

Bestimmung der Mischungsschichthöhe aus SODAR- und Ceilometermessungen

Stefan Emeis
Institut für Meteorologie und KlimaForschung
Atmosphärische UmweltForschung
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Kreuzeckbahnstr. 19
82467 Garmisch-Partenkirchen

stefan.emeis@imk.fzk.de

Bestimmung der Mischungsschichthöhe aus SODAR- und Ceilometermessungen

Einleitung

Verfahren

akustisch (SODAR)
optisch (Ceilometer)
Vergleich

Beispiele

Häufigkeitsstatistik MLH für Hannover
Grenzschichtstruktur aus gemeinsamen SODAR- und Ceilometermessungen
„Blätterteigstruktur“ in einem winterlichen Alpental
Zusammenhang zwischen MLH und Luftqualität

Die Rolle der Mischungsschichthöhe (MLH) für die Luftqualität

die Mischungsschichthöhe

- begrenzt die Verdünnung frisch emittierter Schadstoffe
- begrenzt die konvektive vertikale Durchmischung tagsüber
- begrenzt die mechanische vertikale Durchmischung nachts
- beeinflusst die bodennahen Schadstoffkonzentrationen
- beeinflusst die vertikalen Profile von Impuls, Wärme, Feuchte und anderer Stoffe
- beeinflusst den turbulenten vertikalen Austausch dieser Größen
- definiert den Raum für chemische Reaktionen
- ist charakterisiert durch:
 - ihre Höhe
 - ihre vertikale Struktur
 - den Turbulenzgrad in ihrem Bereich
 - die Stärke der Inversion an ihrer Oberseite

Die Mischungsschichthöhe wird gebraucht für

- für die Berechnung von Windfeldern mit massenkonsistenten Modellen
- für die Berechnung der Verdünnung von emittierten Schadstoffen mit Dispersionsmodellen
- für die Vorhersage von Nebel und Wolken in prognostischen Modellen
- für die Skalierung von PBL-Größen in konvektiven Grenzschichten
- für die Ableitung von Schadstoffkonzentrationen und –profilen aus Satellitenmessungen
- für die Umwandlung von aerosoloptischer Dicke in lokale Luftqualitätsparameter

Mischungsschichthöhe (Abgrenzung des Begriffs)

Inversionshöhe

wörtlich: Inversion im Temperaturprofil, Anstieg der Temperatur mit der Höhe, starke Feuchteabnahme, Strahlungsinversionen, Absinkinversionen, Bodeninversionen, abgehobene Inversionen

Mischungsschichthöhe

definiert durch Turbulenzprofile, Obergrenze für vertikalen Austausch (Mischung), Obergrenze der gut durchmischten Schicht, Entrainment

Grenzschichthöhe

SBL: nachts, Höhe der reibungsbeeinflussten bodennahen Schicht
CBL: tagsüber, Höhe von konvektiven plumes

Grenzschichthöhe \approx Mischungsschichthöhe

Grenzschichthöhe \geq Inversionshöhe

Atmosphärische (Schönwetter-)Grenzschicht

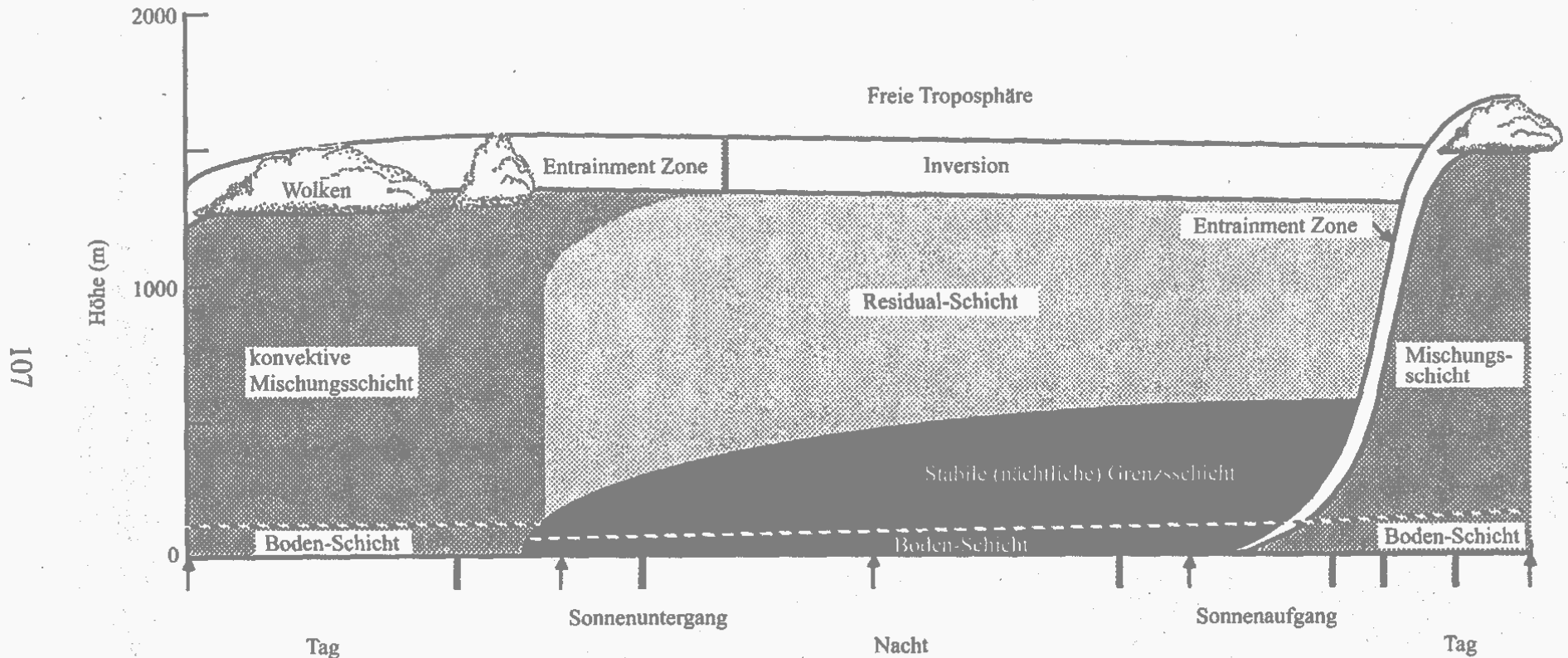


Abb. 7.2. Tagesgang der atmosphärischen Grenzschicht von Mittag (links über Mitternacht (Mitte) bis zum Mittag des nächsten Tages (rechts) für ruhiges Wetter mit klarem Himmel (modifiziert nach STULL 1988).

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

Messung der Vertikalstruktur der Grenzschicht und der Mischungsschichthöhe mit Fernerkundungsverfahren:

mobile bodengestützte Fernerkundung mit akustischen und optischen Verfahren gibt Information über:

→ thermische Struktur der Grenzschicht

(SODAR)

→ Aerosolgehalt der Grenzschicht

(Ceilometer)

