
WASA – Wind- und Stabilitätsatlas für die südliche Nordsee

G. Steinfeld, M. Schmidt und D. Heinemann

Arbeitsgruppe Energiemeteorologie, ForWind – Universität Oldenburg

Vierte Fachtagung Energiemeteorologie

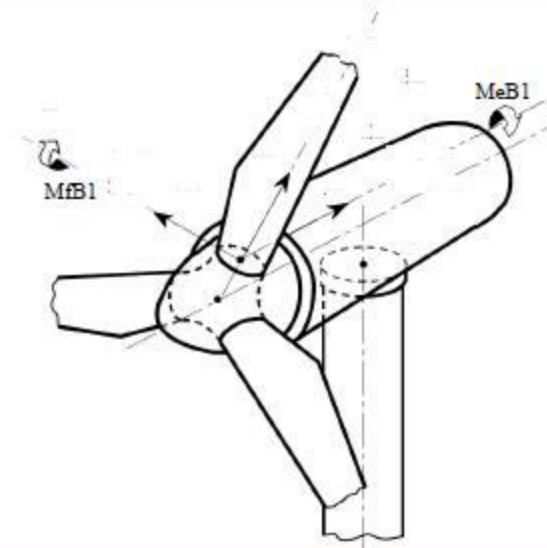
Bremerhaven, 21.04.2016

Motivation

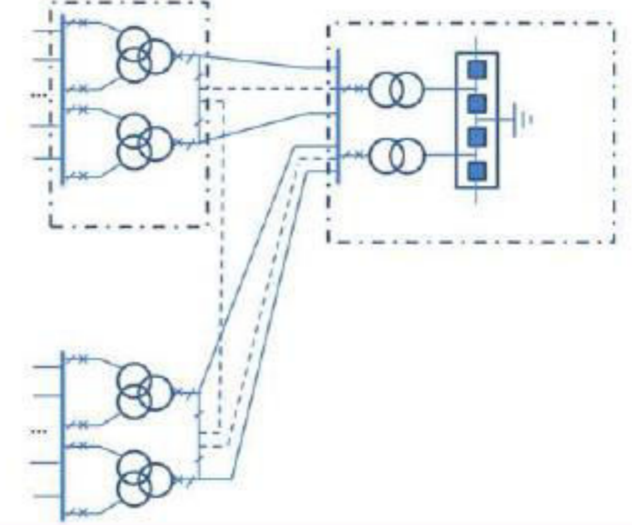
- Ziel des EU-FP7-Projekts ClusterDesign (2011-2016):
Entwicklung einer „Toolbox“ bestehend aus miteinander verbundenen Modellen für verschiedene beim Design eines Windparkclusters zu berücksichtigende Aspekte
- Wind- und Stabilitätsatlas liefert Input: Atmosphärische Umgebungsbedingungen



Wind flow modelling



Wind turbine power output and mechanical loading



Grid interconnection and operational cluster control strategies

[1] Adiloglu et al. (2014)

Verwendete Methode zur Generierung des WASA

- Dynamisches Downscaling von Reanalysedaten mit dem mesoskaligen Modell **WRF** [2], Version 3.4.1
- Simulationszeitraum: **1993** bis **2012**
- Anfangs- und Randbedingungen, Nudging:
 - Atmosphäre: Daten des NCAR Climate Forecast System Reanalysis Projekts (**CFSR**) [3]: sechstündlich, 64 Höhenniveaus, räumliche Auflösung etwa 38 km
 - Meeresoberflächentemperatur: Daten des Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (**OSTIA**) Projekts [4]: tägliche Werte interpoliert zu sechstündlichen Werten, räumliche Auflösung etwa 5 km

Setup der WRF-Simulationen

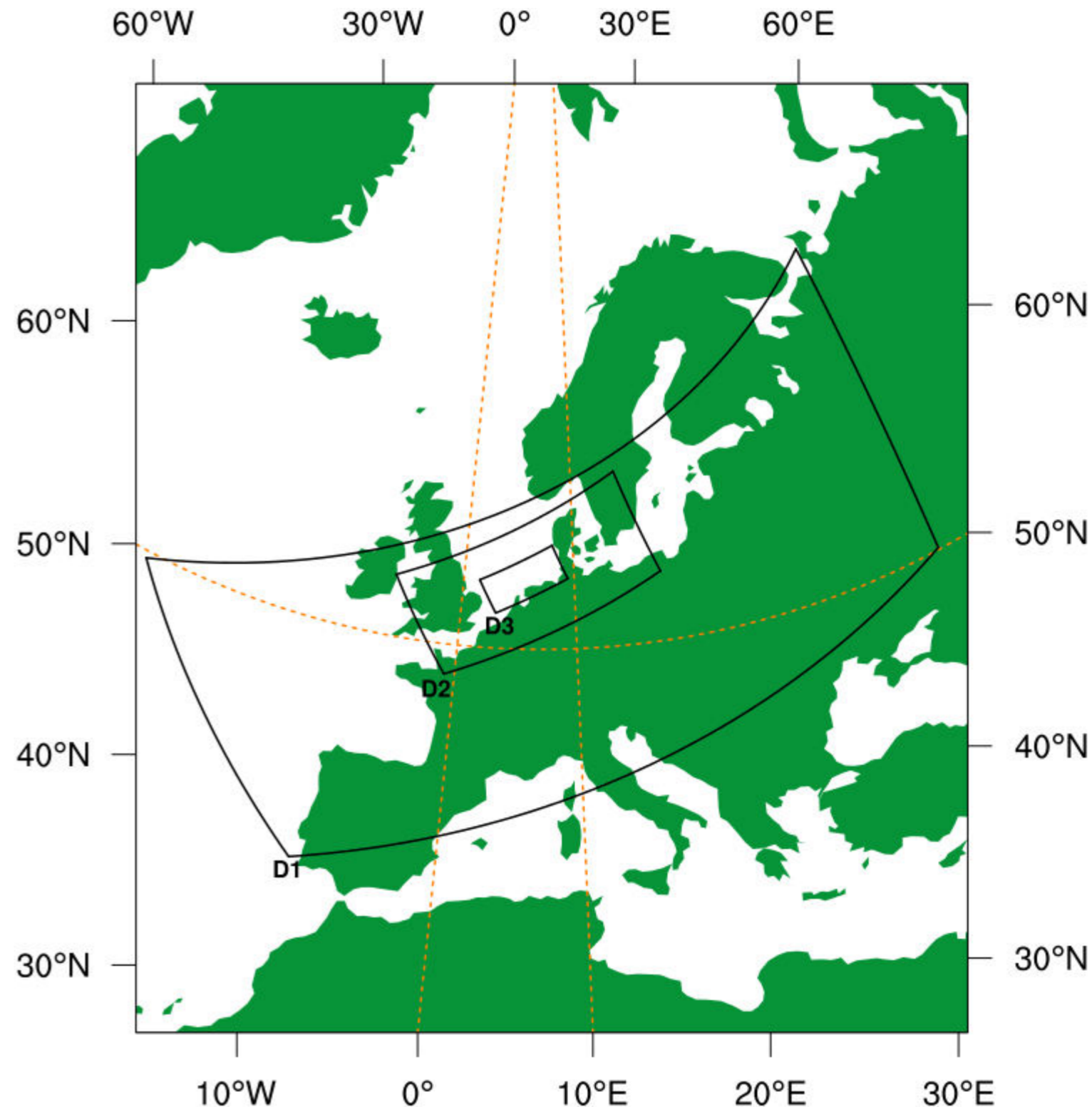
- Auflösung:

- D1: 18 x 18 km²
- D2: 6 x 6 km²
- D3 (**WASA-Gebiet**): 2 x 2 km²

- Gitterpunktsanzahl: je 112 x 241

- 62 Höhenniveaus

- In D1 und D2 Nudging in allen Höhen, in D3 nur oberhalb der atmosphärischen Grenzschicht



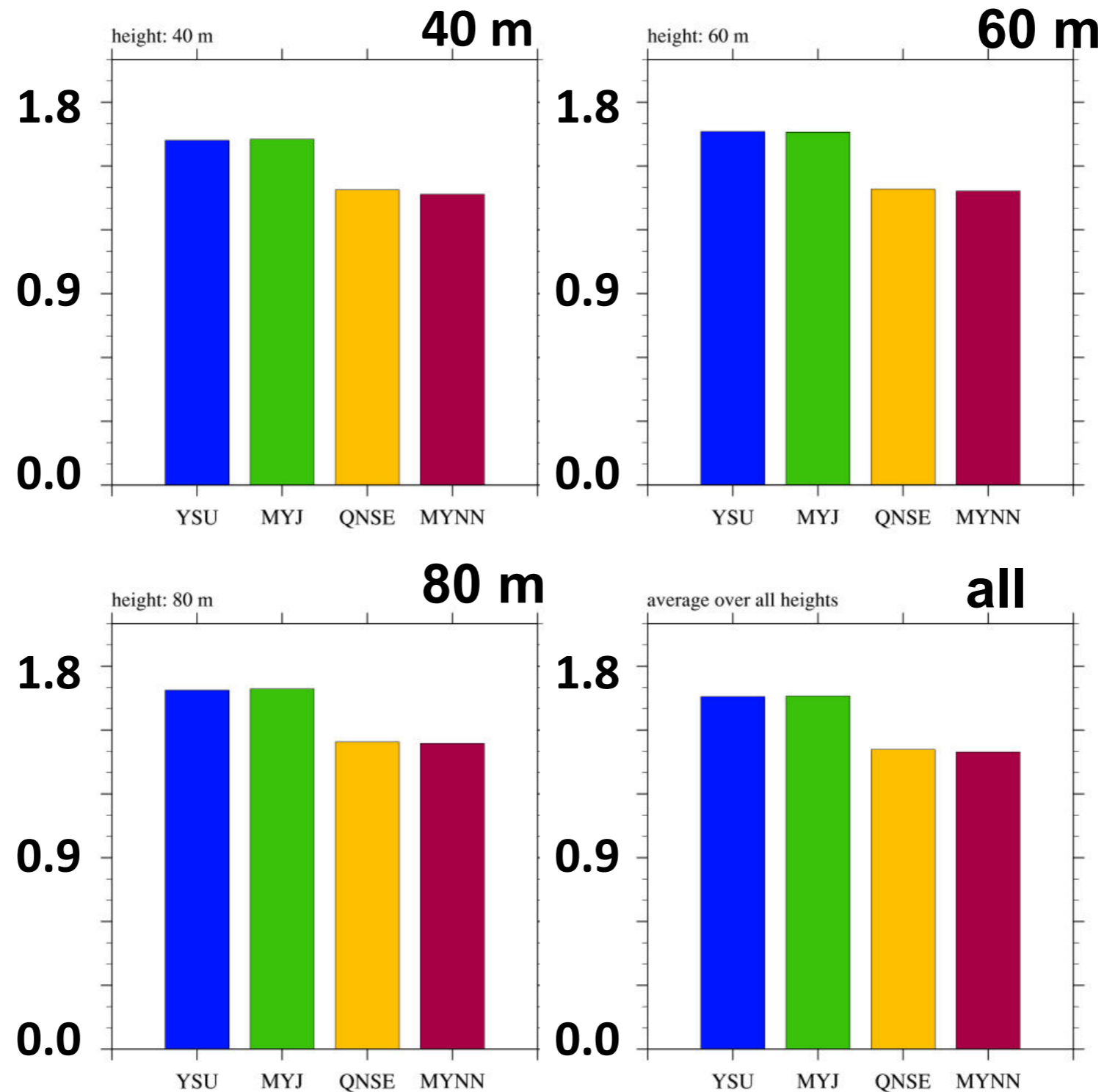
Untersuchung des Einflusses der Grenzschichtparametrisierung in WRF

