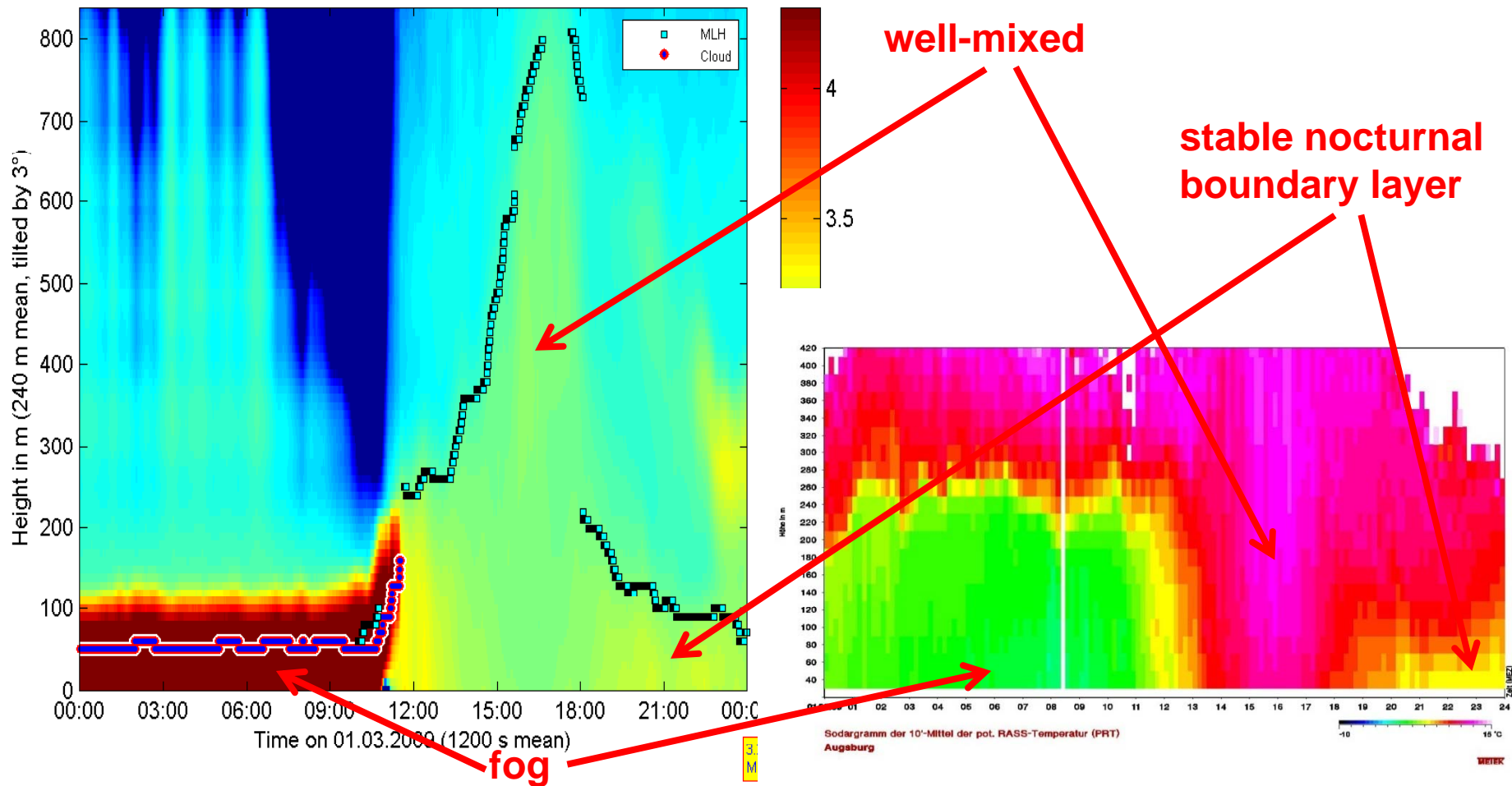


Temperaturprofile und Aerosol

Beispieldaten RASS: Sommertag

Rückstreuung (links), potentielle Temperatur (rechts)