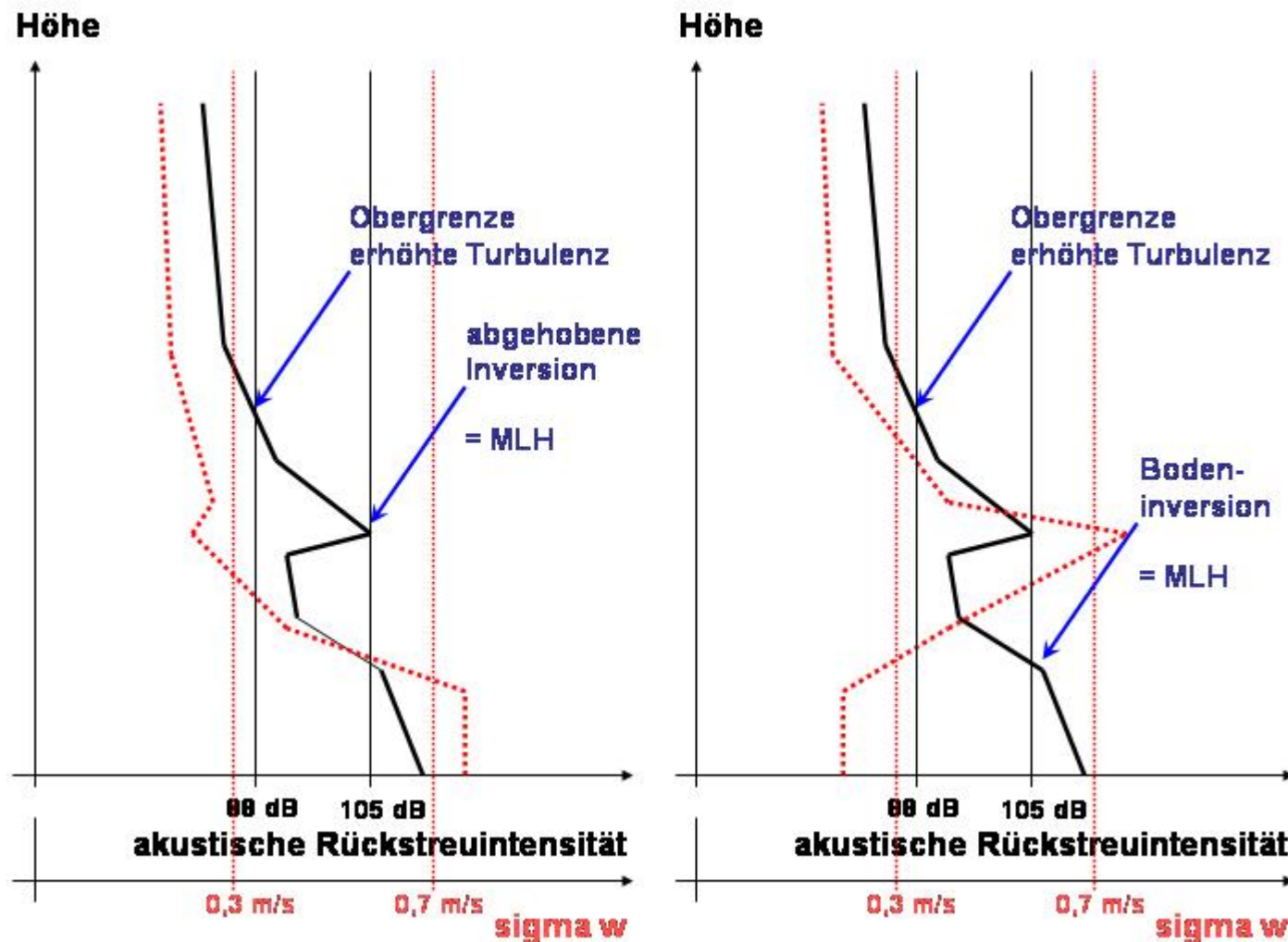


Algorithmus zum Aufsuchen von MLH aus SODAR-Daten

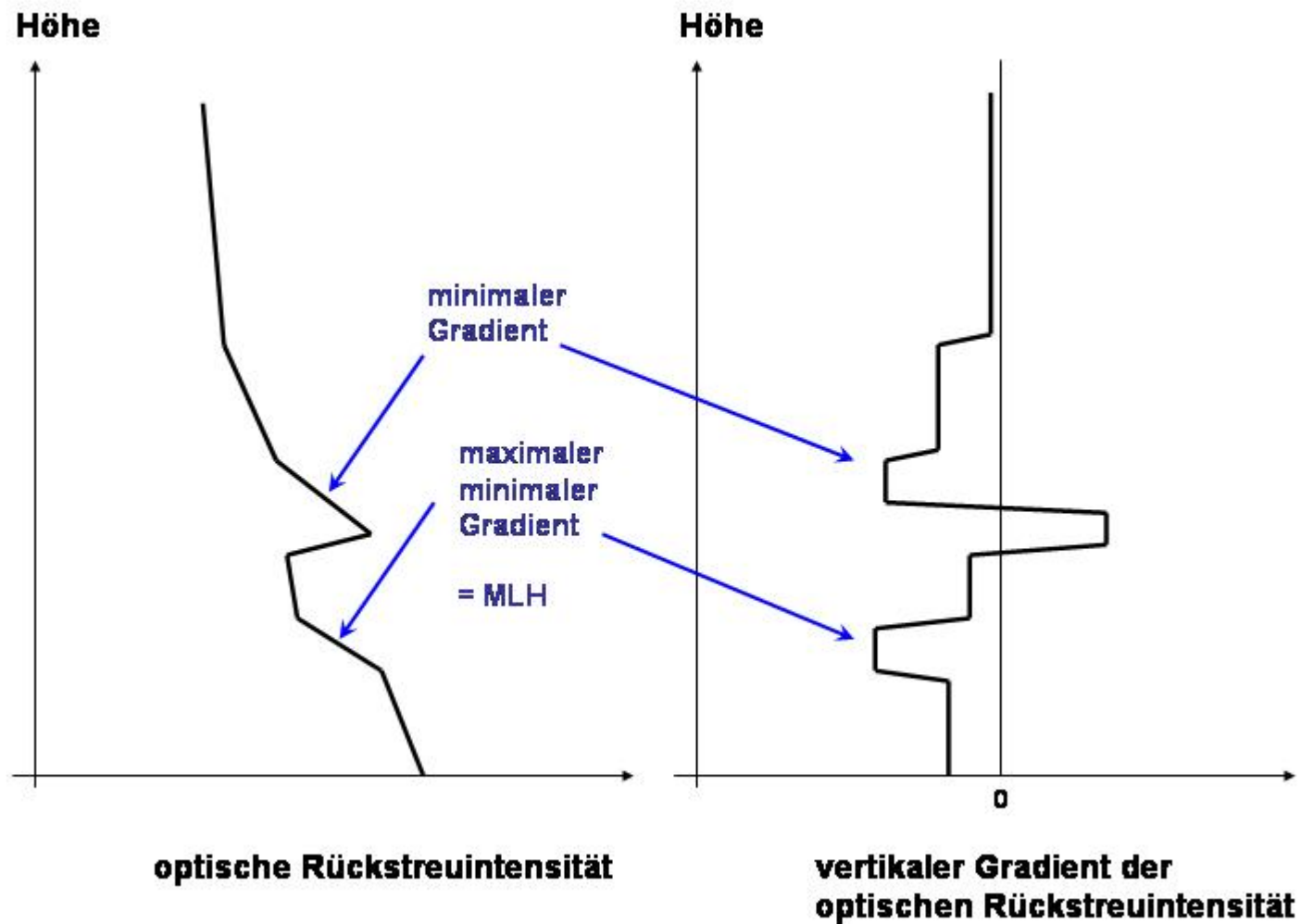
Kriterium 1:
Obergrenze

Kriterium 2:
Boden- und
abgehobene
Inversionen

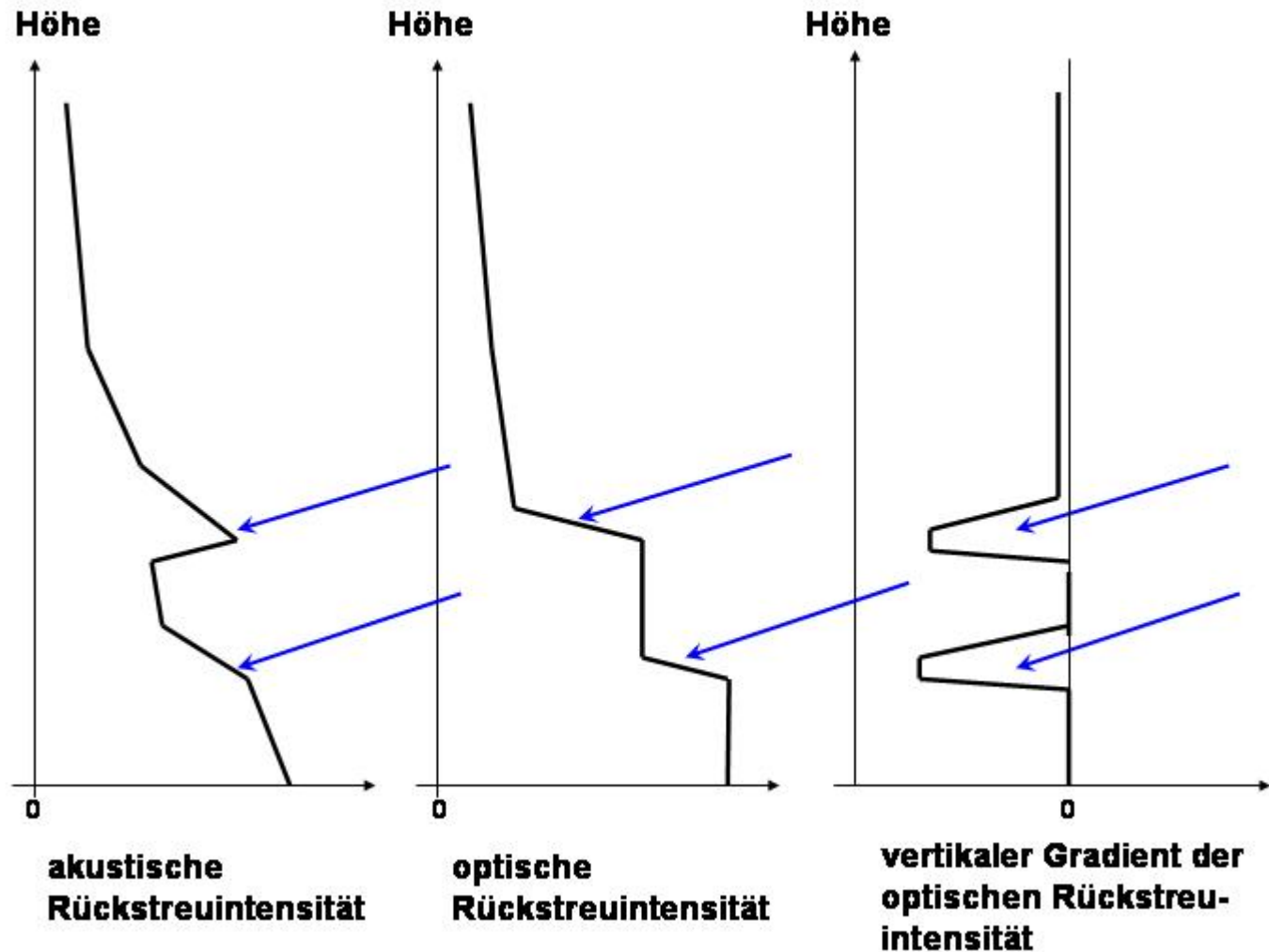
$MLH = \text{Min}(K1, K2)$

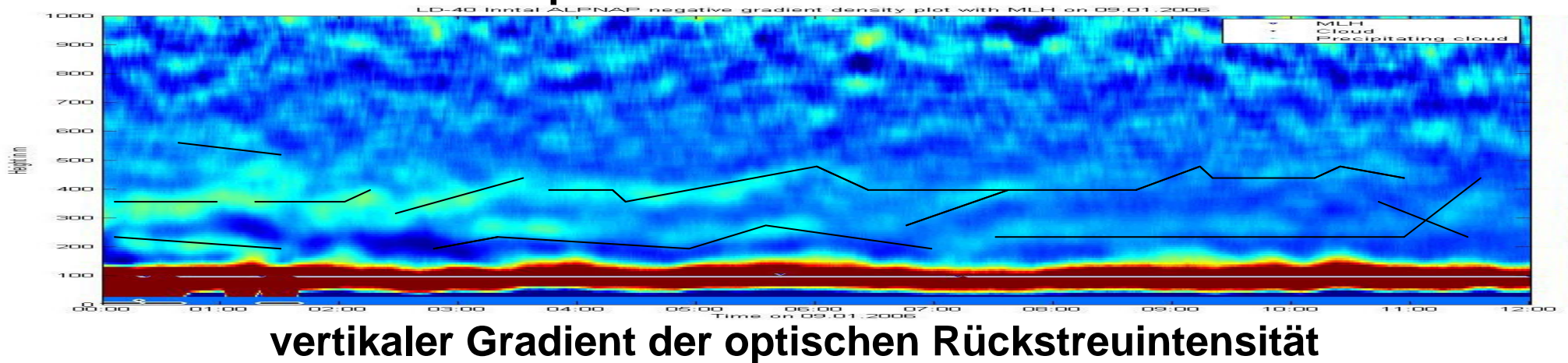
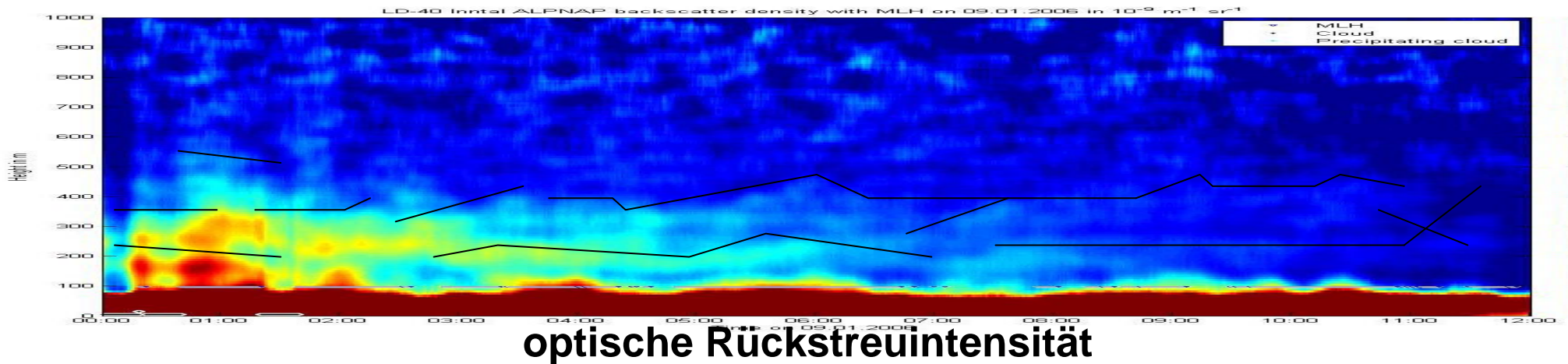
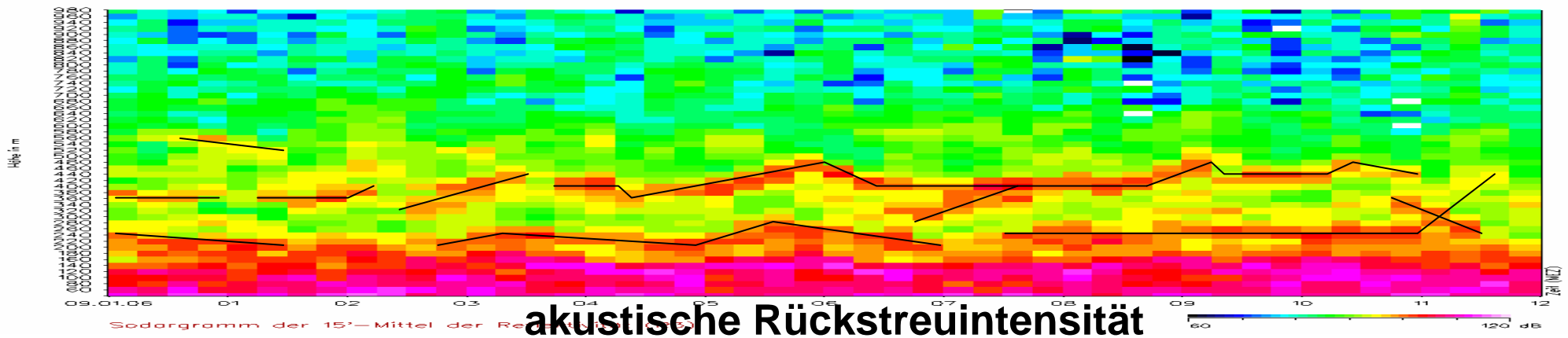


Algorithmus zum
Aufsuchen von MLH
aus Ceilometer-Daten



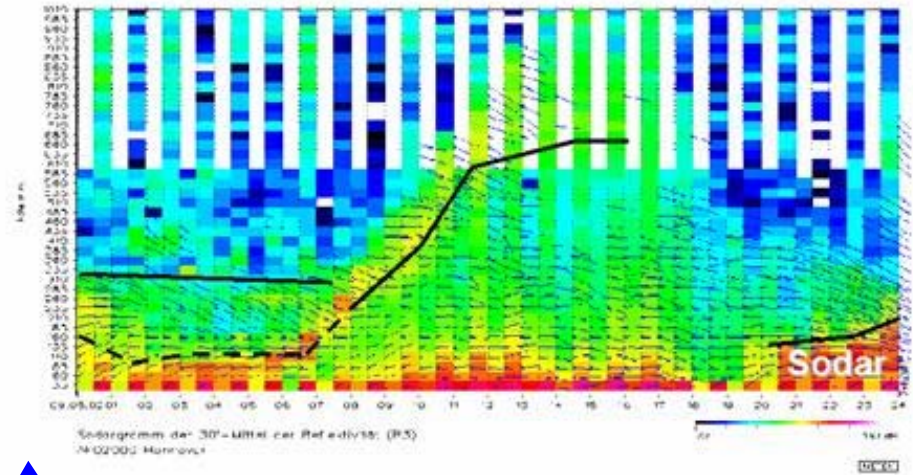
Vergleich
der beiden
Algorithmen



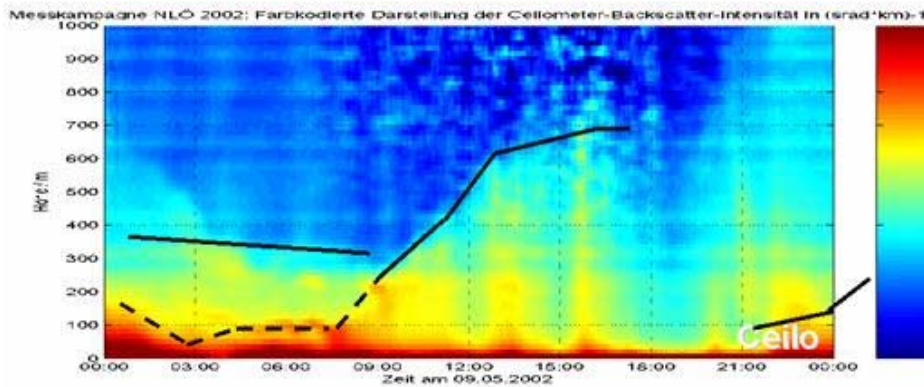


Vergleich von MLH-Bestimmungen mit drei verschiedenen Fernerkundungsverfahren

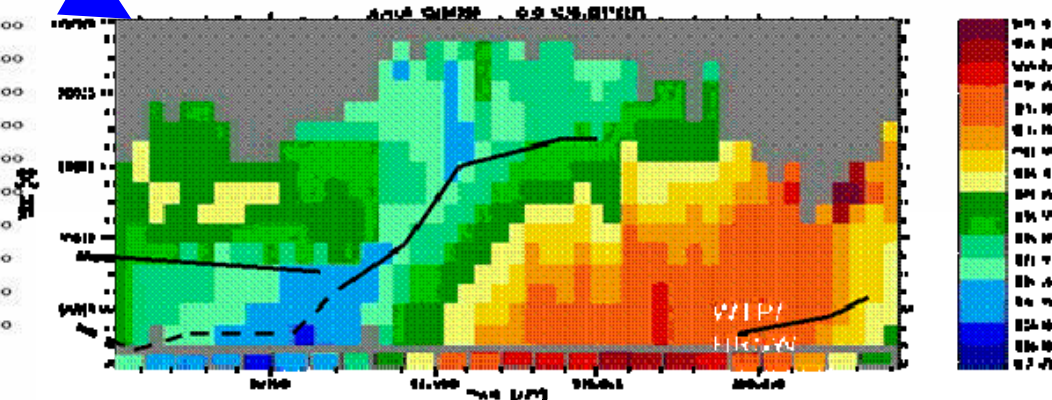
SODAR
akustische Rückstreuung



Ceilometer
optische Rückstreuung



RASS
Temperatur



Emeis, S., Chr. Münkel, S. Vogt, W.J. Müller, K. Schäfer, 2004: Atmospheric boundary-layer structure from simultaneous SODAR, RASS, and ceilometer measurements. Atmos. Environ., 38, 273-286.