- Bewertung von vier verschiedenen Grenzschichtparametrisierungen:
 - Untersuchungszeitraum: Jahr 2007
 - Vergleichsdaten: Daten des Messmasts FINO1
- Bewertete Grenzschichtparametrisierungen:
 - YSU, MYJ, QNSE, MYNN
- Ausgewertete Parameter:
 - Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftdichte, inverse Obukhov-Länge, Turbulenzintensität



Ergebnisse der Sensitivitätsstudie: RMSE der Windgeschwindigkeit

- Vergleich mit Ultraschallanemometern
- Nur Zeiträume mit Daten aus allen Höhen



- **Blue:** YSU
- **Green:** MYJ
- **Yellow:** QNSE
- **Red:** MYNN

Suselj and Sood (2010): 2.36 ms^{-1}
 Pena et al (2011): 1.85 ms^{-1}
 Shimada et al. (2011): 1.63 ms^{-1}
 Ohsawa et al. (2012): 1.46 ms^{-1}

→ weitere Verbesserung erreicht

Ergebnisse der Sensitivitätsstudie: Korrelation zwischen simulierter und gemessener Windgeschwindigkeit

Height	YSU	MYJ	QNSE	MYNN
correlation coefficient WRF-FINO1 sonic				
40 m	0.911	0.907	0.933	0.936
60 m	0.905	0.901	0.930	0.934
80 m	0.920	0.916	0.939	0.943
correlation coefficient WRF-FINO1 cup				
40 m	0.928	0.923	0.933	0.937
50 m	0.928	0.924	0.934	0.938
60 m	0.929	0.924	0.935	0.940
70 m	0.929	0.925	0.935	0.940
80 m	0.930	0.925	0.936	0.941
90 m	0.931	0.926	0.936	0.942
100 m	0.930	0.927	0.937	0.941

Ergebnisse der Sensitivitätsstudie: Statistische Größen der Windrichtung

Statistiken über alle Geschwindigkeiten / Vergleich mit USA:

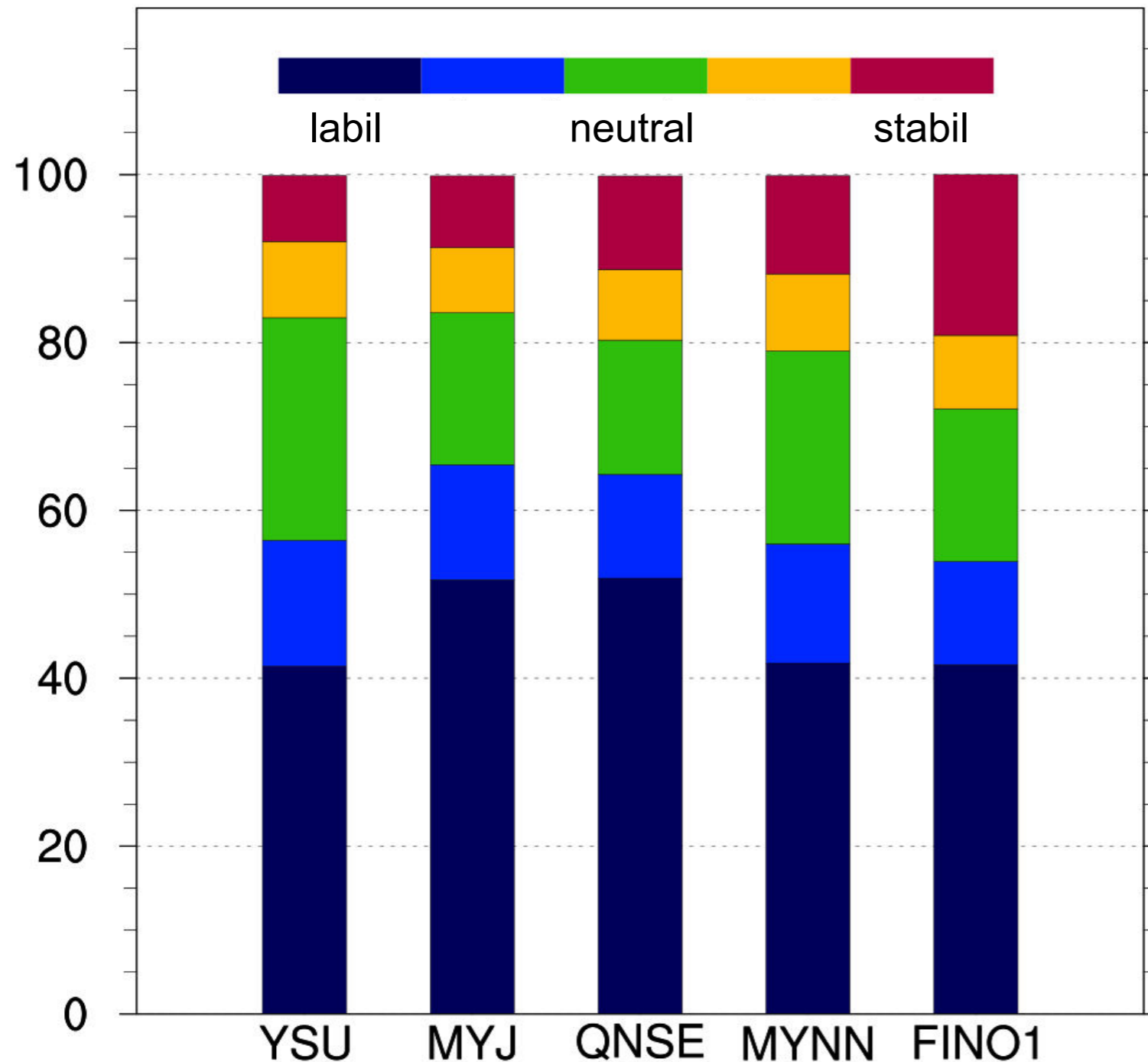
Statistical parameter	YSU	MYJ 80 m	QNSE	MYNN
mean bias	-0.40°	-0.02°	-0.43°	1.64°
root-mean-square error	24.59°	25.70°	23.13°	22.05°
correlation coefficient	0.973	0.970	0.975	0.978

Statistiken für Geschwindigkeiten > 3 ms⁻¹ / Vergleich mit USA:

Statistical parameter	YSU	MYJ 80 m	QNSE	MYNN
mean bias	-0.67°	-0.52°	-0.83°	1.28°
root-mean-square error	20.60°	20.72°	18.39°	17.55°
correlation coefficient	0.980	0.980	0.984	0.986