CL31 Augsburg AVA \log_{10} of backscatter with MLH on 01.03.2009 in $10^{-9} \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$



Anwendung:

TERENO

TERENO

TERrestrial ENvironmental Observatories



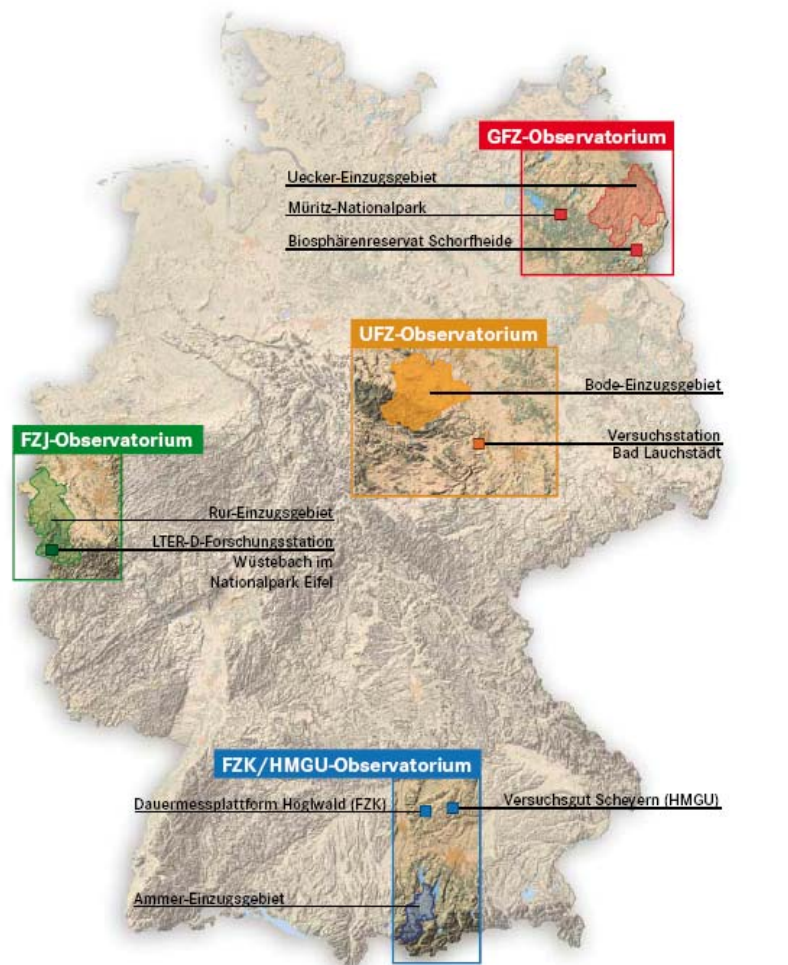
Was ist /soll TERENO?

- Ein Groß[investitions]vorhaben der HGF auf dem Gebiet der Klimafolgenforschung mit Langzeitperspektive (>> 10 Jahre) zum Aus-/Aufbau von Langzeitobservatorien
- Übergeordnetes Ziel ist, aus den Datenreihen Modelle für verbesserte Vorhersagen zu entwickeln und hierdurch die Voraussetzung zur Ableitung von Anpassungs-Maßnahmen an den Klimawandel zu schaffen.
- Investitions-Volumen in der 1. Phase (2008-2010): >> 12 Millionen €