Statistik von Mischungsschichthöhen aus SODAR-Daten

Herbst 2001 bis Frühjahr 2003 Hannover

(VALIUM-Kampagne)

(VALIUM war ein Projekt im AFO2000 Programm des BMBF)

Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft



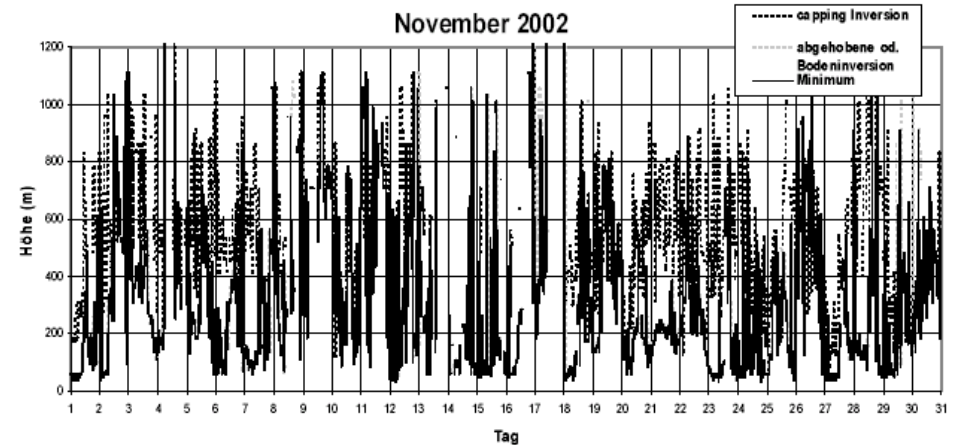
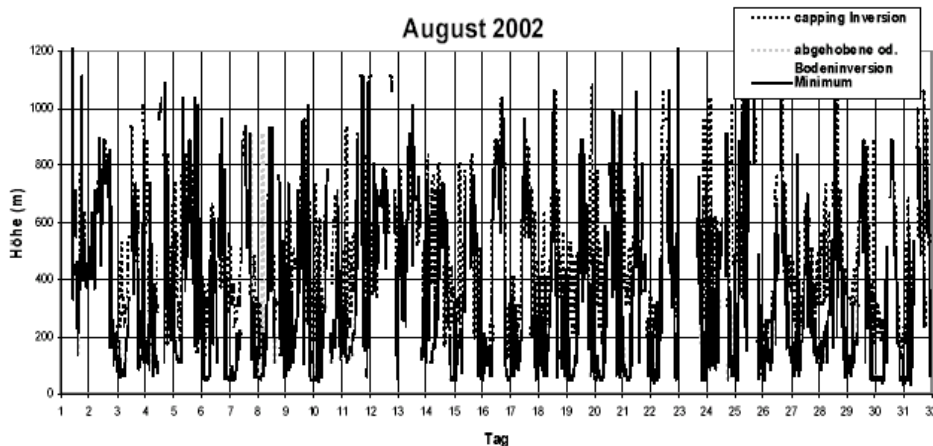
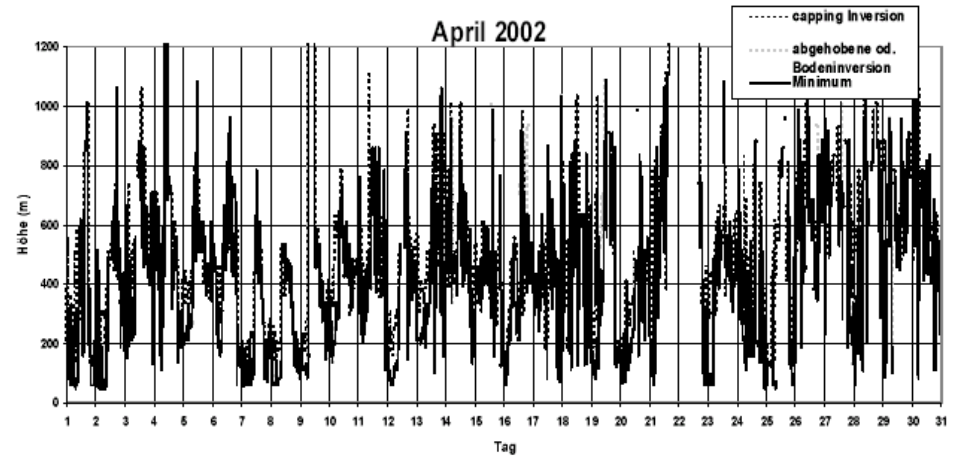
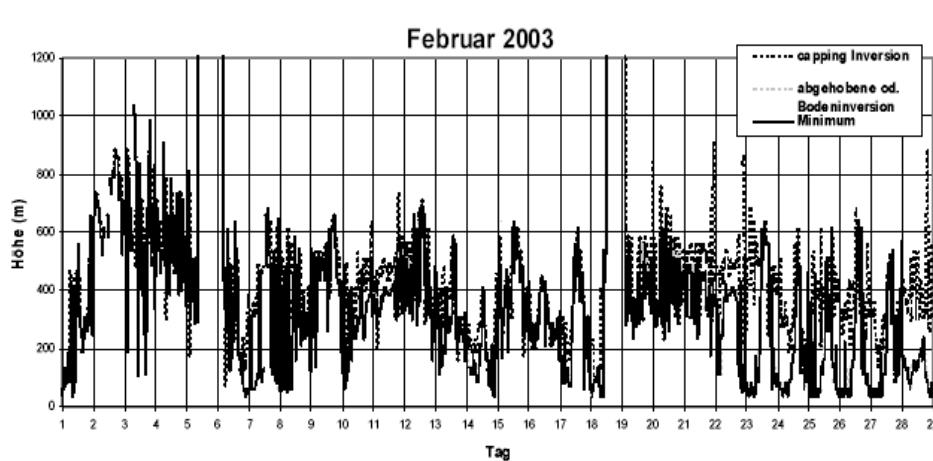
METEK DSDR3x7-SODAR des IMK-IFU in Hannover-Linden

**2-jährige Messperiode an ein und
demselben Standort, davon 17
Monate mit demselben Mess-
programm**

	1 2002	1 2003
	2 2002	2 2003
	3 2002	3 2003
	4 2002	4 2003
5 2001	5 2002	
6 2001		
7 2001		
8 2001	8 2002	
9 2001	9 2002	
10 2001	10 2002	
11 2001	11 2002	
12 2001	12 2002	

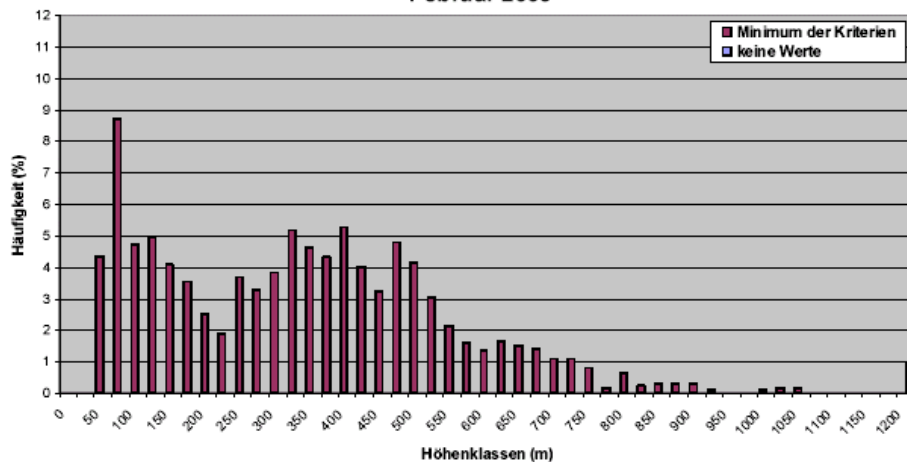


Zeitreihen der beiden Kriterien und des jeweiligen Minimums der beiden Kriterien

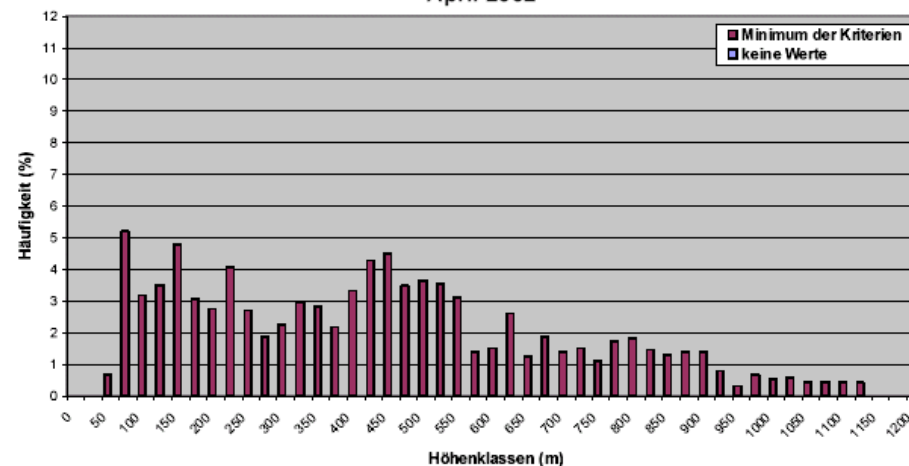


Häufigkeitsverteilung (Halbstundenwerte) des Minimums der beiden Kriterien

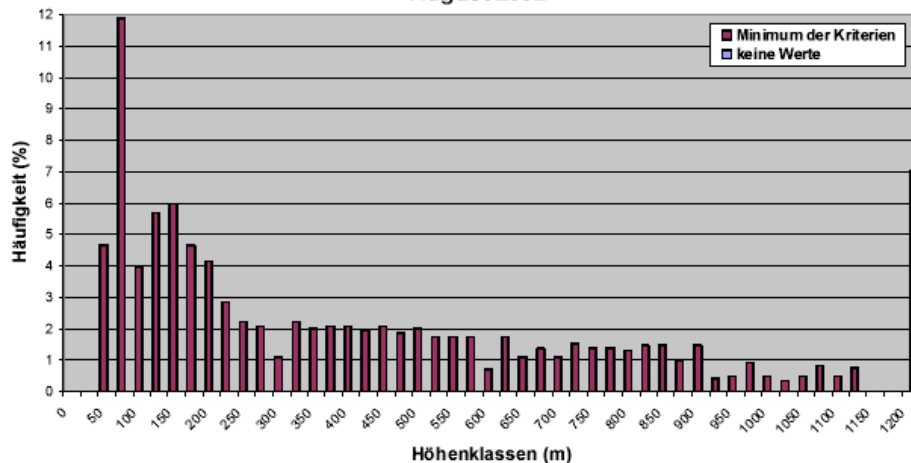
Februar 2003



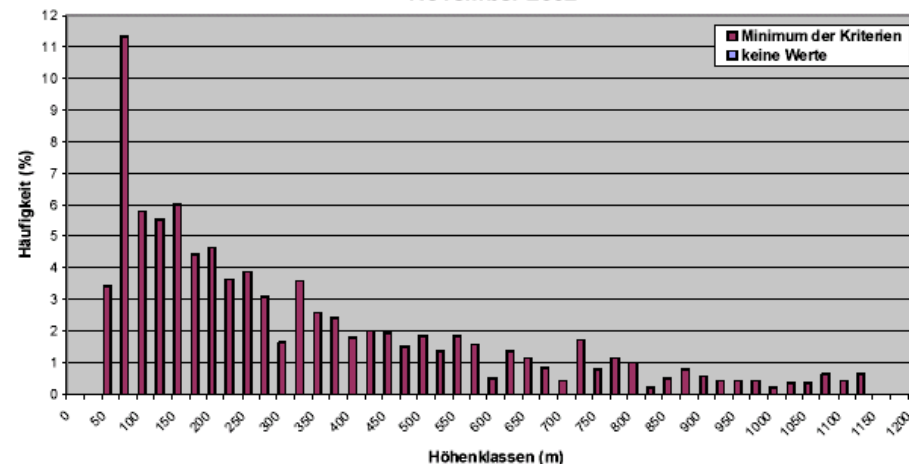
April 2002



August 2002

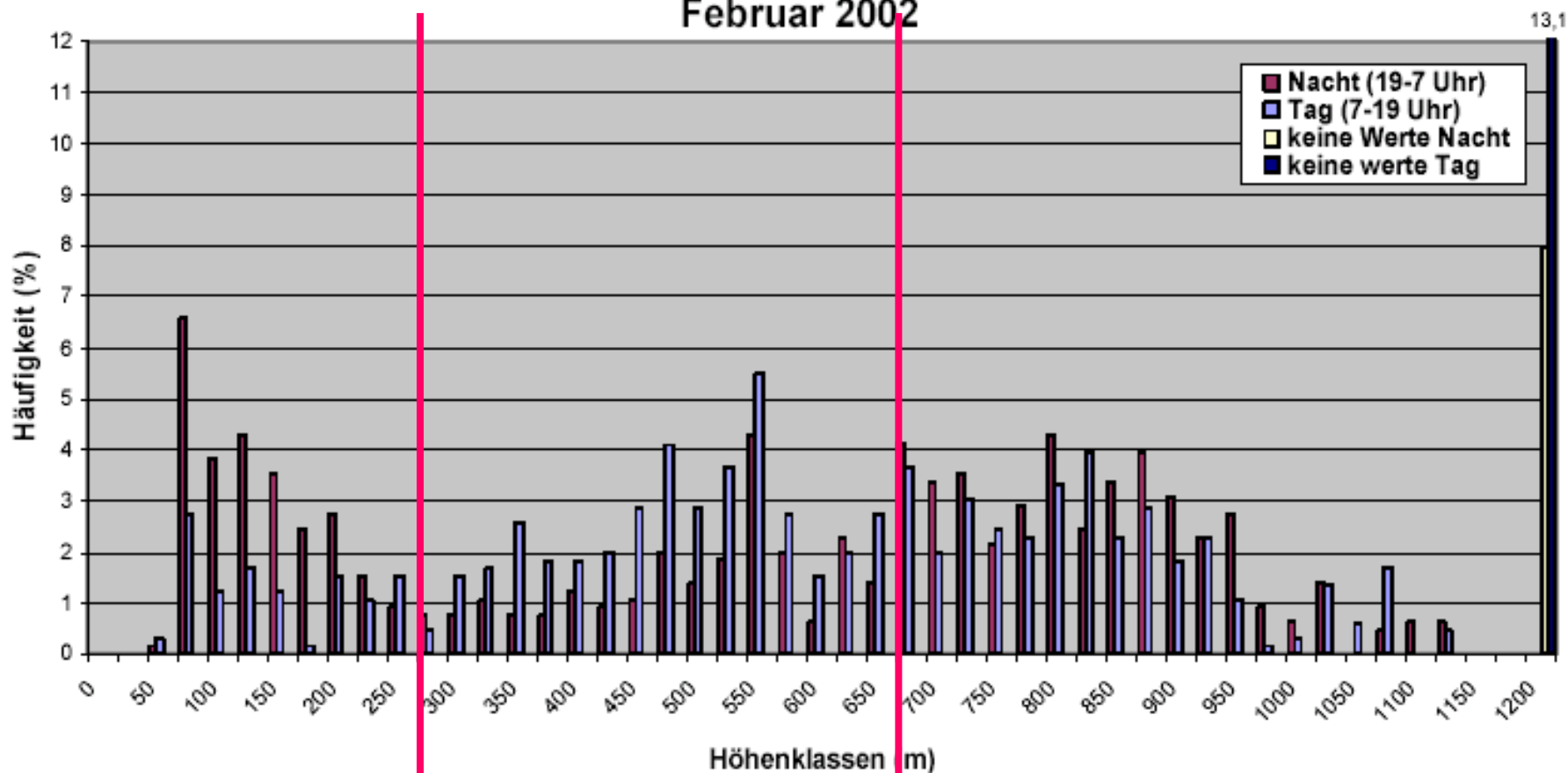


November 2002



Emeis, S., M. Türk, 2004: Frequency distributions of the mixing height over an urban area from SODAR data. Meteorol. Z., 13, 361-367.