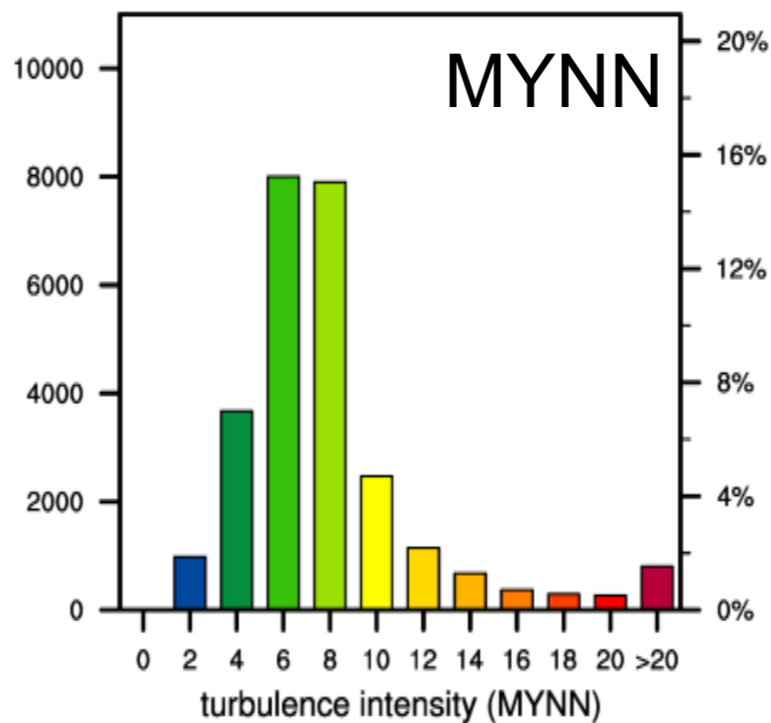
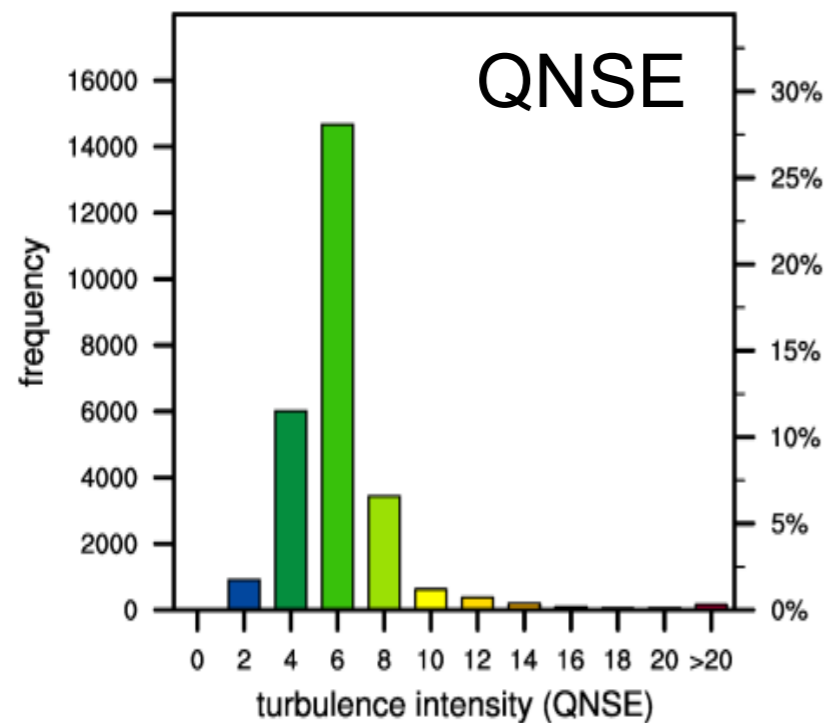
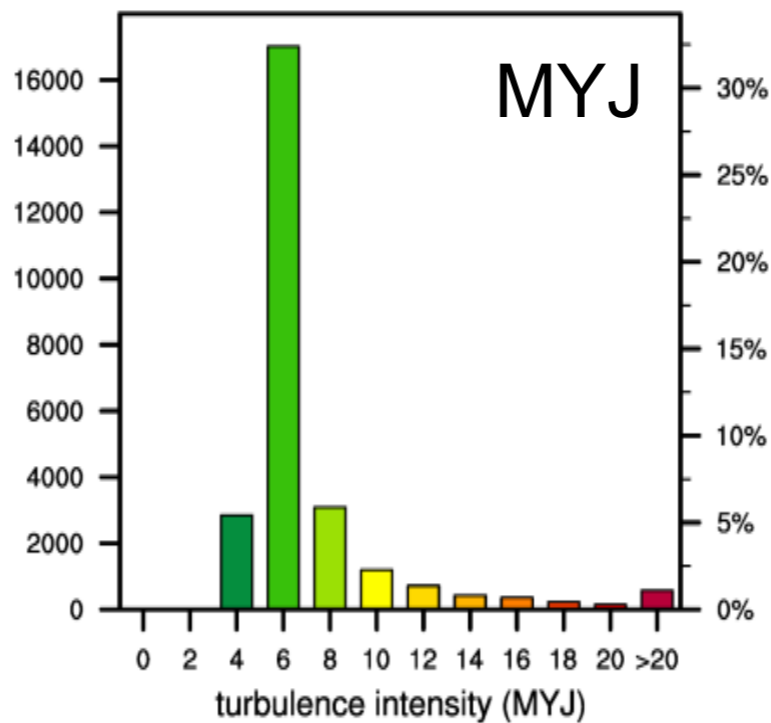
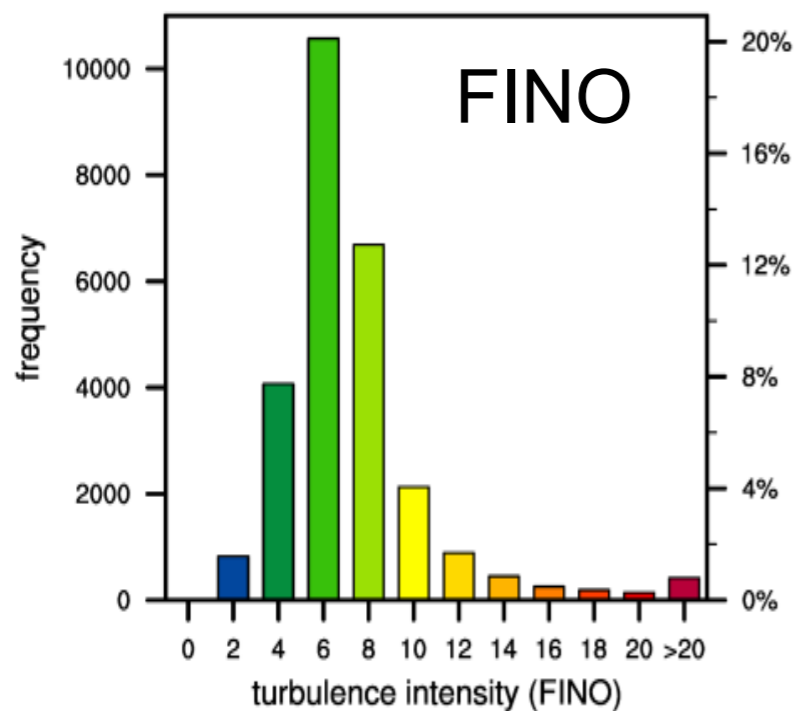
Ergebnisse der Sensitivitätsstudie: Atmosphärische Stabilität

Stabilitätsmaß: Inverse Obukhov-Länge



- Unterschätzung der Häufigkeit von stabilen Fällen durch WRF
- MYNN: In 62 % der Fälle erfolgt Eingruppierung in gleiche Stabilitätsklasse

Ergebnisse der Sensitivitätsstudie: Turbulenzintensität



Häufigkeitsverteilungen der Turbulenzintensität aus Messung und Simulation

YSU: fehlt, da keine TKE-Information vorhanden

MYNN: größte Ähnlichkeit mit der Verteilung von FINO

Finales Ergebnis der Sensitivitätsstudie

Nutzung des MYNN-Grenzschichtschemas liefert die beste Übereinstimmung zwischen Simulation und Messungen

Bestandteile und Formate des Wind- und Stabilitätsatlas

WASA besteht aus 4 Teilen (Gesamtmenge an Daten etwa 1 TB):

Teil 1: Geographische Positionen der Gitterpunkte des WASA (ASCII)

Teil 2: Für jeden Gitterpunkt des WASA je eine Datei mit Zeitreihen: 1993-2012, zeitliche Auflösung 10 Minuten (NetCDF)

Teil 3: Für jedes Jahr des WASA-Zeitraums je eine Datei mit statistischen Größen für das komplette WASA-Gebiet (NetCDF)

Teil 4: Für jeden Monat des WASA-Zeitraums je eine Datei mit statistischen Größen für das komplette WASA-Gebiet (NetCDF)

Teil 2 des WASA: Dateien mit Zeitreihen

Inhalt der Zeitreihendateien:

- Folgende Informationen für sechs Höhen zwischen 50 und 150 m:
 - Windrichtung
 - Windgeschwindigkeit
 - Luftdichte berechnet unter Verwendung der aktuellen Temperatur
 - Luftdichte berechnet unter Verwendung der virtuellen Temperatur
 - Turbulenzintensität
- Zusätzliche Parameter:
 - Inverse Obukhov-Länge
 - Rauigkeitslänge
 - Höhe der Grenzschicht

Windprofilmodellierung in FarmFlow:

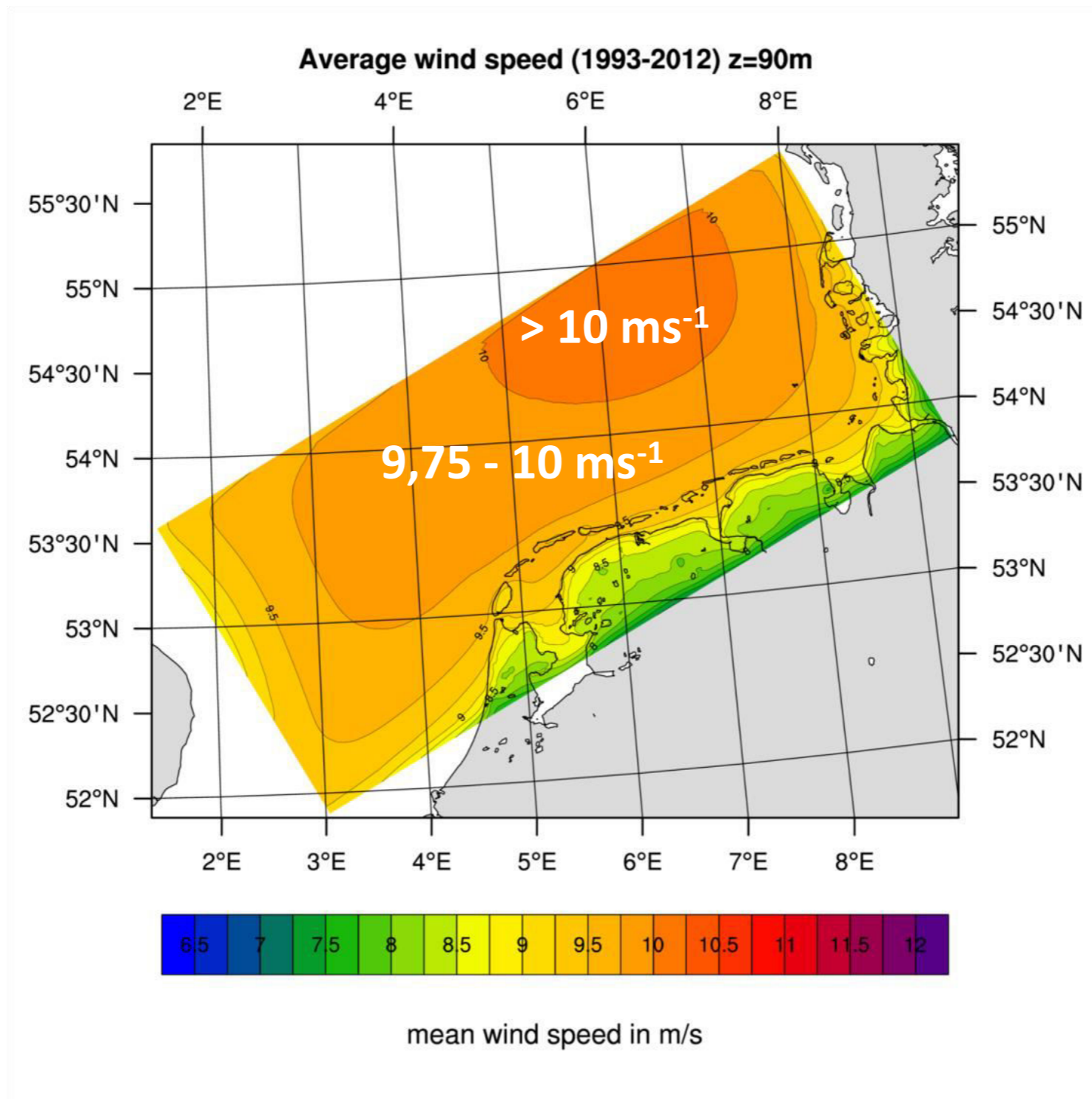
$$u = \frac{u_{*0}}{\kappa} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z}{L} \right) \left(1 - \frac{z}{2z_i} \right) + \frac{z}{L_{\text{MBL}}} - \frac{z}{z_i} \left(\frac{z}{2L_{\text{MBL}}} \right) \right]$$