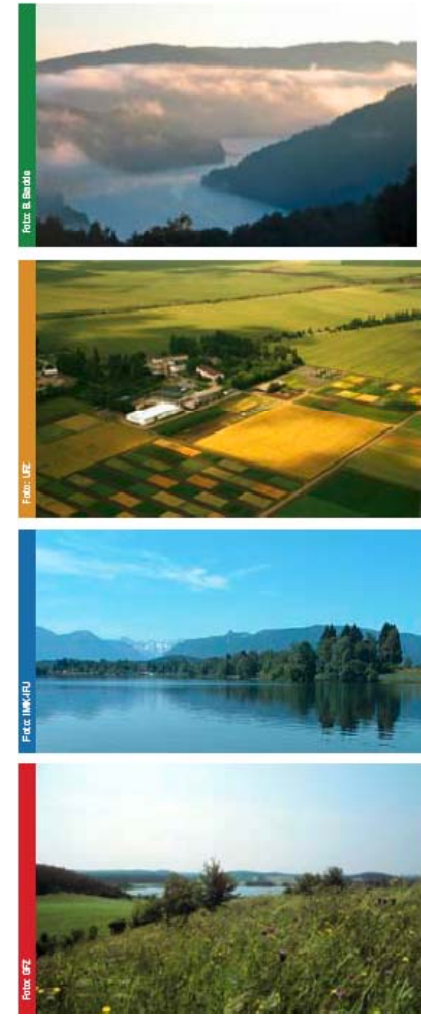
Motivation

- Die Auswirkungen von Global Change auf die terrestrischen Systeme sind regional unterschiedlich
- Global Change tangiert alle Kompartimente der terrestrischen Umwelt (Wasser, Boden, Vegetation, Atmosphäre) mit komplexen Rückkopplungsmechanismen
- Existierende Mess-Netzwerke sind meistens auf spezifische Kompartimente und Forschungsfragen fokussiert
- Langzeit-Messdatenreihen werden dringend für die Weiterentwicklung und Validierung von terrestrischen Systemmodellen benötigt
- Notwendigkeit für ein “capacity building” auf dem Gebiet der terrestrischen Umweltforschung durch Verzahnung verschiedener Forschungs-Communities

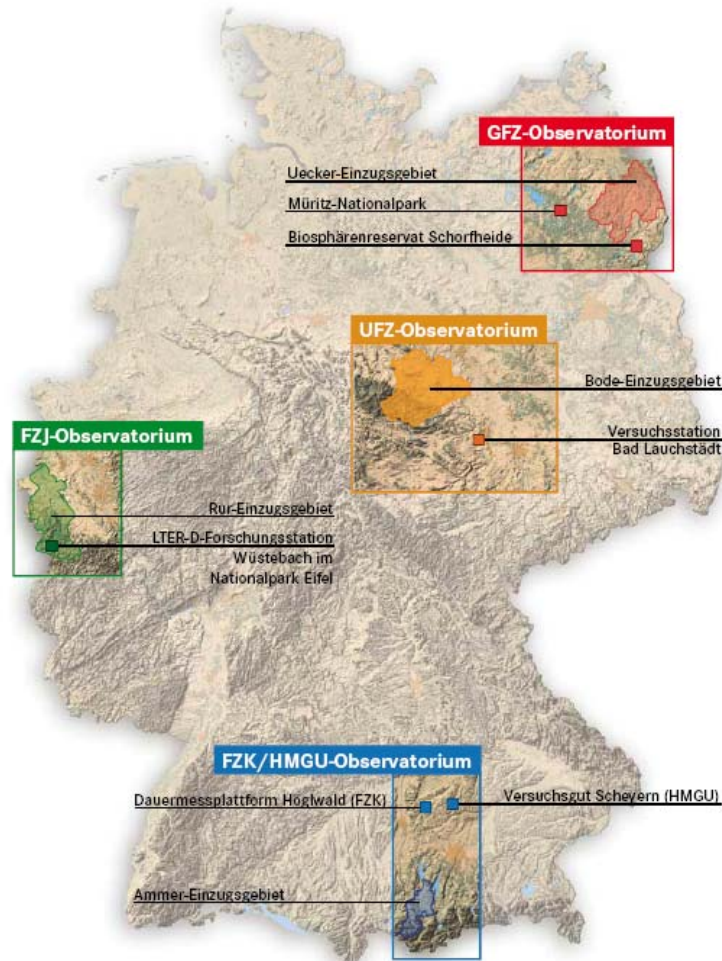
Das TERENO Netzwerk



- **Großraum Leipzig-Halle**
 Koordination: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
- **Alpen- und Alpenvorlandregion**
 Koordination: Forschungszentrum Karlsruhe und Helmholtz Zentrum München
- **Region Eifel-Niederrheinische Bucht**
 Koordination: Forschungszentrum Jülich
- **Nordostdeutsches Tiefland**
 Koordination: Helmholtz-Zentrum Potsdam