Häufigkeitsverteilung Inversionshöhen (M.d.K.)
Februar 2002



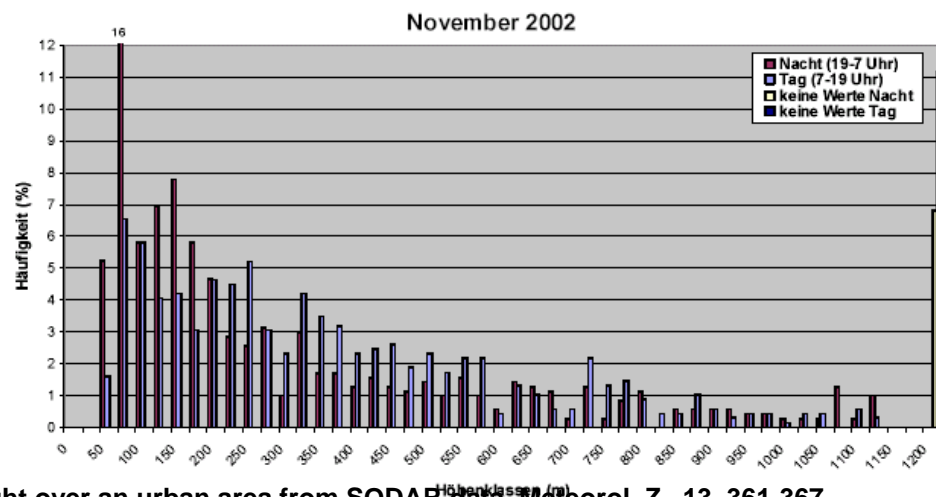
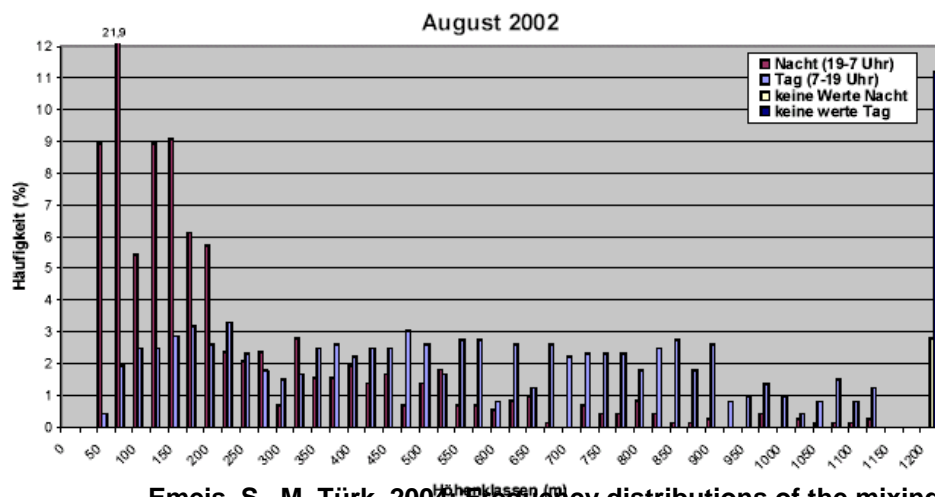
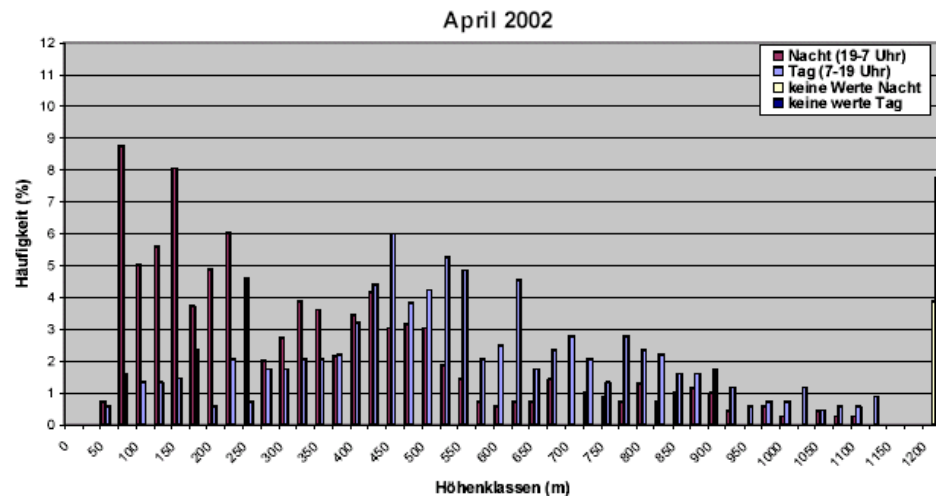
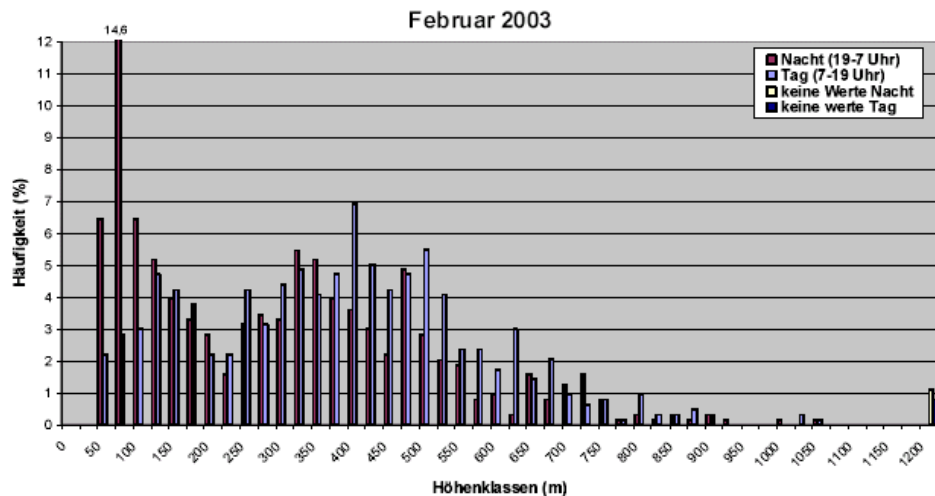
nächtliche Inversionen überwiegen

Obergrenzen konvektiver GS überwiegen

Starkwindlagen ohne Tagesgang überwiegen

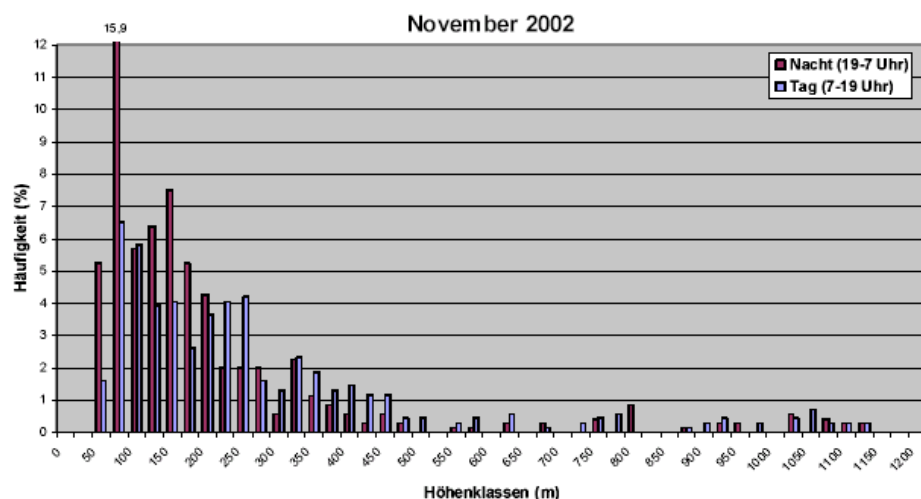
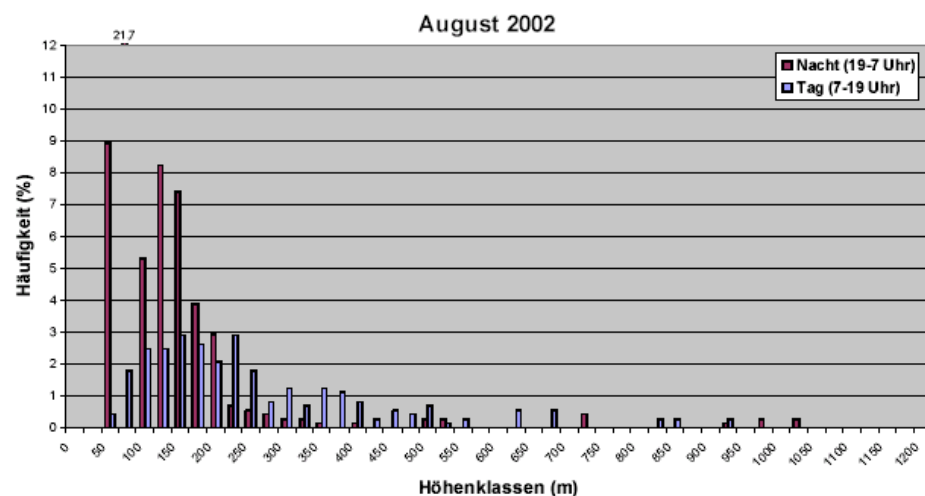
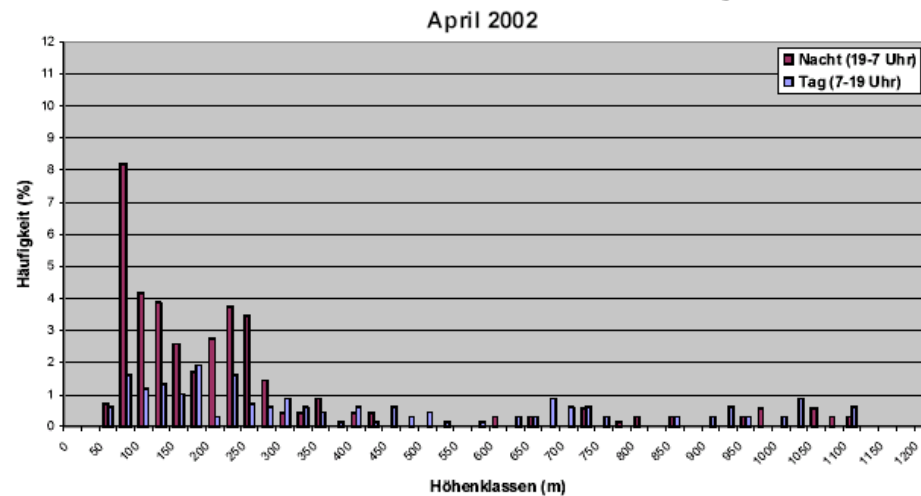
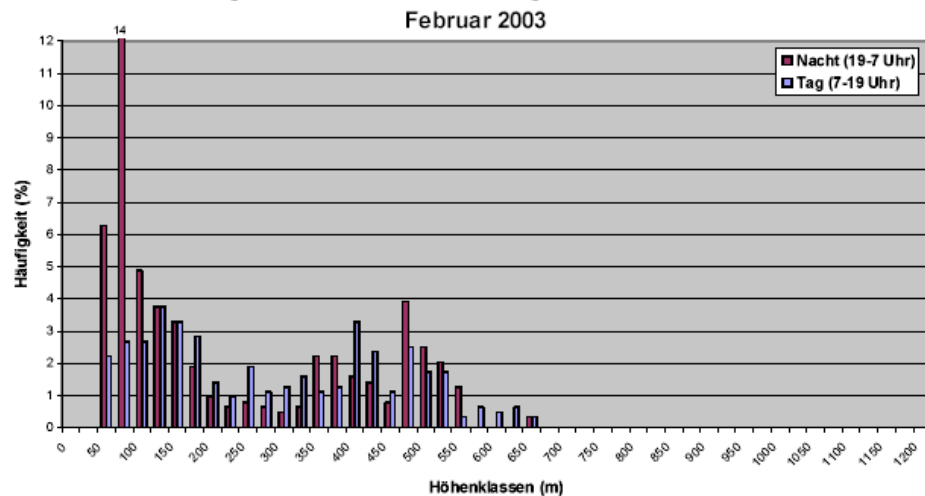
Emeis, S., M. Türk, 2004: Frequency distributions of the mixing height over an urban area from SODAR data. Meteorol. Z., 13, 361-367.