Teile 3 und 4 des WASA: Jahresstatistiken bzw. Monatsstatistiken

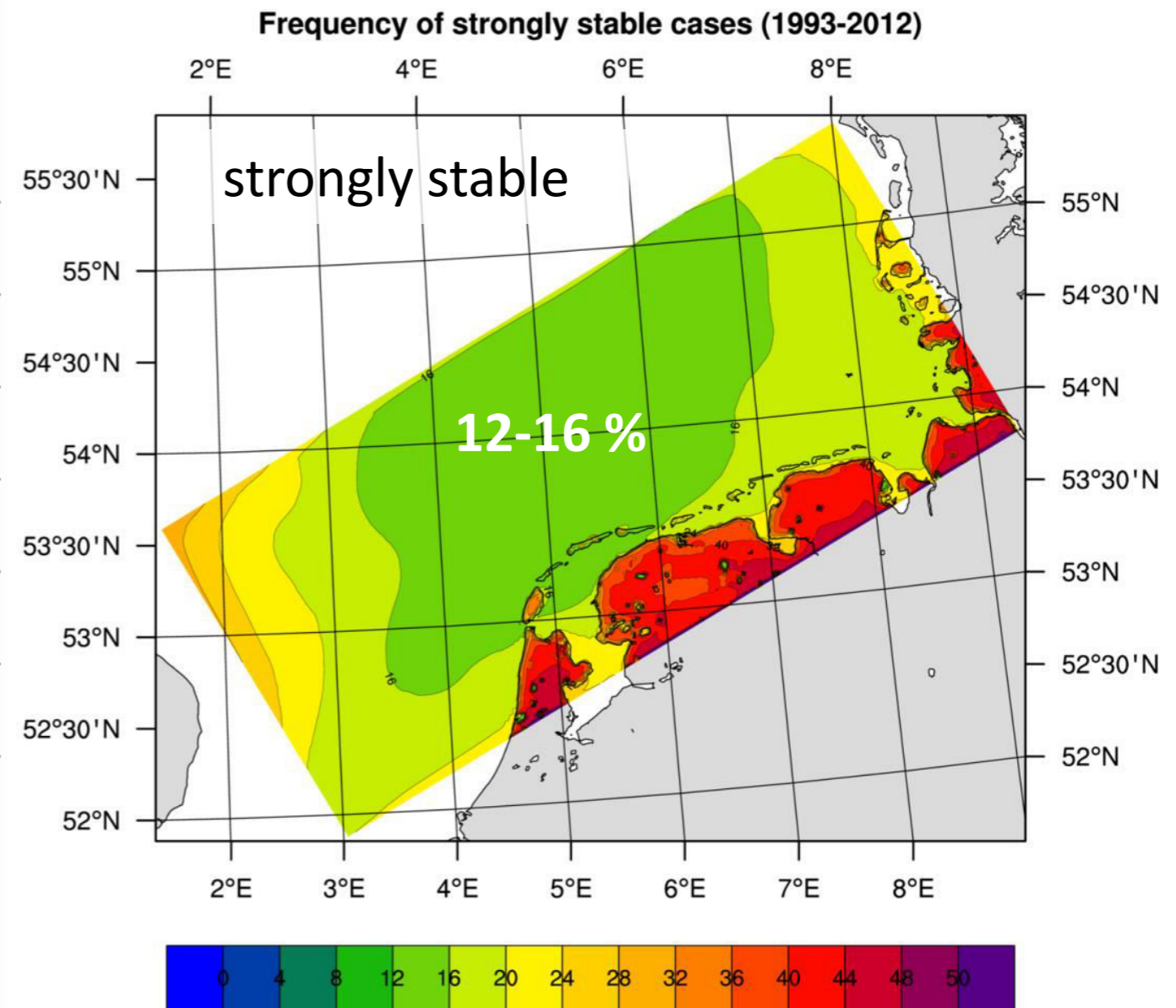
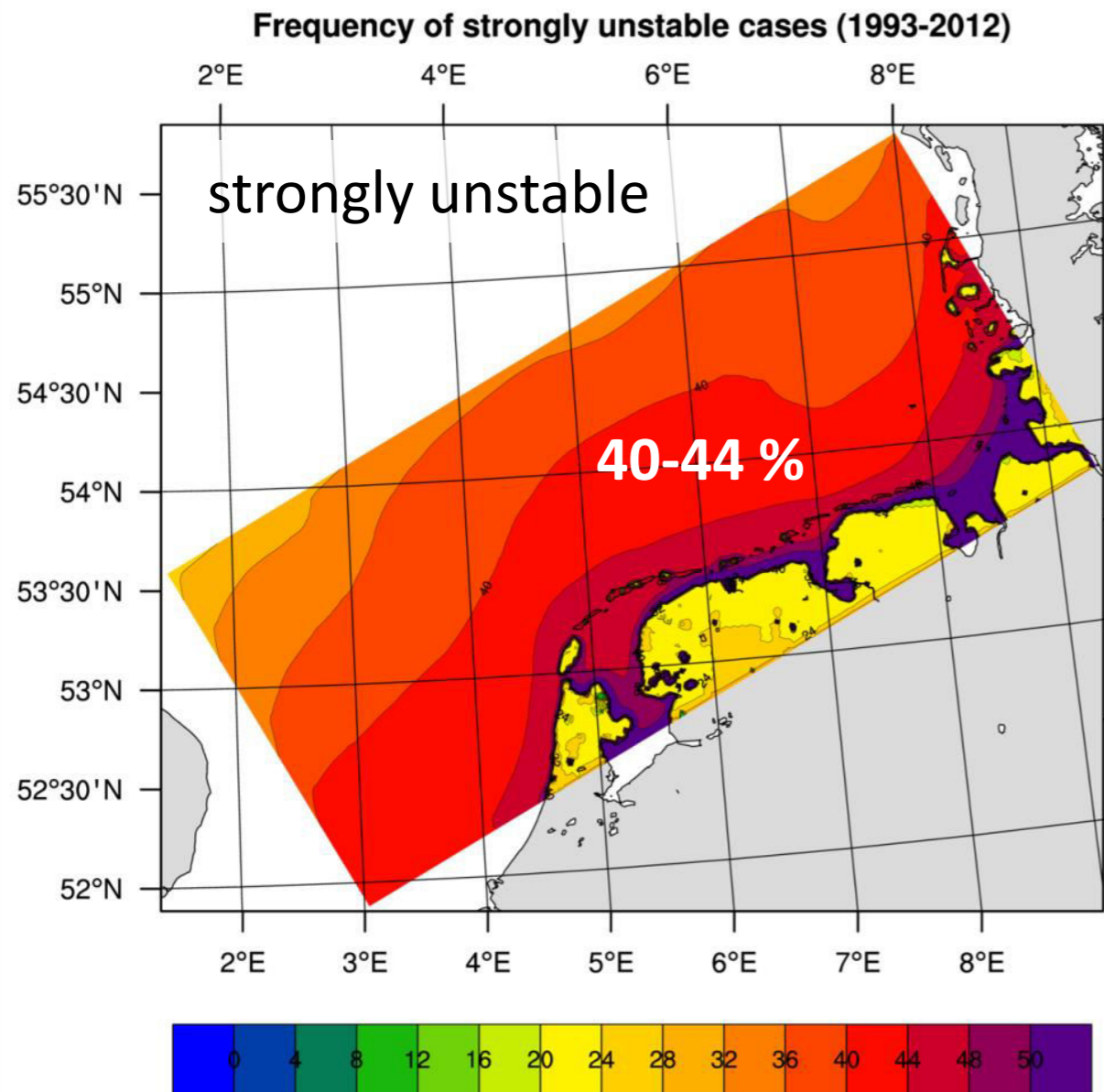
Inhalte der Dateien mit den Statistiken für die einzelnen Jahre bzw. einzelnen Monate des WASA-Zeitraums (6 Höhenniveaus):

- Etwa 60 verschiedene Parameter
- Z.B. Mittelwerte, Minima und Maxima der Zeitreihenparameter
- Angaben zur Häufigkeit von Parametern innerhalb bestimmter Wertegrenzen