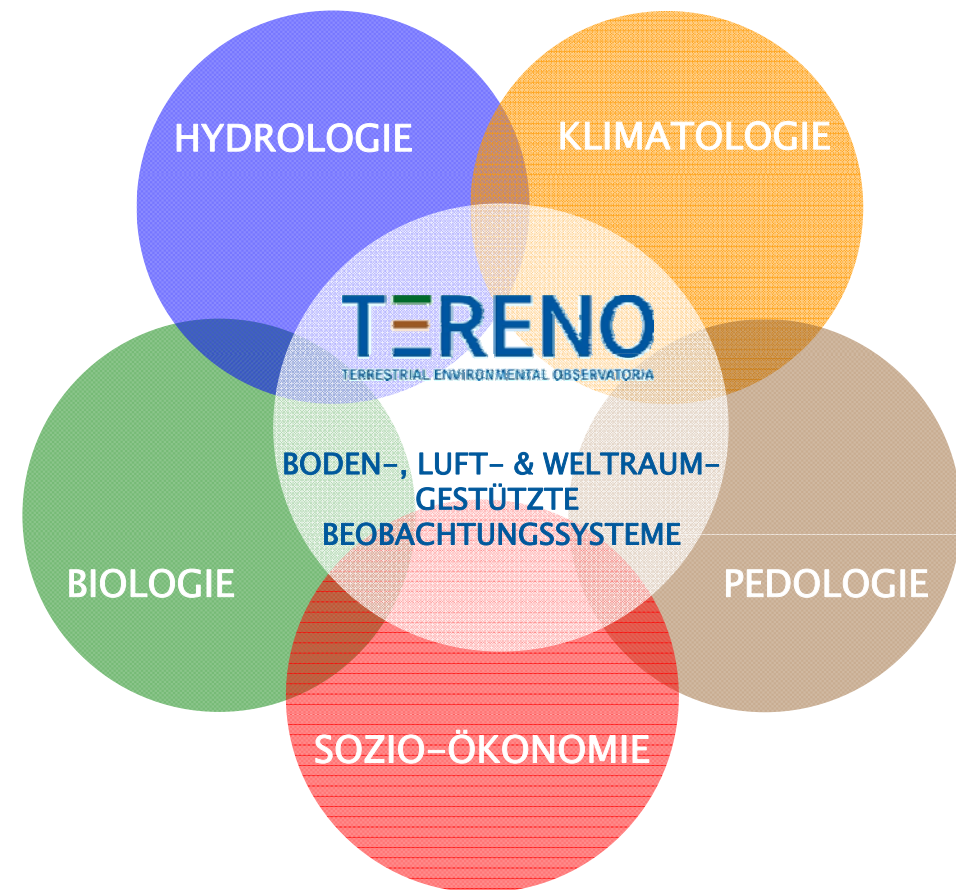
Übergeordnete wissenschaftliche Ziele



- Bereitstellung von **Langzeit-Datenreihen** auf verschiedenen Raum- und Zeit-Skalen
- Erfassung des **Langzeit-Einflusses** von Landnutzungsänderungen, Klimaänderung, sozioökonomischen Entwicklungen und menschlichen Eingriffen in terrestrische Systeme
- Analyse der **Wechselwirkungen** und Rückkopplungen zwischen **Boden, Vegetation, Hydrosphäre und Atmosphäre** von der Punkt- bis zur Einzugsgebiets-Skala
- Brückenschlag zwischen **Messung, Modellierung** und Management