Häufigkeitsverteilung des Minimums der beiden Kriterien (unterschieden nach Tag/Nacht)



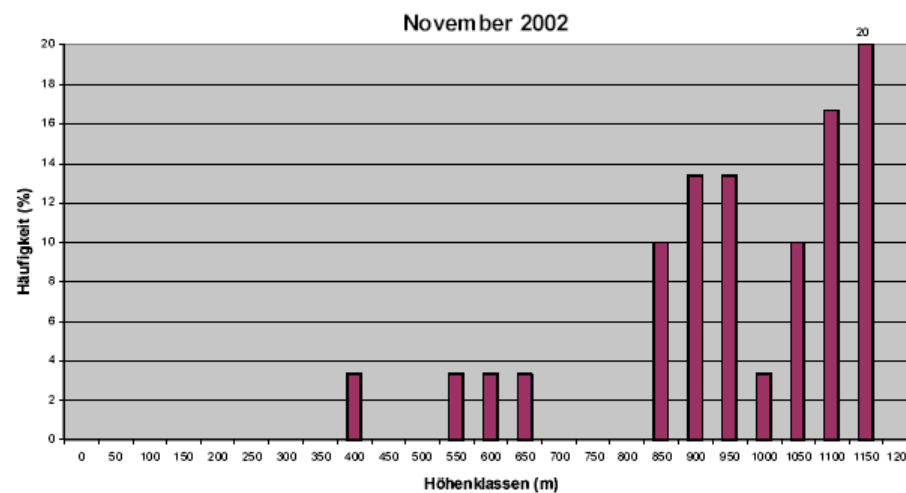
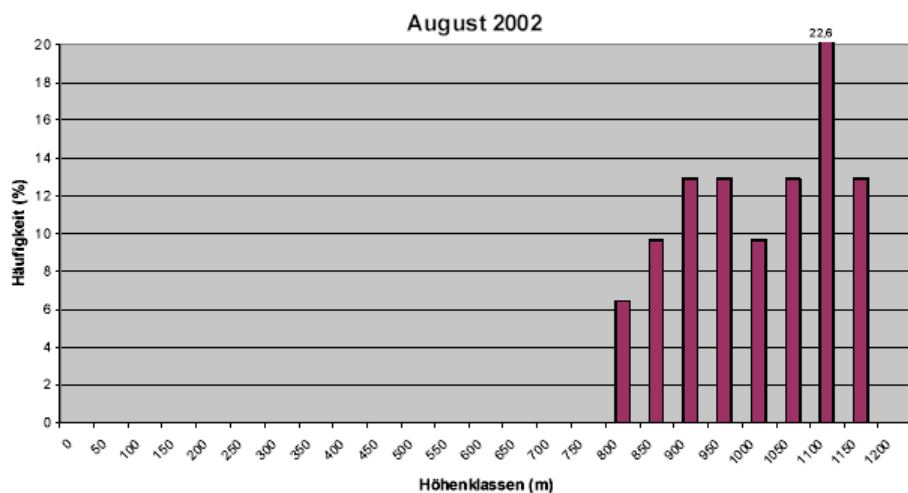
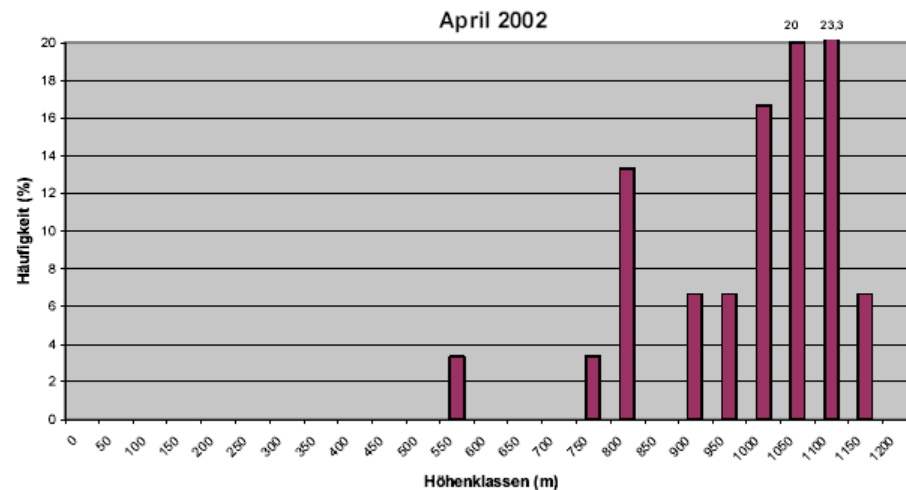
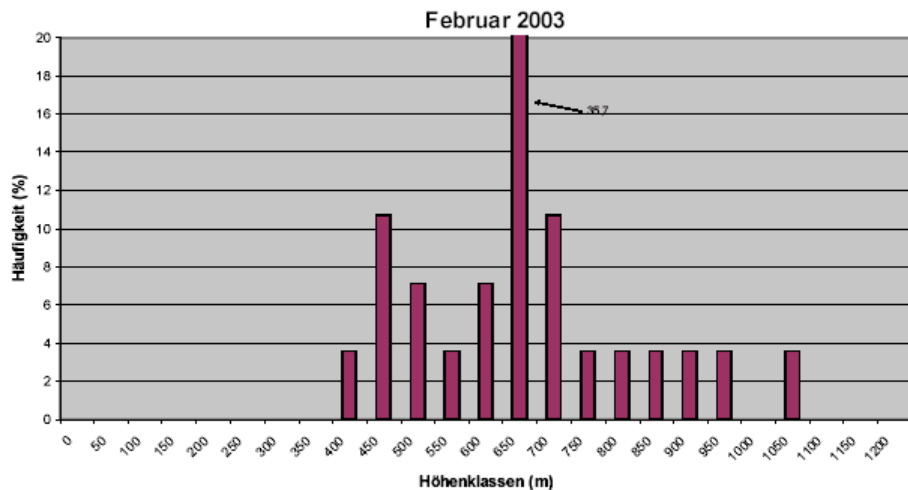
Emeis, S., M. Türk, 2004. Frequency distributions of the mixing height over an urban area from SODAR data. Meteorol. Z., 13, 361-367.

Häufigkeitsverteilung (Halbstundenwerte) (Kriterium 2 (unterschieden nach Tag/Nacht))



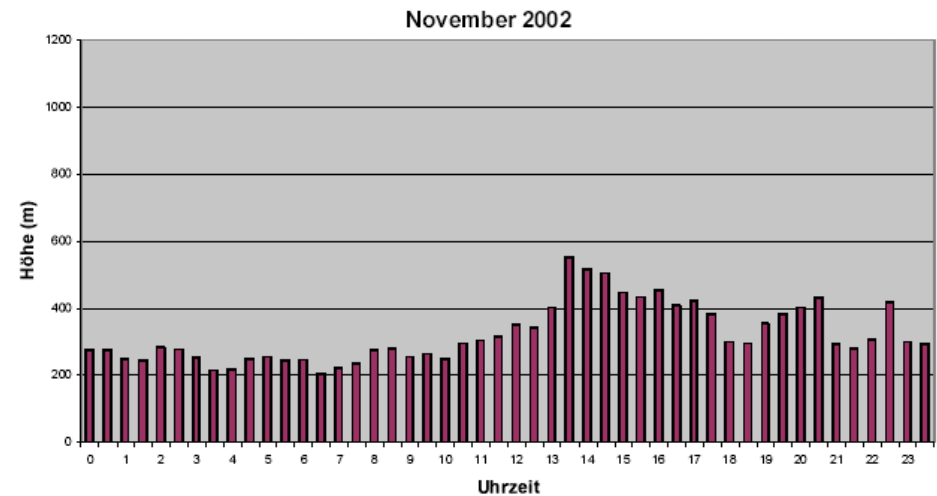
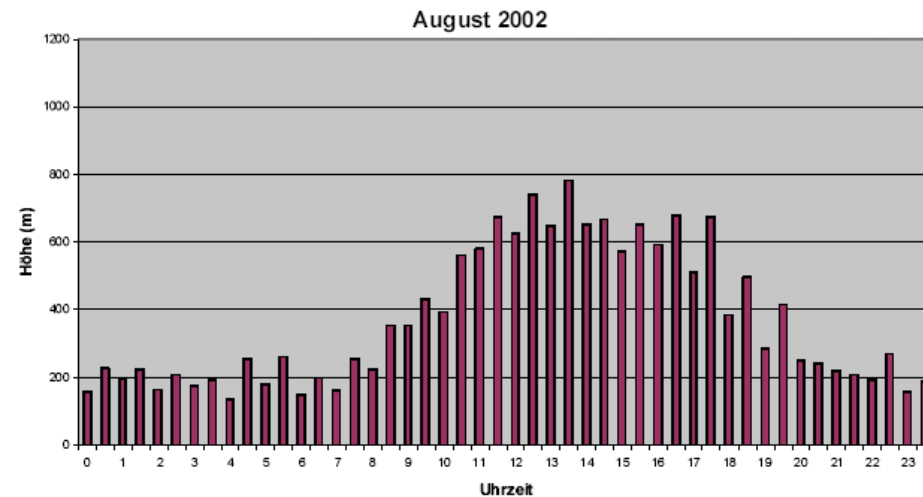
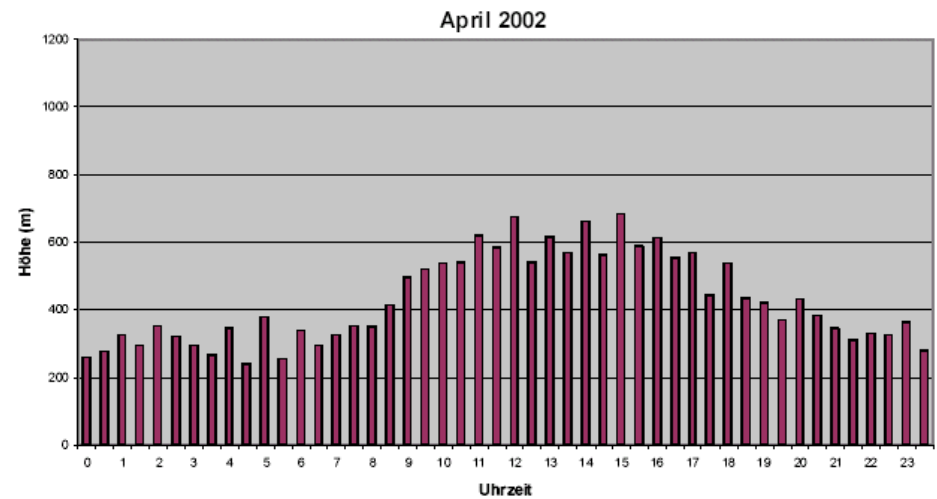
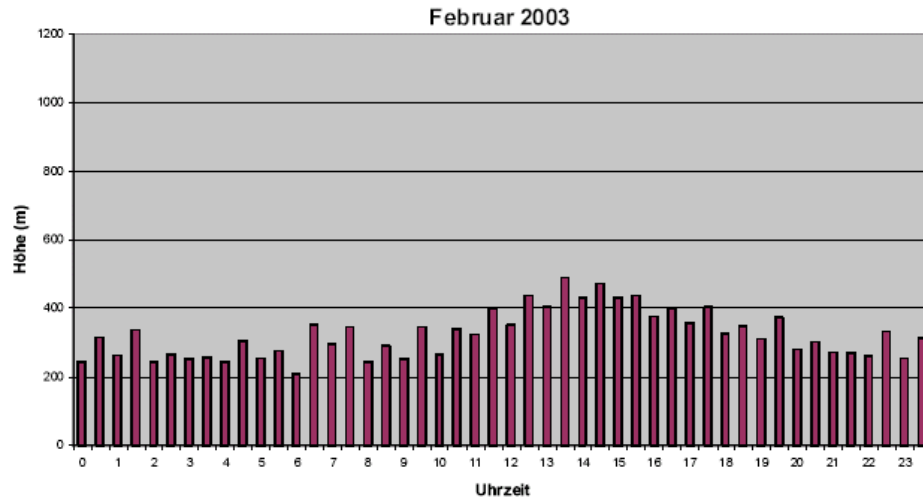
Emeis, S., M. Türk, 2004: Frequency distributions of the mixing height over an urban area from SODAR data. Meteorol. Z., 13, 361-367.

Häufigkeitsverteilung des Tagesmaximums des Minimums der beiden Kriterien



Emeis, S., M. Türk, 2004: Frequency distributions of the mixing height over an urban area from SODAR data. Meteorol. Z., 13, 361-367.

Mittlerer Tagesgang (Monatsmittel) des Minimums der beiden Kriterien



Emeis, S., M. Türk, 2004: Frequency distributions of the mixing height over an urban area from SODAR data. Meteorol. Z., 13, 361-367.