WASA-Ergebnisse: Mittelwert der Windgeschwindigkeit (z=90m) 1993-2012

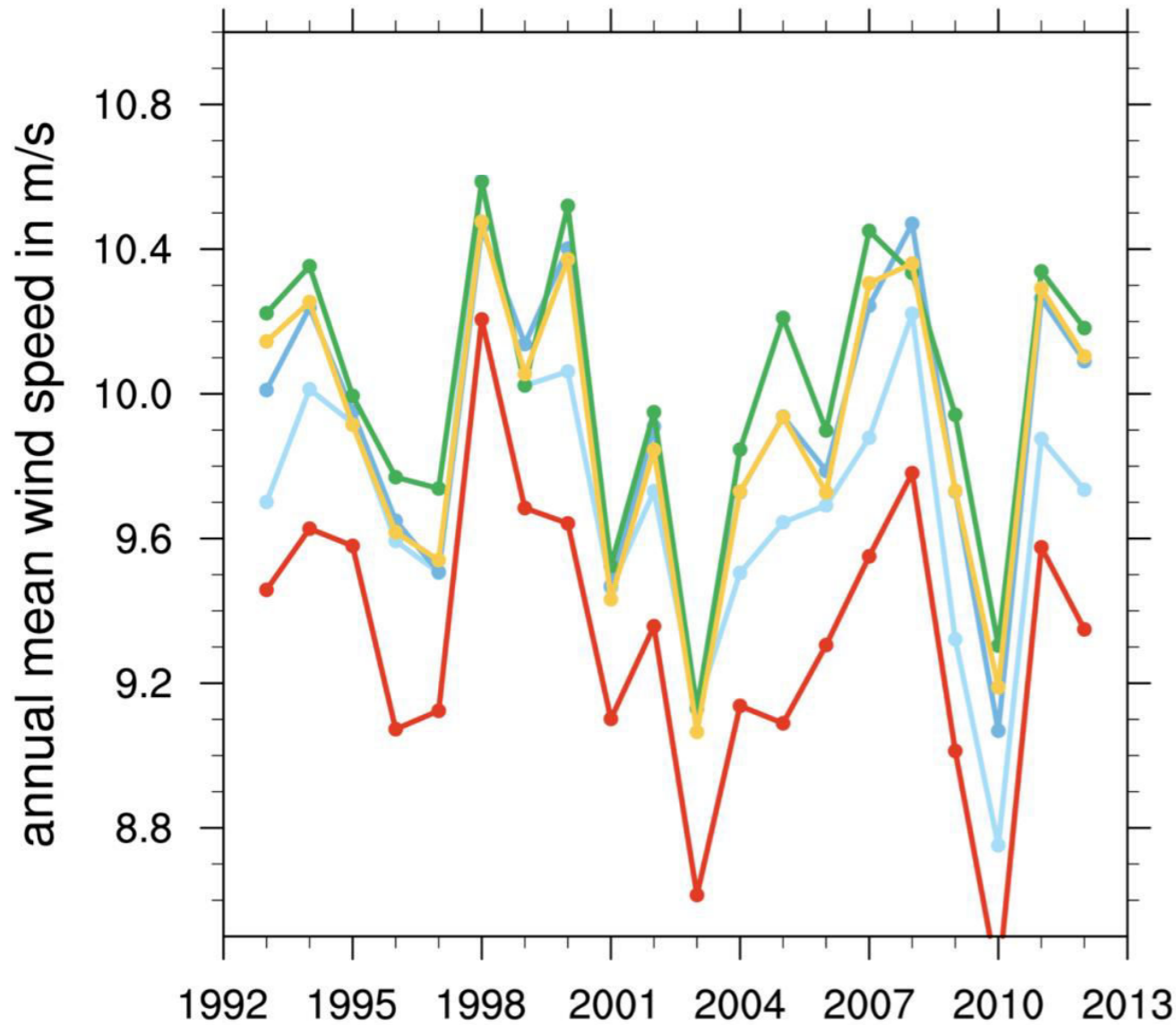


WASA-Ergebnisse: Häufigkeit des Auftretens stark labiler und stark stabiler Schichtungen 1993-2012

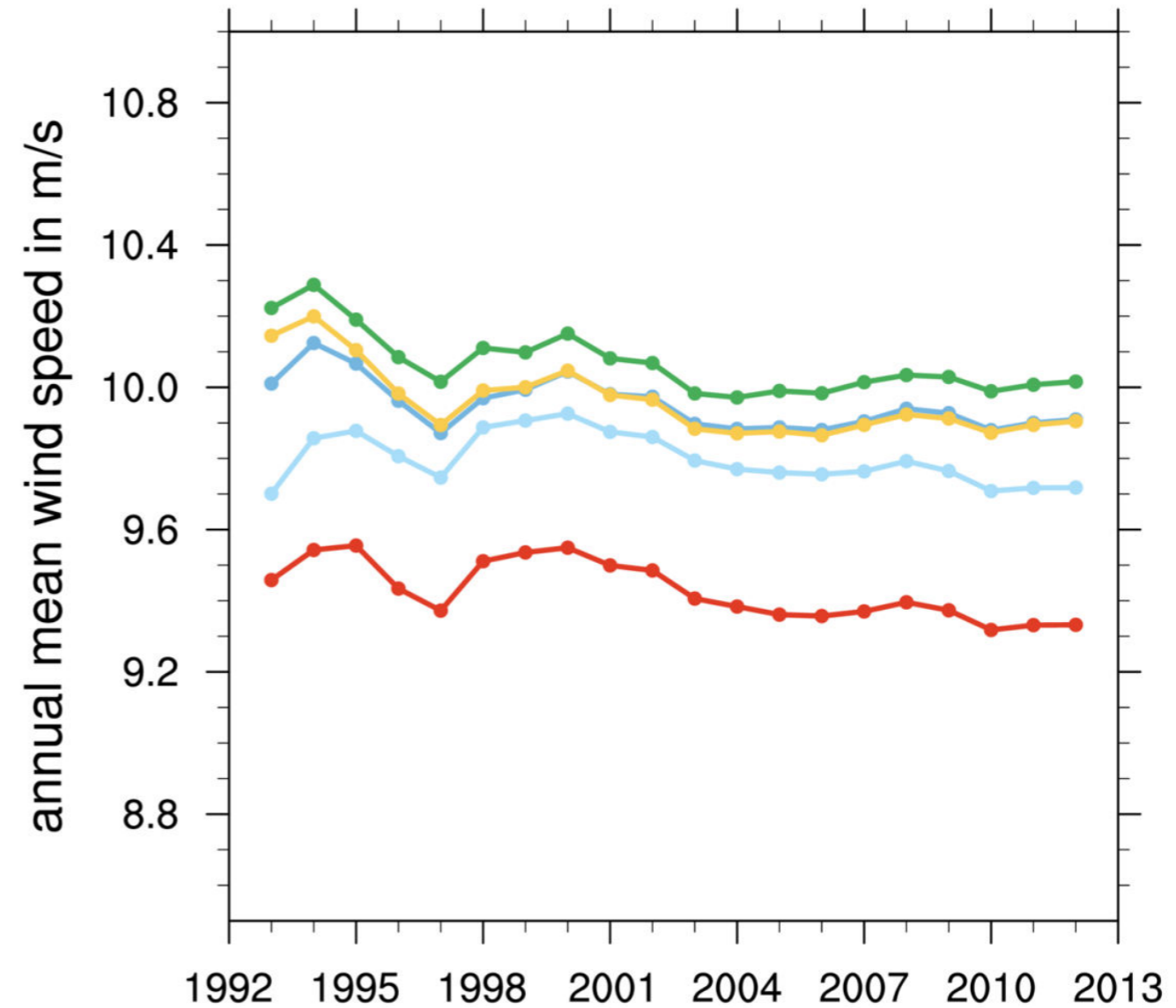


WASA-Ergebnisse: Variation des Jahresmittels der Windgeschwindigkeit an 5 Masten in der Nordsee 1993-2012

Annual mean wind speeds (90 m)



Annual mean wind speeds (90 m)

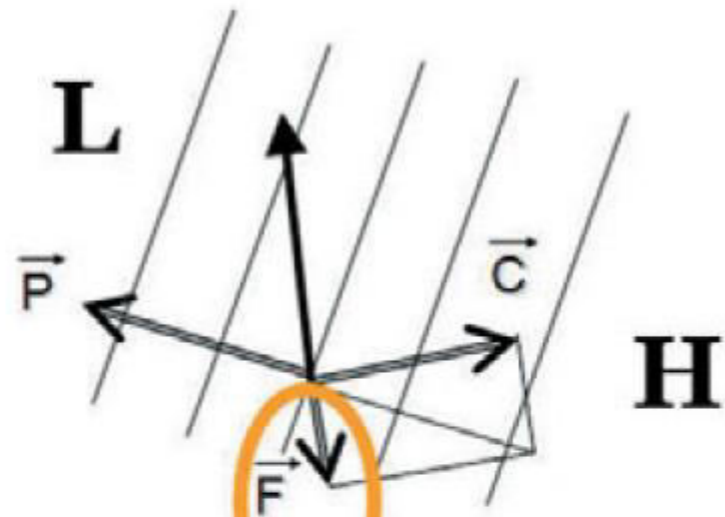


Untersuchungen zur Häufigkeit von Low-Level-Jet-Ereignissen über der Nordsee

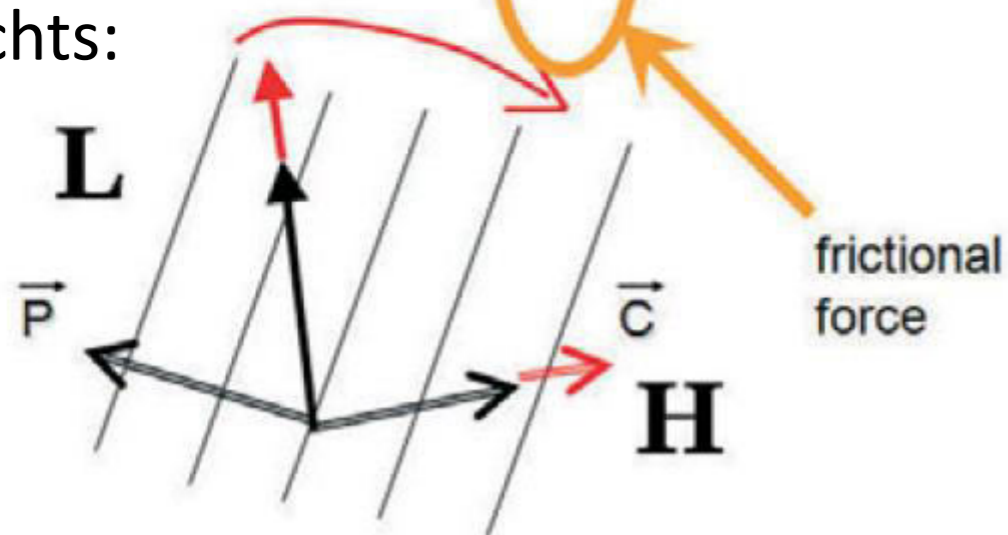
Entstehungsmechanismen von LLJs onshore und offshore