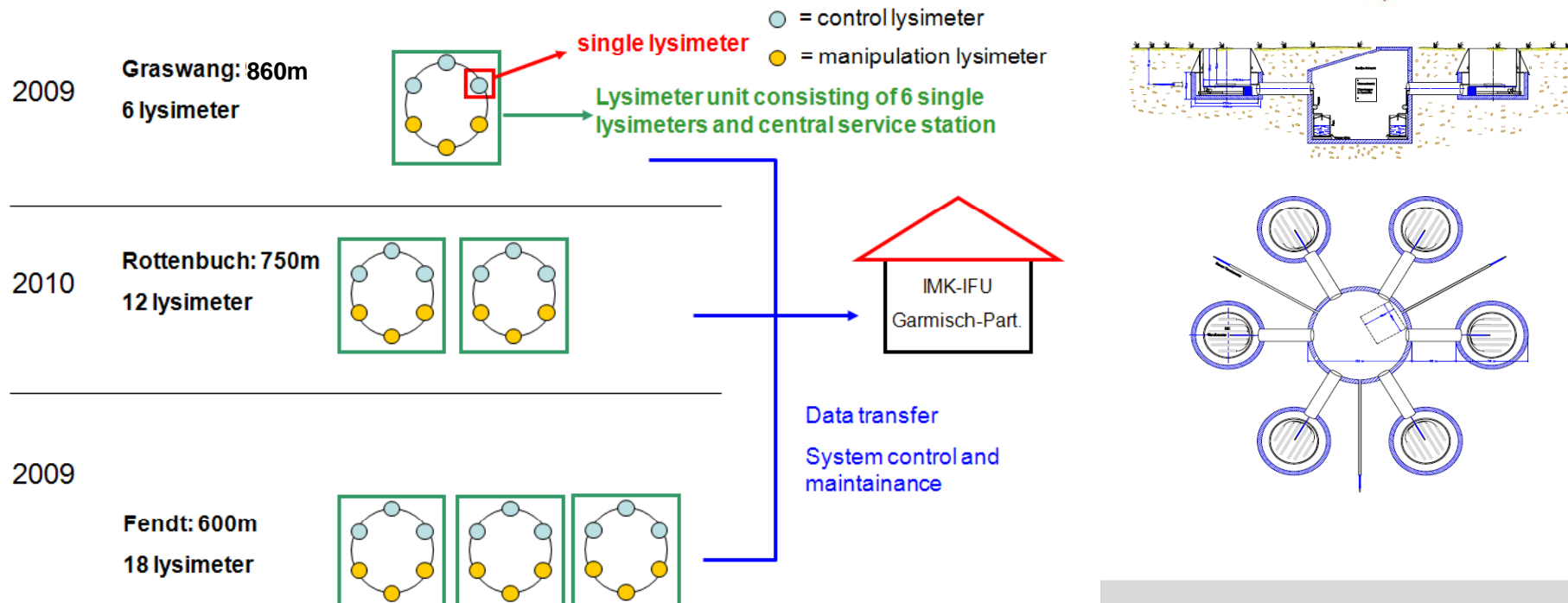
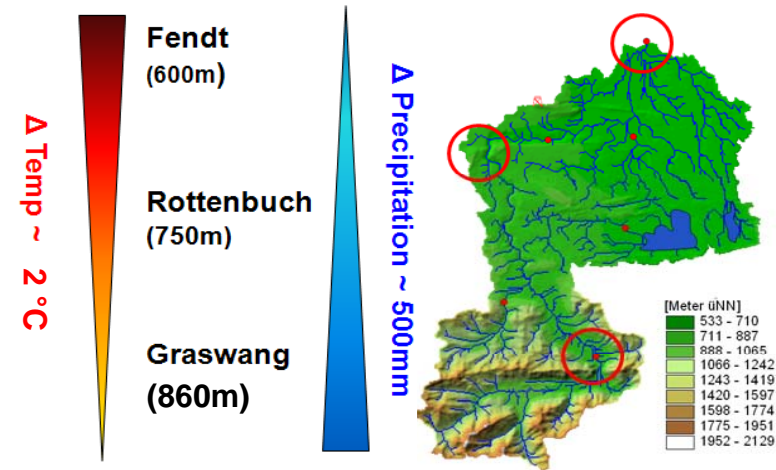
TERENO – Das Konzept

- Zusammenbringen von Wissenschaftlern aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen
- Etablierung gemeinsamer Mess-Plattformen als Basis für Langzeit-Datensätze
- Kombination von Beobachtung und Experiment



Climasequence: how do grassland ecosystems adapt to climate change?