Beispiel für den gemeinsamen Einsatz von SODAR und Ceilometer

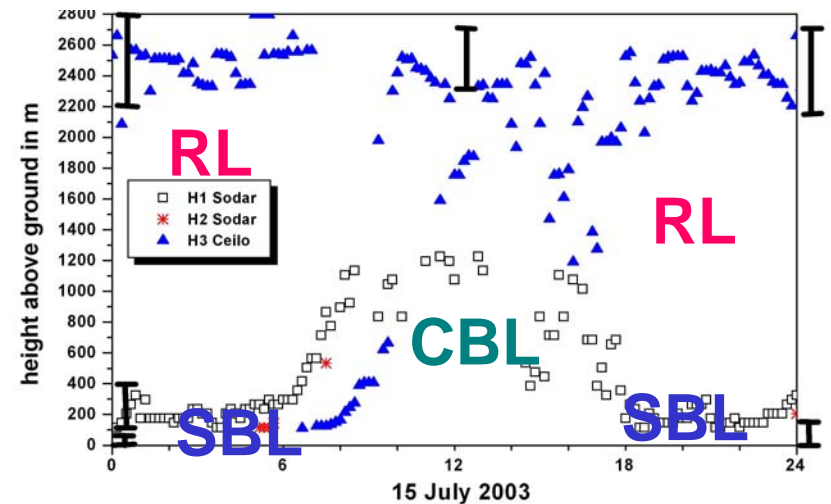
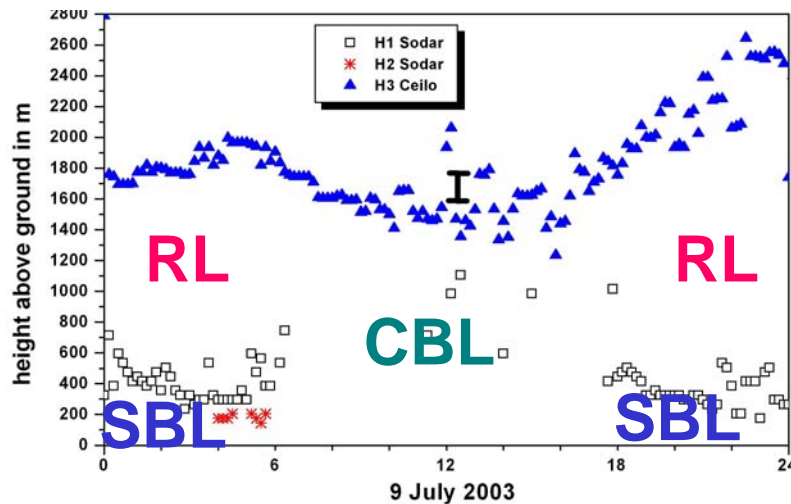
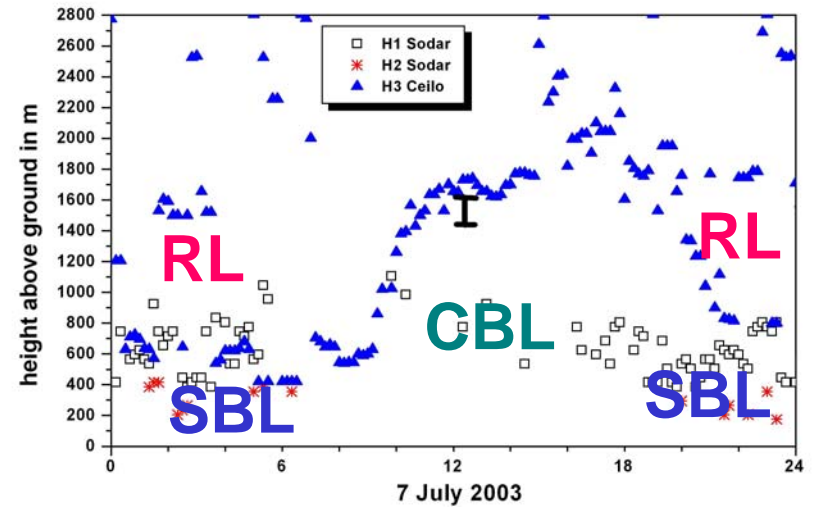
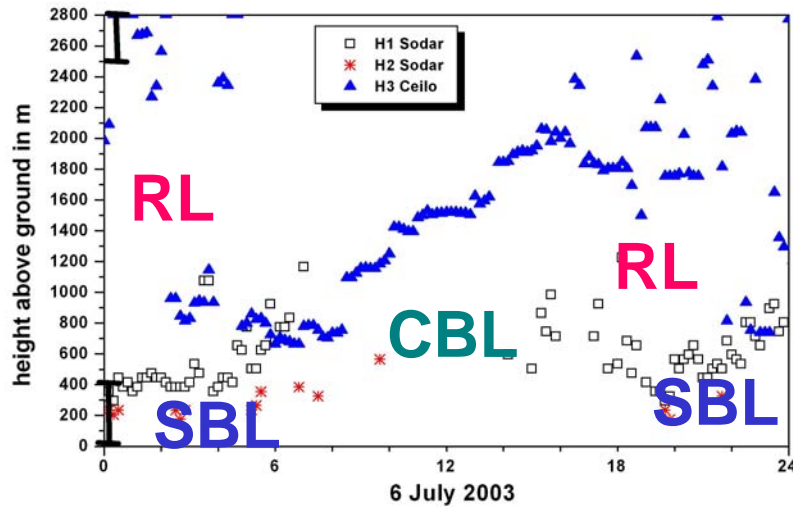
Sommer 2003 Budapest und Herbst/Winter 2003 Fürstenfeldbruck



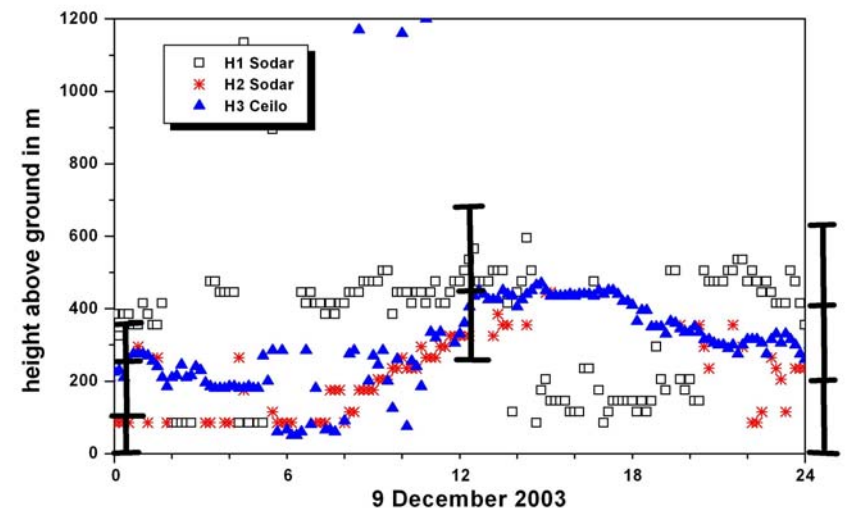
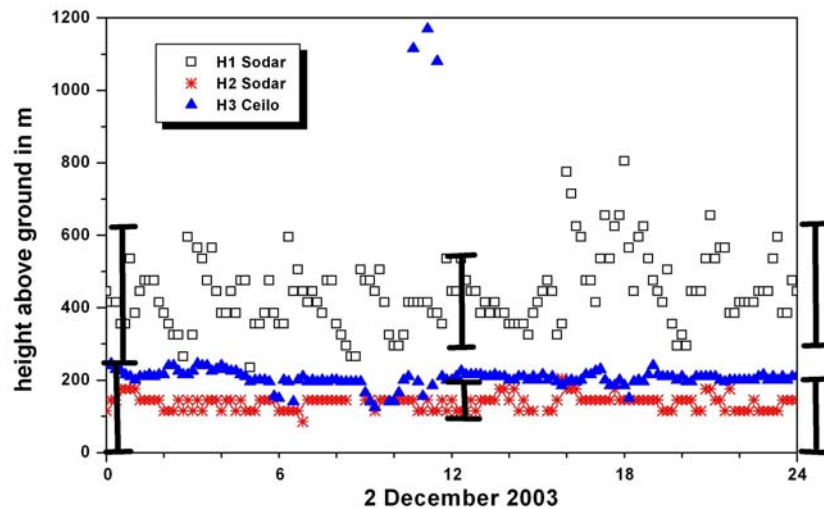
(ICAROS NET-Kampagnen)

(ICAROS NET war ein Projekt im Europäischen Forschungsrahmenprogramm FP5: IST-2000-29264)

Gemeinsamer Einsatz SODAR-Ceilometer: Beispiele für Sommertage



Gemeinsamer Einsatz SODAR-Ceilometer: Beispiele für Wintertage mit Föhn



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, DOI: 10.1007/s10546-006-9068-2

**Weiteres Beispiel für den gemeinsamen Einsatz
mit einem SODAR und einem Ceilometer**

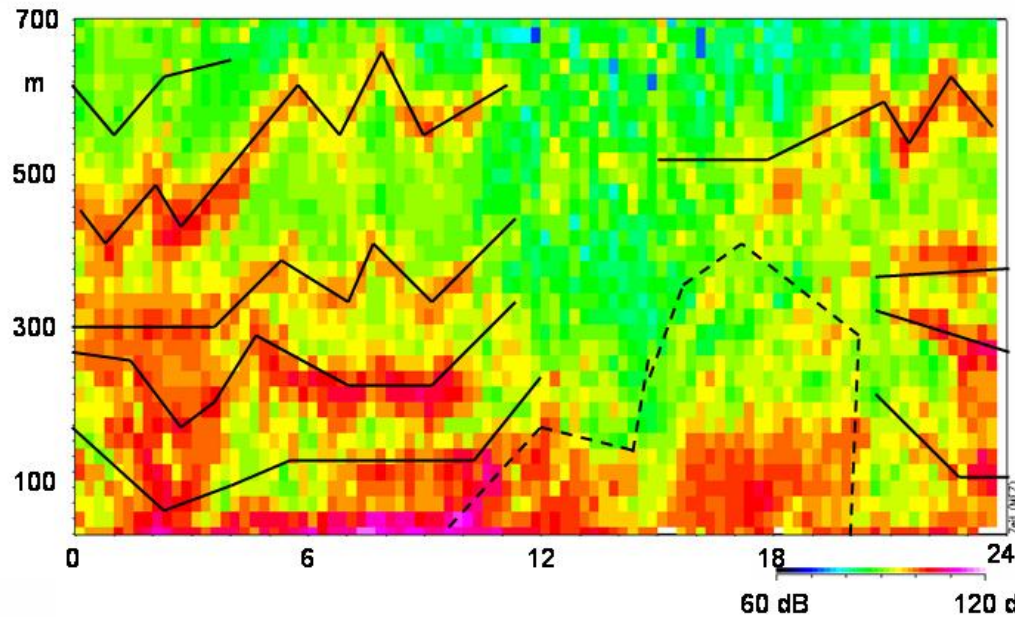
ein Wintertag in einem Alpental (Inntal zwischen Schwaz und Innsbruck)

(ALPNAP-Kampagne im Inntal im Winter 2005/06)

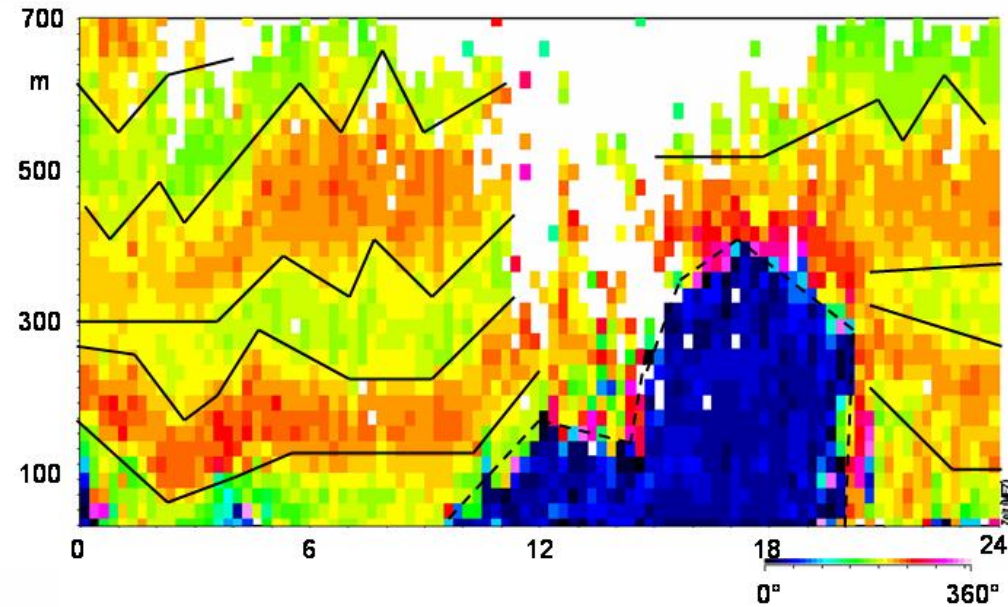
**(ALPNAP ist ein Projekt im Europäischen Programm
INTERREG III B Alpine Space, ref. no. D/III/2.1/7)**

SODAR-Messungen in einem winterlichen Alpental

29. Januar 2006

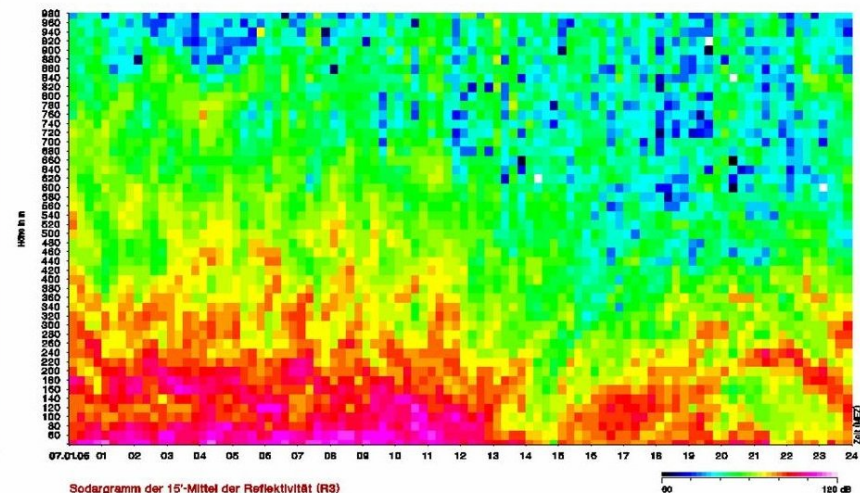
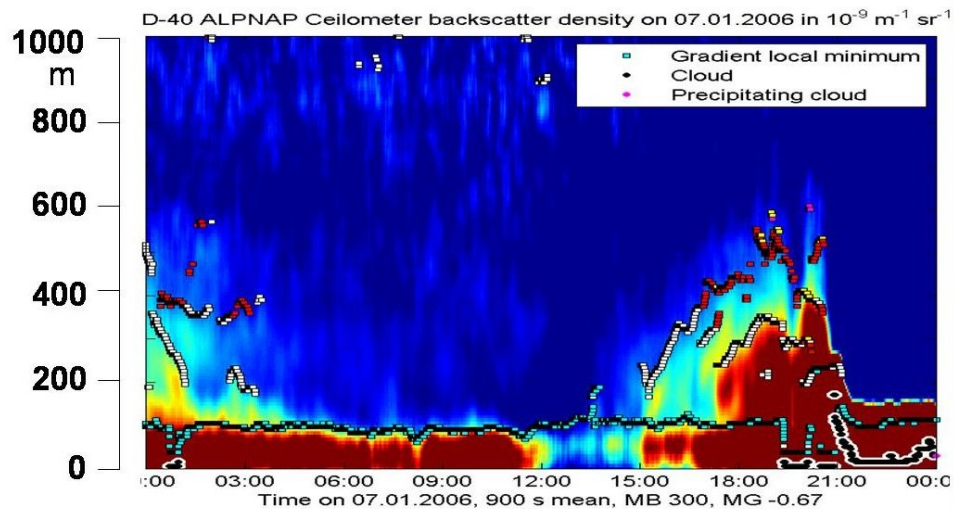
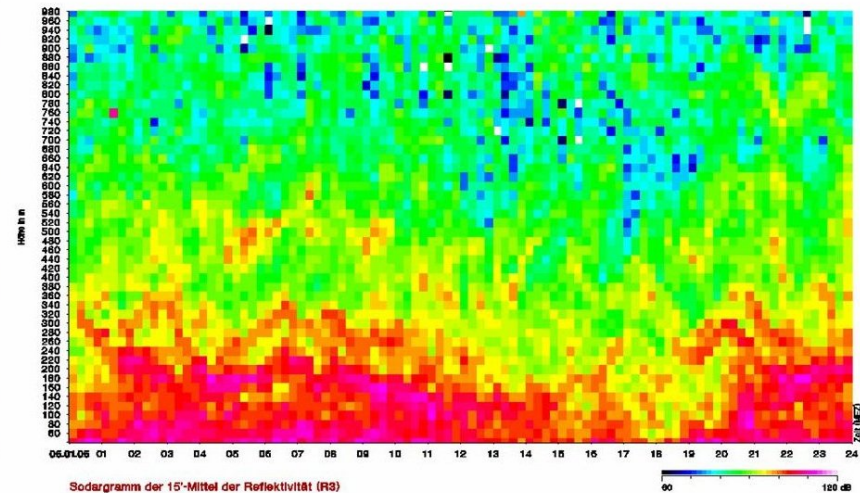
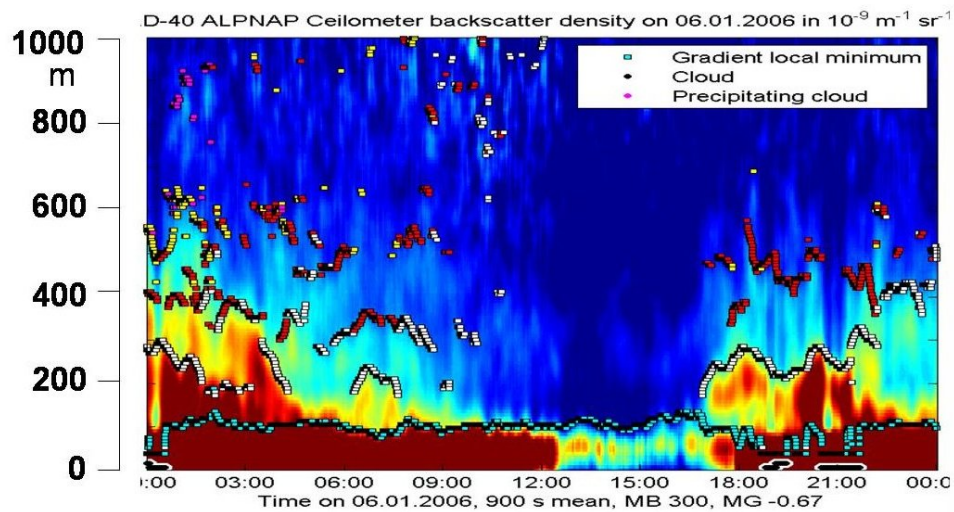