Onshore:

tagsüber:

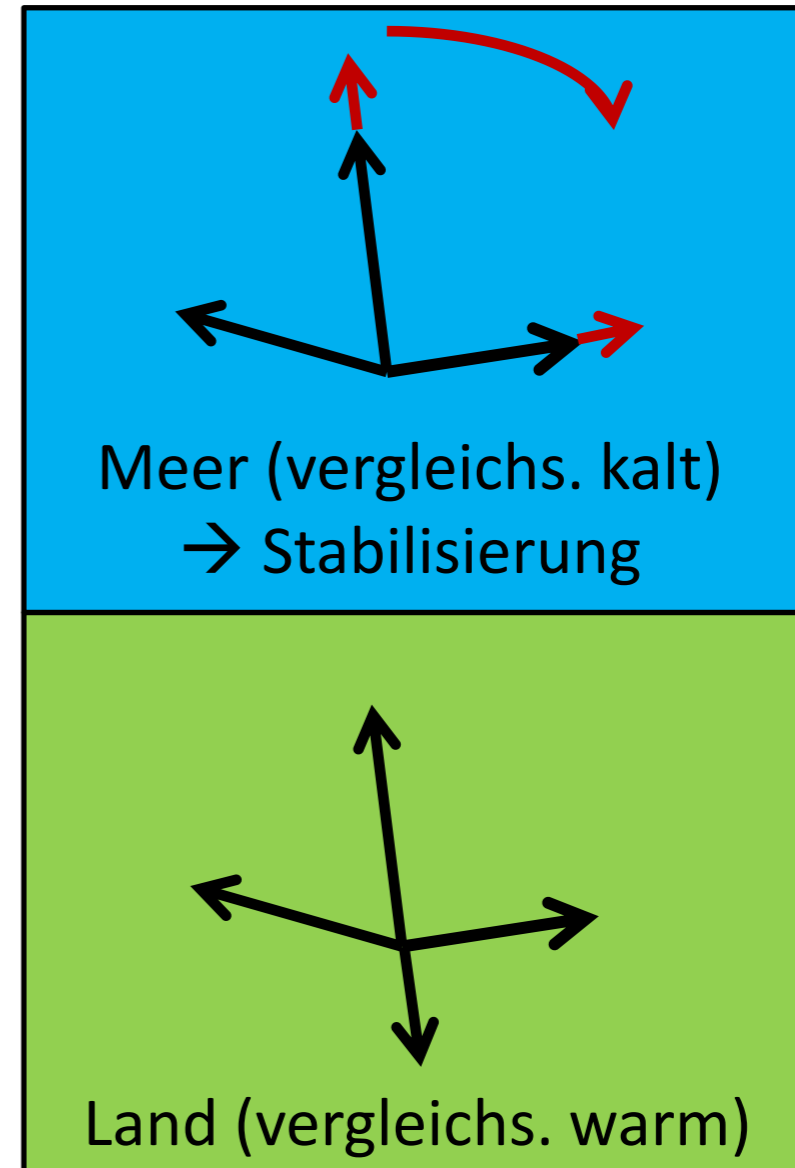


nachts:



aus Emeis (2014) [6]:

Offshore:



Kriterien zur Detektion von Low-Level-Jet-Ereignissen

Bisher kein einheitlich verwendetes Verfahren zur Detektion von LLJs:

Whiteman (1997) [7]:

- Lokales Maximum $> 10 \text{ ms}^{-1}$ unterhalb von 3000 m Höhe
- Abnahme um mindestens 5 ms^{-1} bis zum nächsten lokalen Minimum bzw. bis 3000 m Höhe

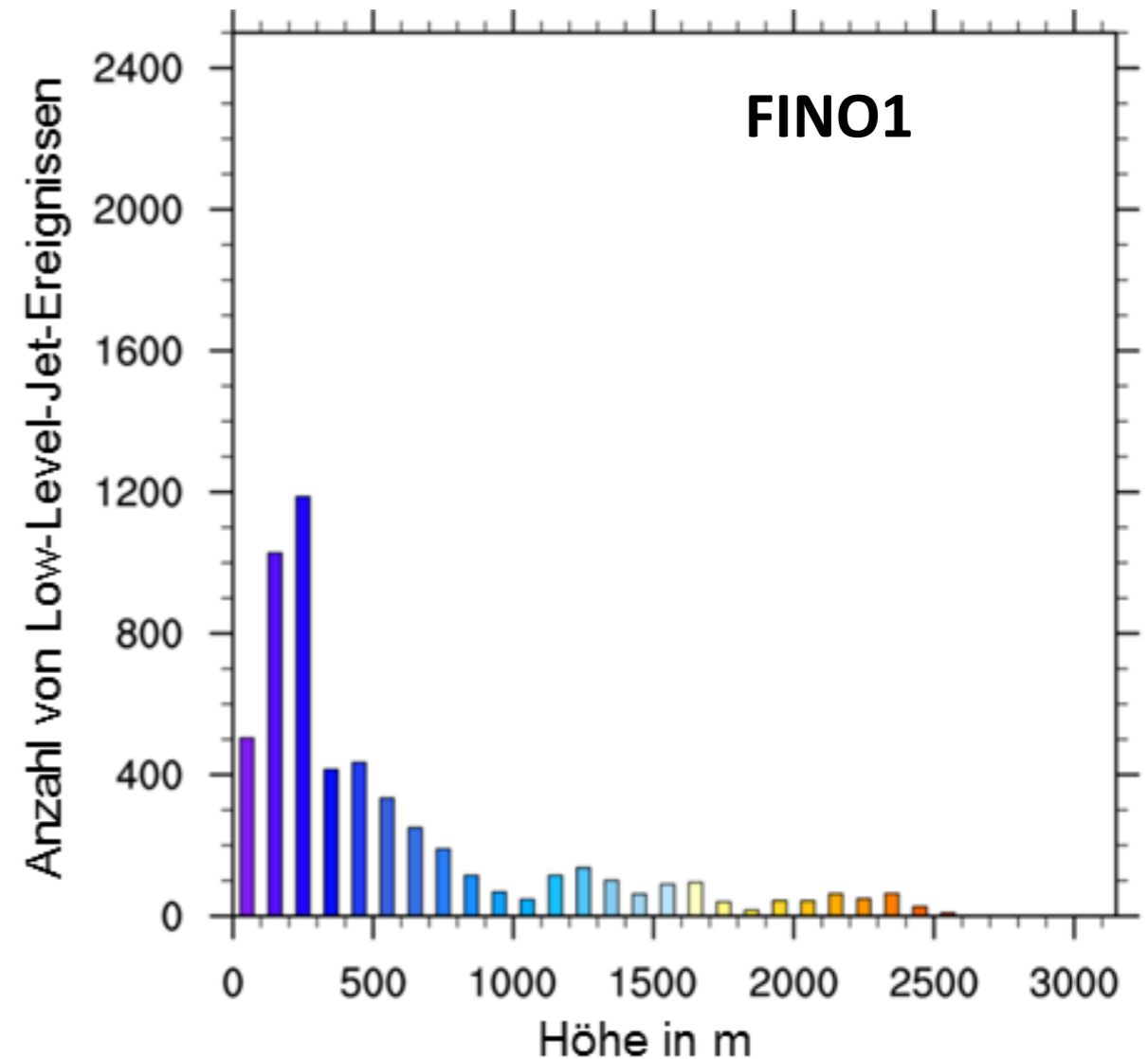
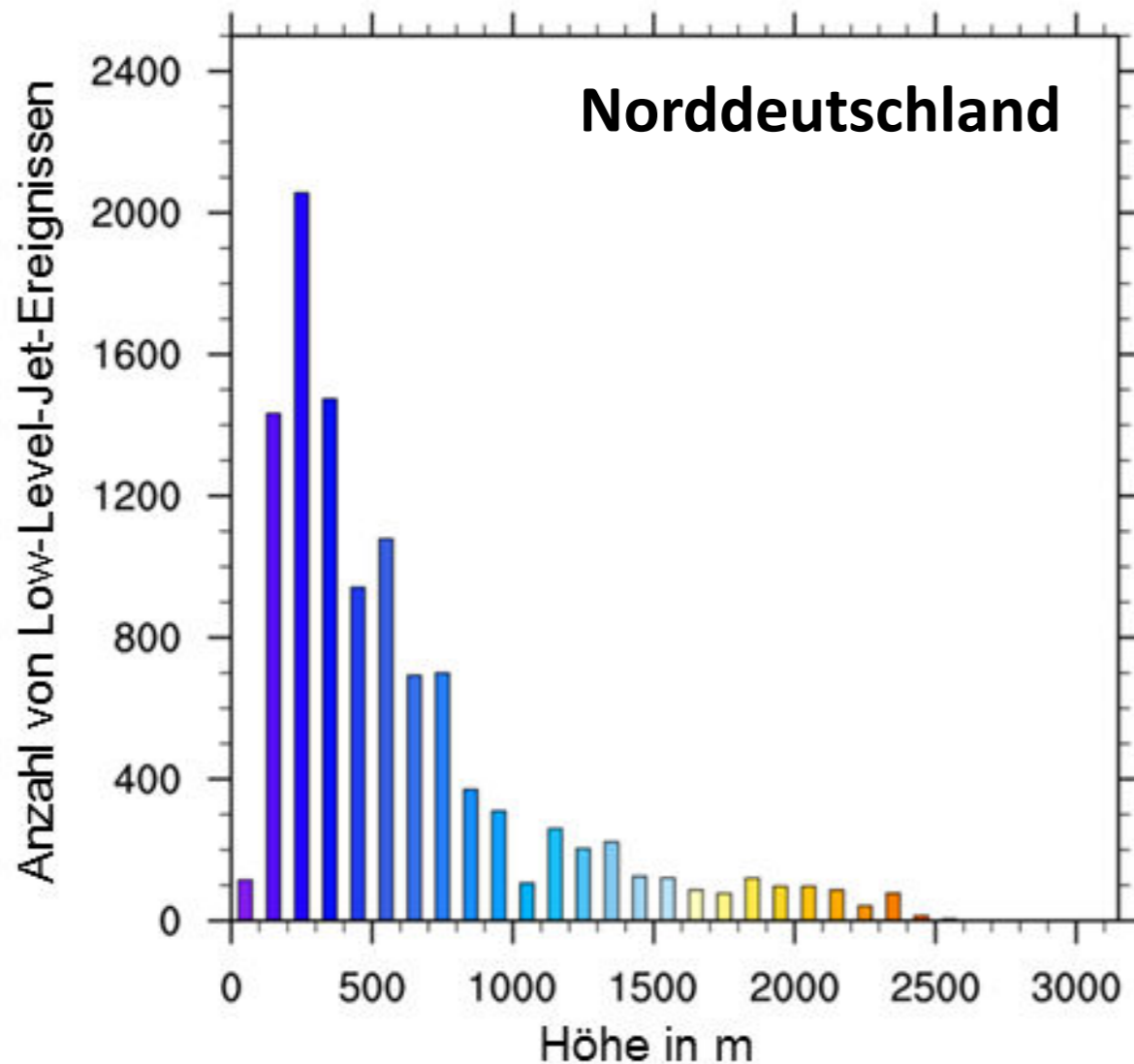
Bonner (1968) [8]:

- Verschiedene Kombinationen von Betrag des lokalen Maximums und Abnahme bis zum nächsten lokalen Minimum: 12/6, 16/8, 20/10

Kriterium nach Baas et al. [9]

- Erweiterung hier: LLJ nur bei stabiler Schichtung
- Geschwindigkeitsmaximum in einer geringeren Höhe als 3000 m?
- Geschwindigkeitsmaximum größer als 2 ms^{-1} ?
- Wo befindet sich das nächste lokale Minimum der Windgeschwindigkeit?
- Liegt kein lokales Minimum bis 3000 m Höhe vor, so wird die Lage des Minimums auf 3000 m festgesetzt
- Differenz zwischen Maximum und Minimum größer als Minimum ($3.0, 0.25 * v_{\text{max}}$)?

Anzahl von LLJs nach Baas (Norddeutschland/FINO1) in WRF-Zeitreihen (Jahr 2009)



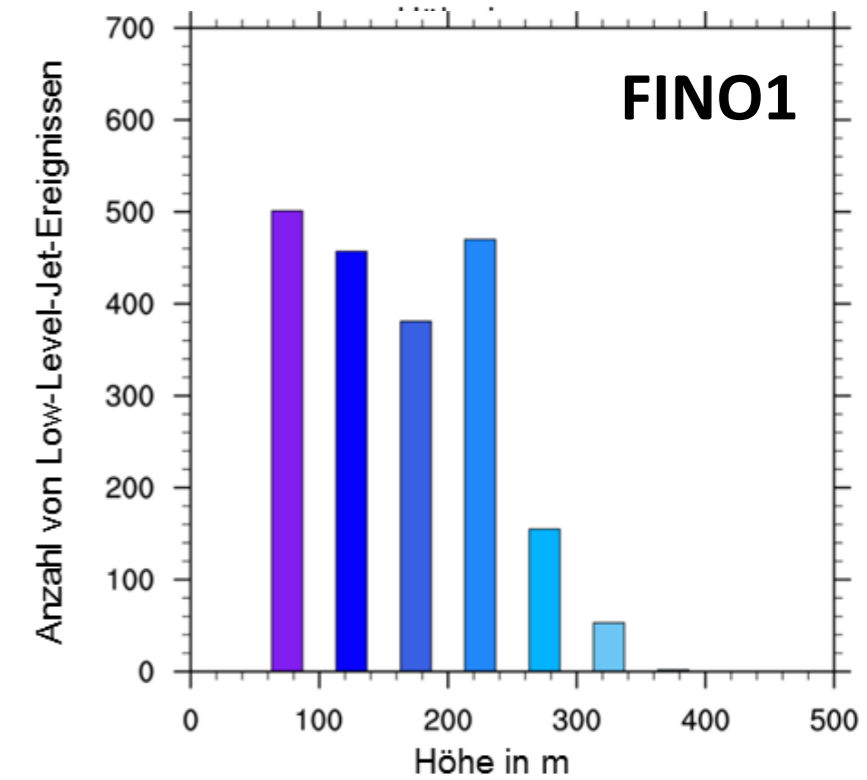
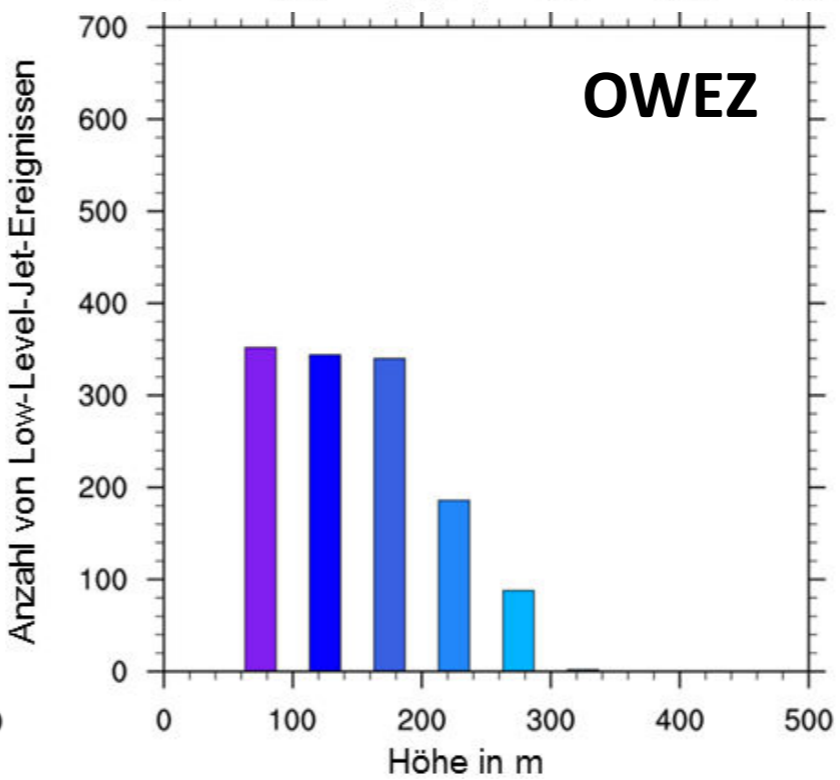
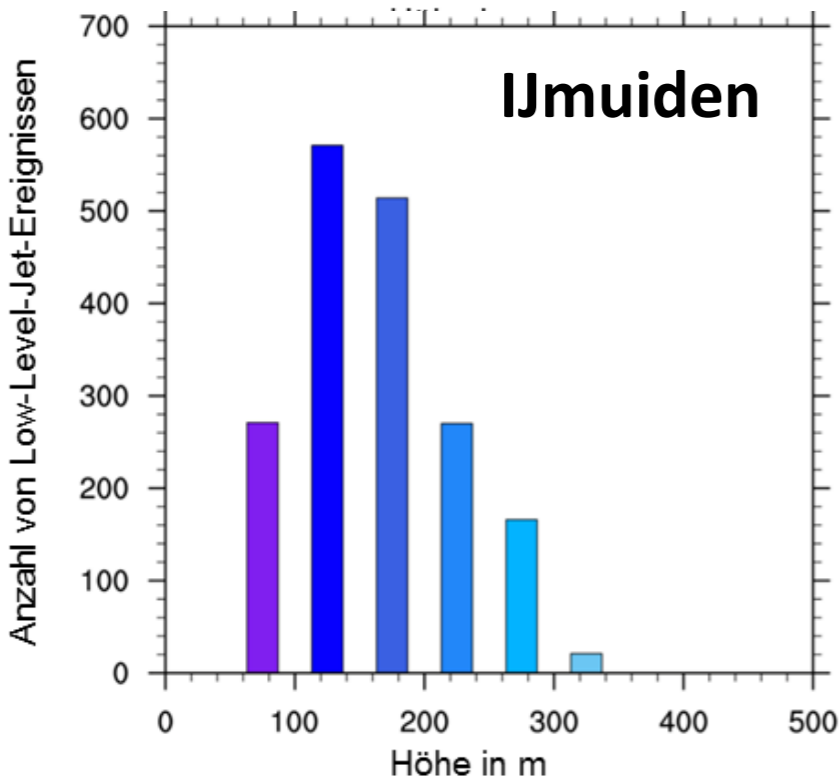
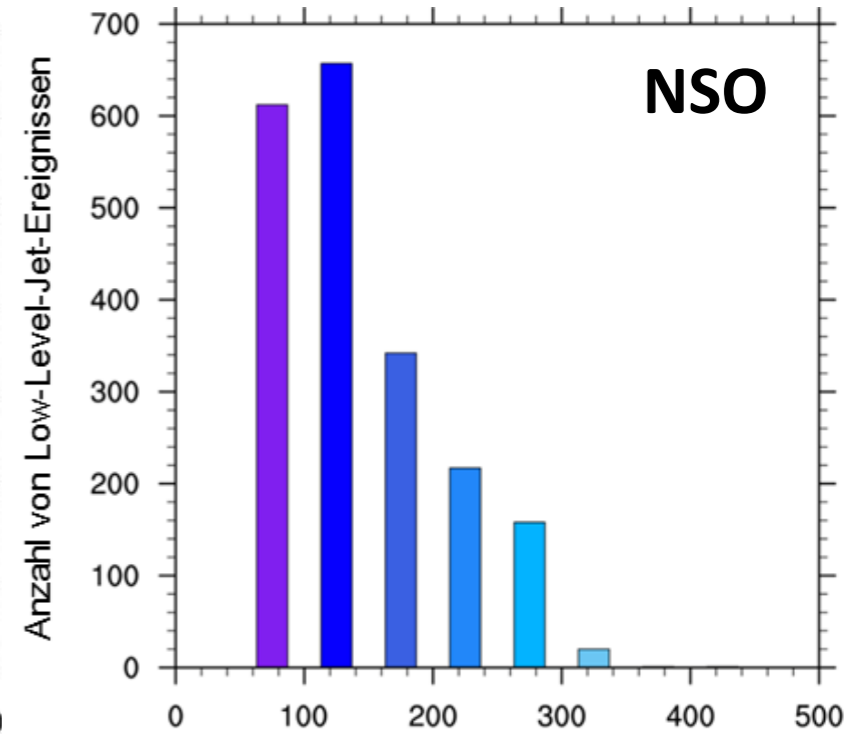
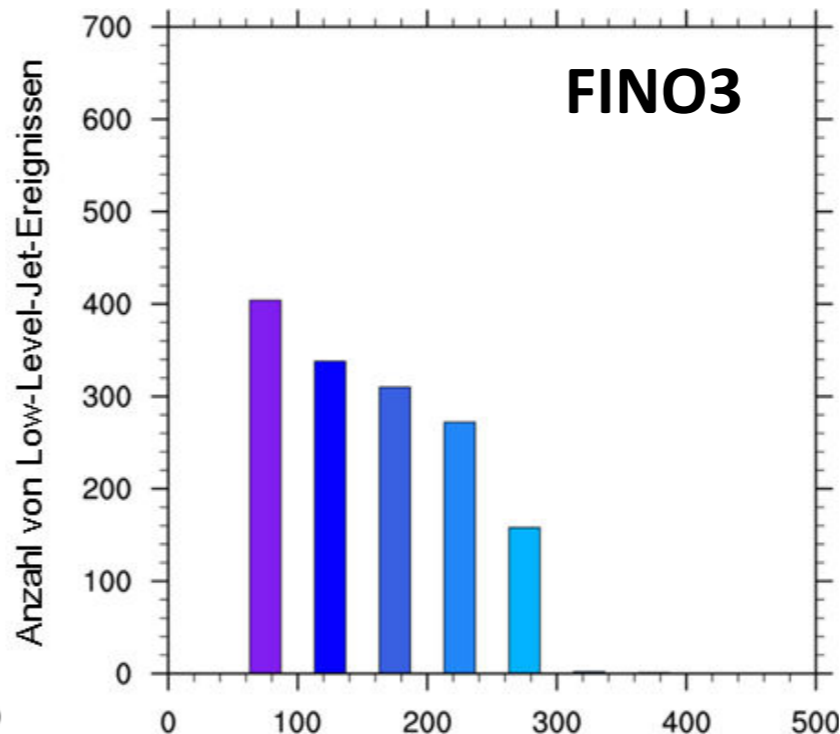
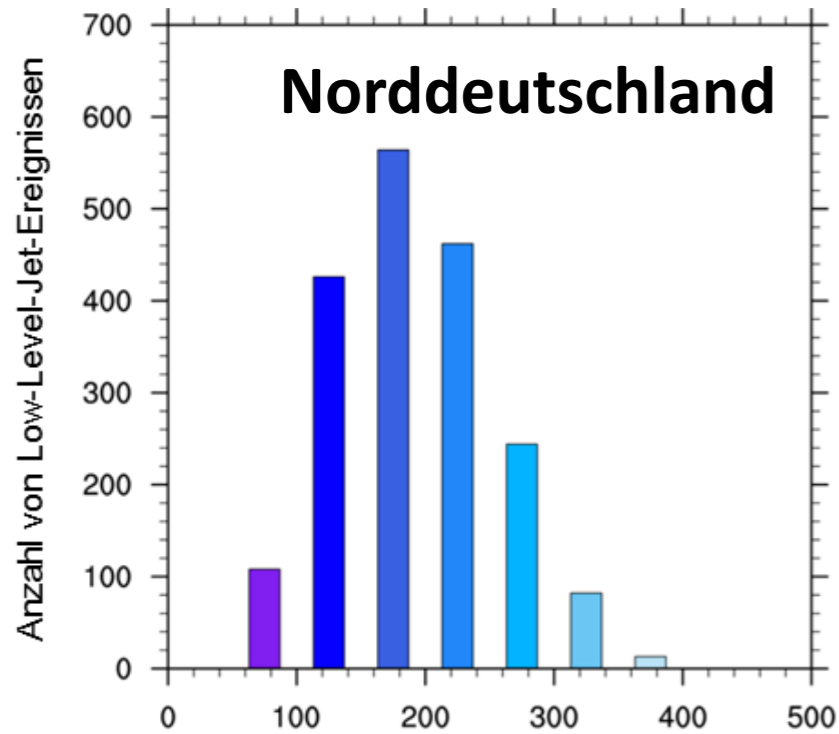
Häufigkeit von LLJ-Ereignissen an Gitterpunkt in Norddeutschland: 20,8 % der Zeit