- grassland soil monoliths transplanted along the natural gradient in temperature and precipitation
- climate change effects on C/N cycles
- associated plant and microbial processes/populations/biodiversity
- terrestrial hydrology and water quality



TERENO Lysimeter experiment: construction phase

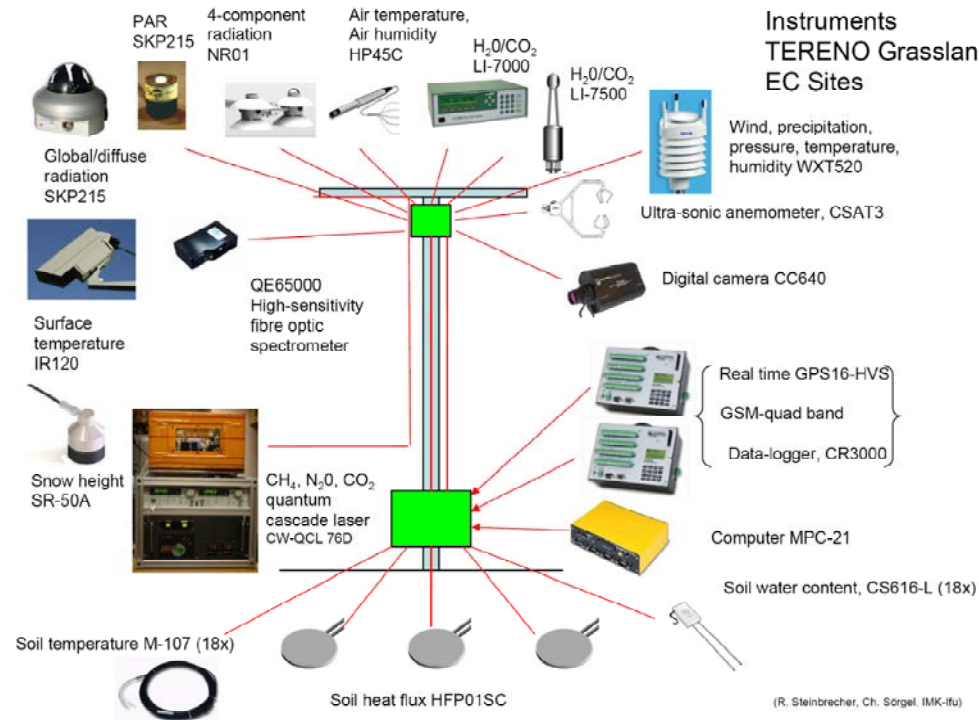


TERENO rain RADAR Geigersau





- ICOS mission: “To provide the long-term observations required to understand the present state and predict future behavior of the global carbon cycle and greenhouse gas emissions.”
- 5 EC-sites at TERENO-prealpine, -Harz, and -Eifel received additional funding to expand instrumentation to include fluxes of CH₄ and N₂O and upgrade to ICOS standard



Ausblick

Weiterentwicklung von Messgeräten:

- vermehrt elektrische/elektronische Messfühler**
- vermehrt automatische Verfahren**
- vermehrt Fernmessverfahren**
- zunehmende Miniaturisierung
(geringerer Strombedarf → autonome Stationen)
(geringere Trägheit/Hysterese → höhere Messgenauigkeit)**
- vermehrt Datenaufbereitung online**
- eine Herausforderung bleibt die Niederschlagsmessung
(z.B. durch Abschwächung von Mobilfunkstrahlung)**

Weiterführende Literatur:

Emeis, S., 2000: Meteorologie in Stichworten. Hirt's Stichwortbücher, Gebrüder Borntraeger Stuttgart. XIV+199 S. ISBN 3-443-03108-0.

Emeis, S, 2010: Measurement Methods in Atmospheric Sciences. In situ and remote. Series: Quantifying the Environment Vol. 1. Borntraeger Stuttgart. XIV+257 pp., 103 Figs, 28 Tab. ISBN 978-3-443-01066-9.

Emeis, S, 2011: Surface-Based Remote Sensing of the Atmospheric Boundary Layer. Series: Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Vol. 40. Springer Heidelberg etc., X+174 pp. 114 illus., 57 in color., H/C. ISBN: 978-90-481-9339-4, e-ISBN 978-90-481-9340-0.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