Rückstreuintensität

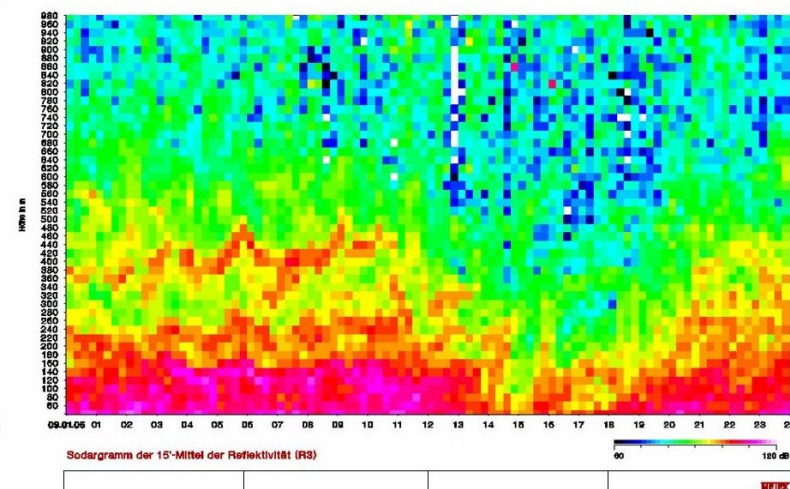
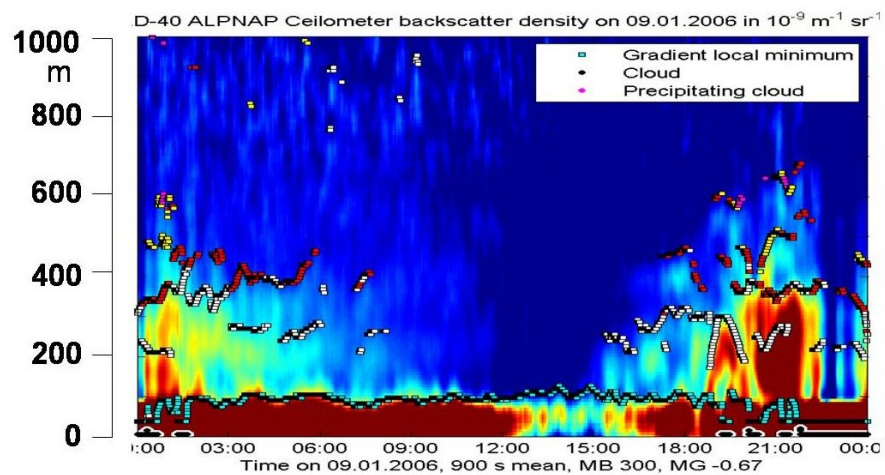
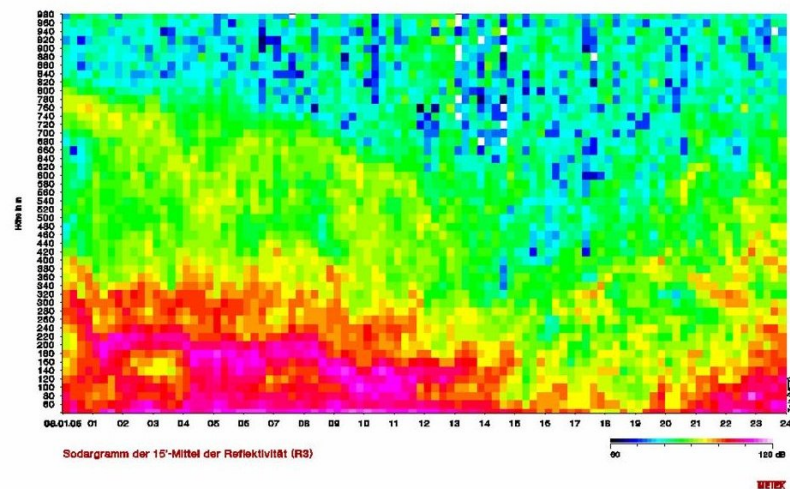
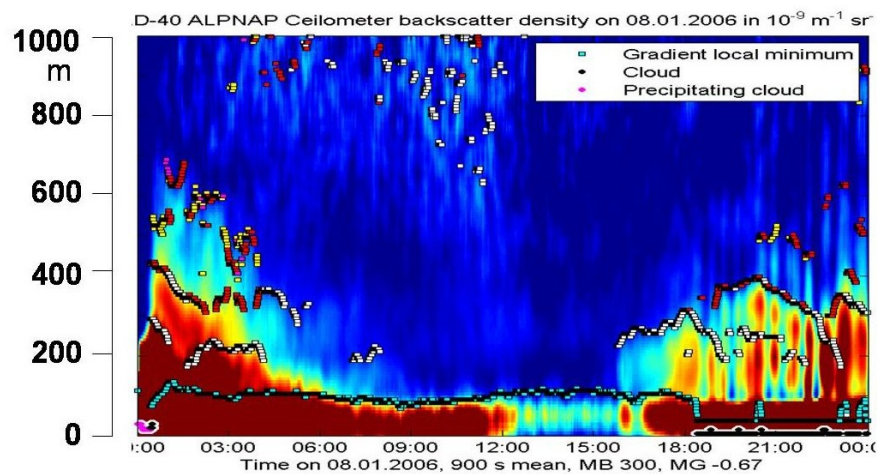


Windrichtung

Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft



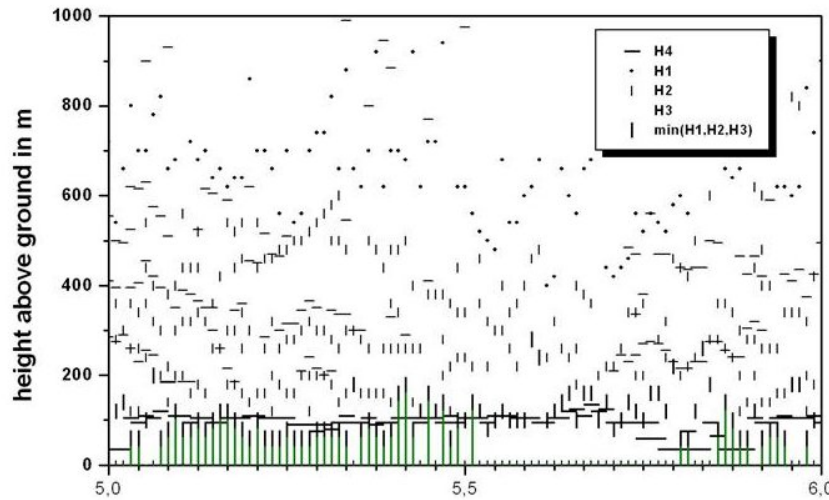
Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft



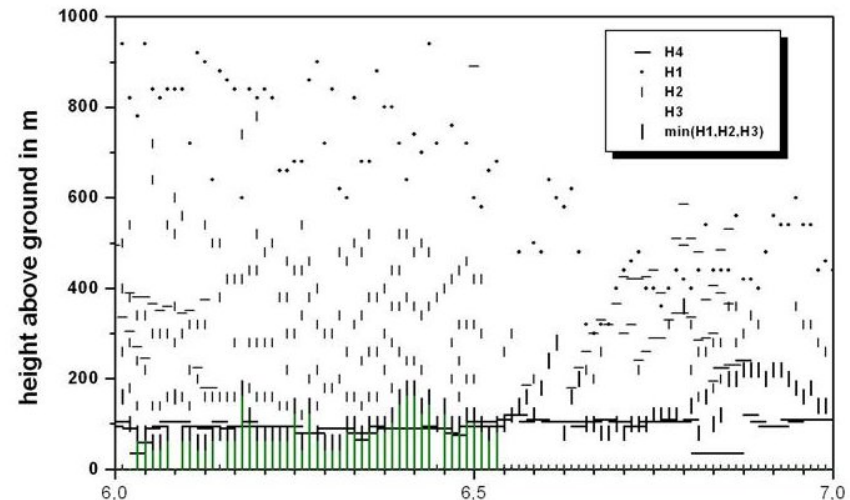
0 6 12 18 24

0 6 12 18 24

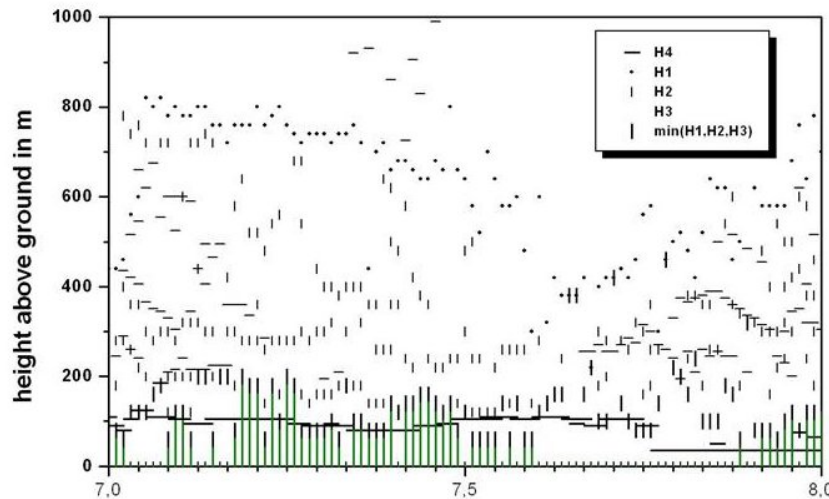
Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft



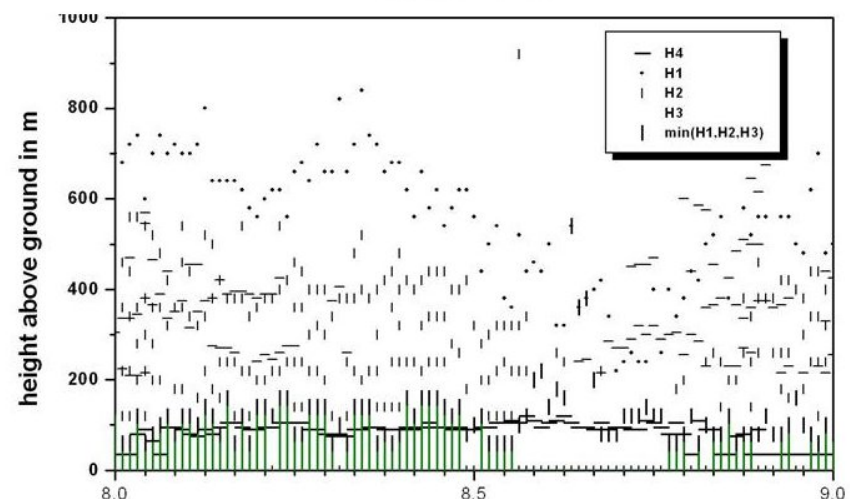
January 6, 2006



January 7, 2006



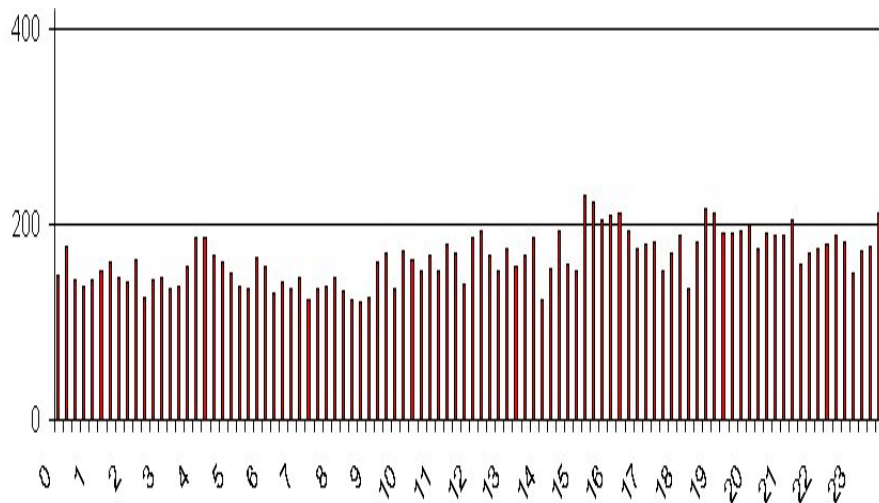
January 8, 2006



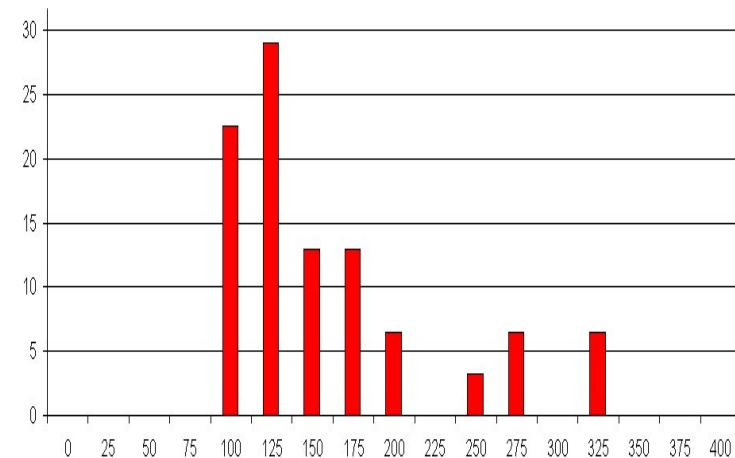
January 9, 2006

Statistische Auswertungen der Messungen im Inntal

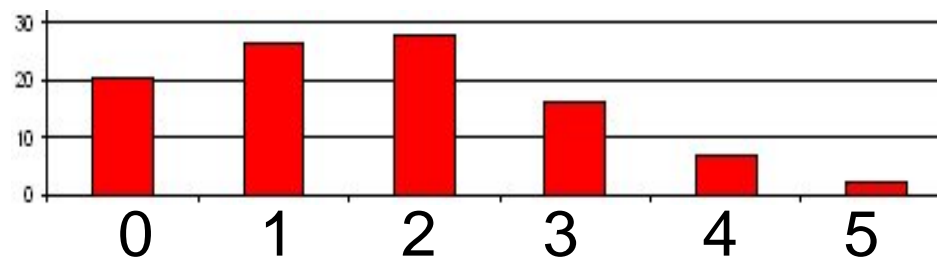
MLH: Mittlerer Tagesgang



MLH: Häufigkeitsverteilung



MLH: mehrfache Inversionen



Zusammenhang zwischen MLH und Luftqualität

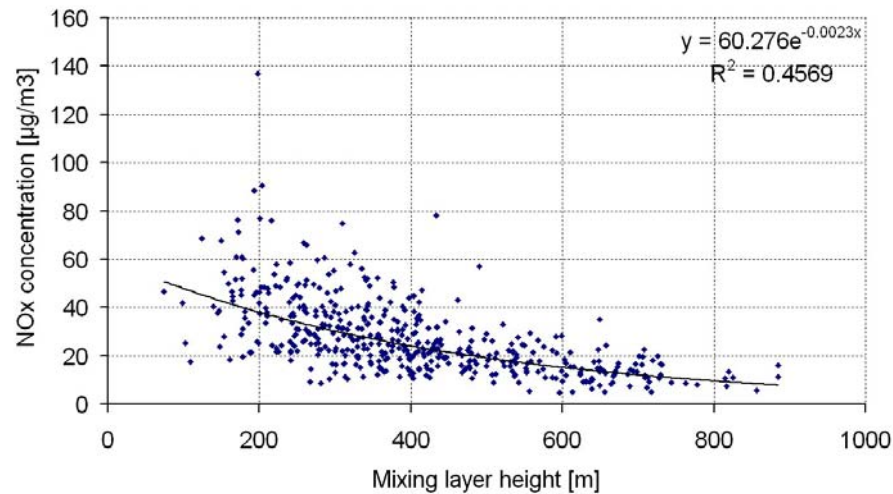
Herbst 2001 bis Frühjahr 2003 Hannover

(VALIUM-Kampagne)

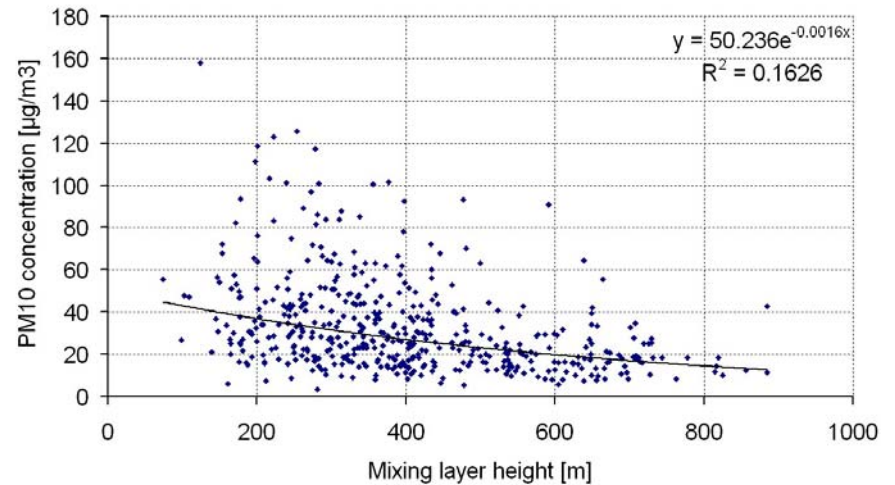
(VALIUM war ein Projekt im AFO2000 Programm des BMBF)

Korrelation Schadstoff (Dachstation Gött.-Str.) - MLH

Oktober 2001 - April 2003



NO_x

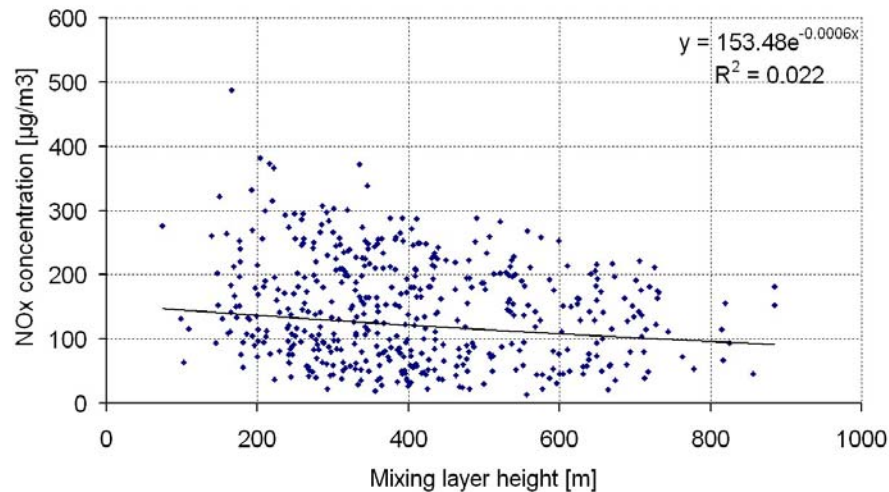


PM₁₀

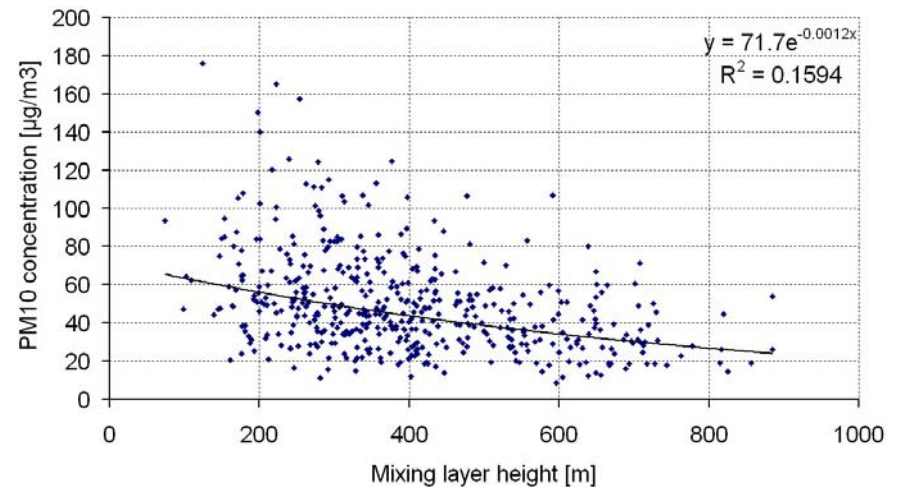
Schäfer, K., S. Emeis, H. Hoffmann, C. Jahn, 2006: Influence of mixing layer height upon air pollution in urban and sub-urban areas. Meteorol. Z., 15, 647-658.

Korrelation Schadstoff (Straßenschlucht Gött.-Str.) - MLH

Oktober 2001 - April 2003



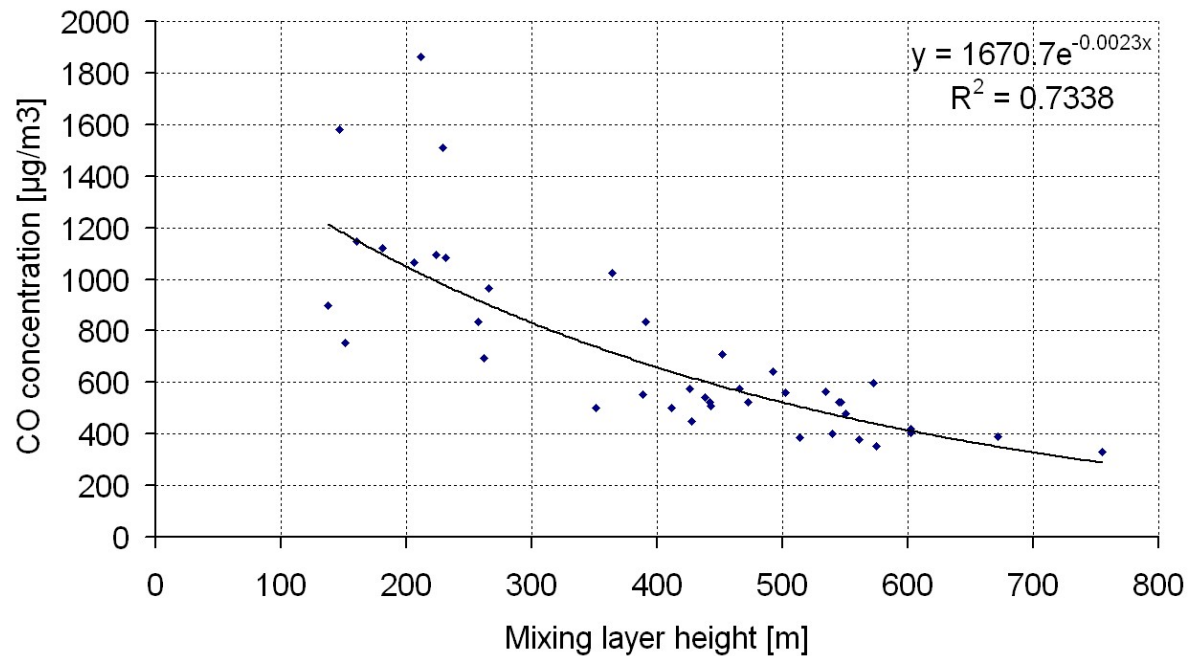
NO_x



PM₁₀

Schäfer, K., S. Emeis, H. Hoffmann, C. Jahn, 2006: Influence of mixing layer height upon air pollution in urban and sub-urban areas. Meteorol. Z., 15, 647-658.

Korrelation Schadstoff (Städtische Stationen München) - MLH



CO

Schäfer, K., S. Emeis, H. Hoffmann, C. Jahn, 2006: Influence of mixing layer height upon air pollution in urban and sub-urban areas. *Meteorol. Z.*, 15, 647-658.

Korrelation Schadstoff - MLH

NO_x

	Hanover Urban background station	Hanover Urban background station	Hanover Urban background station	Munich All 6 stations	Munich All 6 stations	Munich All 6 stations
	Total	Summer 01 – 31 Aug. 2002	Winter 06 Oct. 2001 - 31 Jan. 2002 01 Dec. 2002 – 28 Febr. 2003	Total	Summer 10 – 29 May 2003	Winter 27 Nov. – 19 Dec. 2003
a	60.3	41.5	60.1	222.3	69.3	209.7
b	-0.0023	-0.0017	-0.0021	-0.003	-0.001	-0.0024
R ²	0.46	0.30	0.41	0.64	0.13	0.46

PM₁₀

	Hanover Urban background station	Hanover Urban background station	Hanover Urban background station	Munich All 6 stations	Munich All 6 stations	Munich All 6 stations
	Total	Summer 01 – 31 Aug. 2002	Winter 06 Oct. 2001 - 31 Jan. 2002 01 Dec. 2002 – 28 Febr. 2003	Total	Summer 10 – 29 May 2003	Winter 27 Nov. – 19 Dec. 2003
a	50.2	79.9	47.9	45.4	43.4	69.70
b	-0.0016	-0.0022	-0.0015	-0.0016	-0.0011	-0.0035
R ²	0.16	0.23	0.17	0.31	0.11	0.84

Schäfer, K., S. Emeis, H. Hoffmann, C. Jahn, 2006: Influence of mixing layer height upon air pollution in urban and sub-urban areas. Meteorol. Z., 15, 647-658.

Zusammenfassung und Ausblick

Kombination von akustischer und optischer Fernerkundung ermöglicht Erfassung der Struktur der Grenzschicht

Kenntnis der MLH wichtiger Parameter bei der Bewertung und der Vorhersage der Luftqualität

Kenntnis der MLH wichtiger Parameter bei der Abschätzung von Emissionsquellstärken

Kenntnis der MLH wichtiger Parameter bei der Umrechnung aerosol-optischer Dicken in bodennahe Luftqualitätsparameter

zukünftige Klimaentwicklung beeinflusst MLH und damit insbesondere die Lebensqualität in Städten