Häufigkeit von LLJ-Ereignissen am Gitterpunkt nahe FINO1: 10,5 % der Zeit

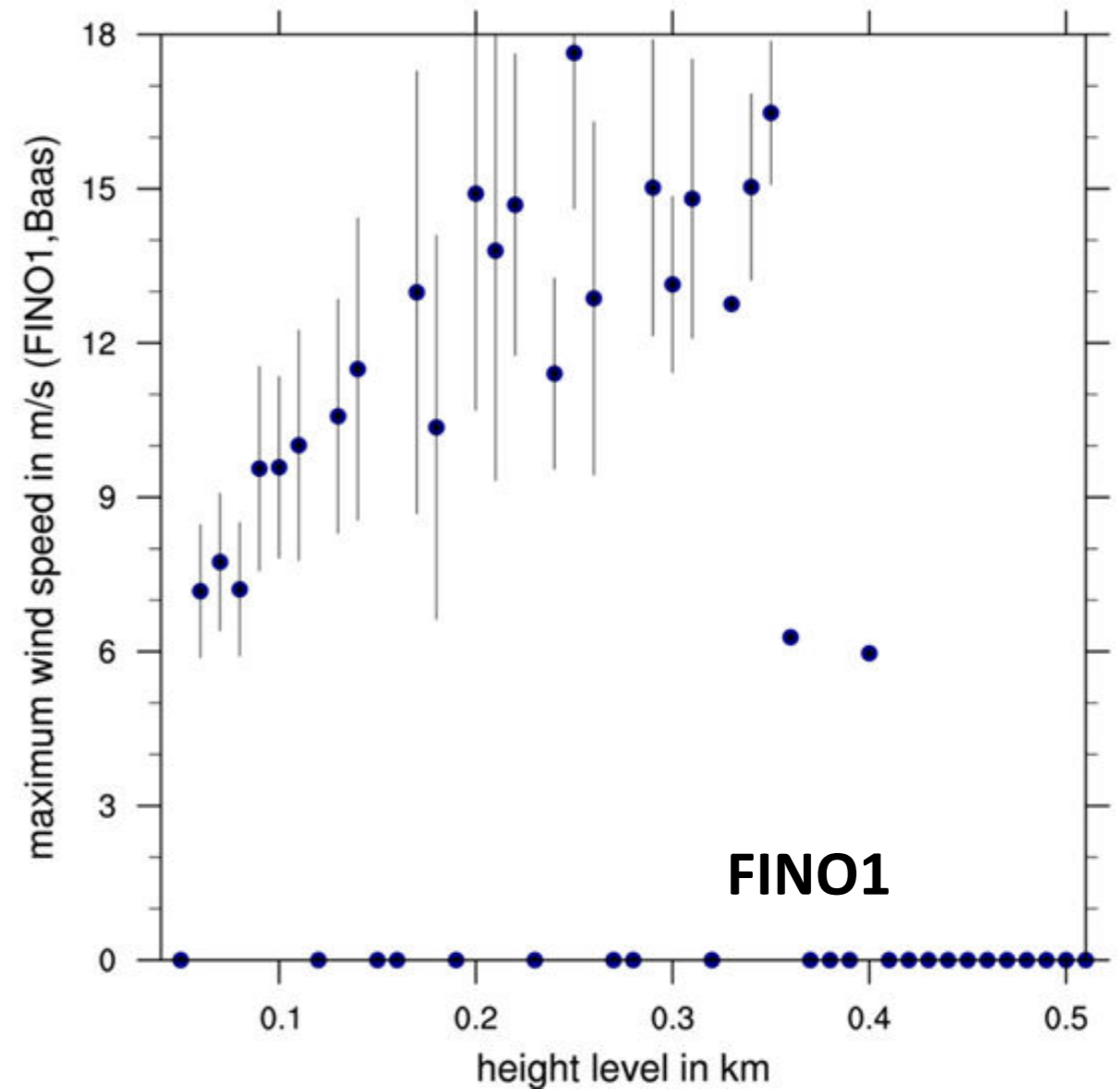
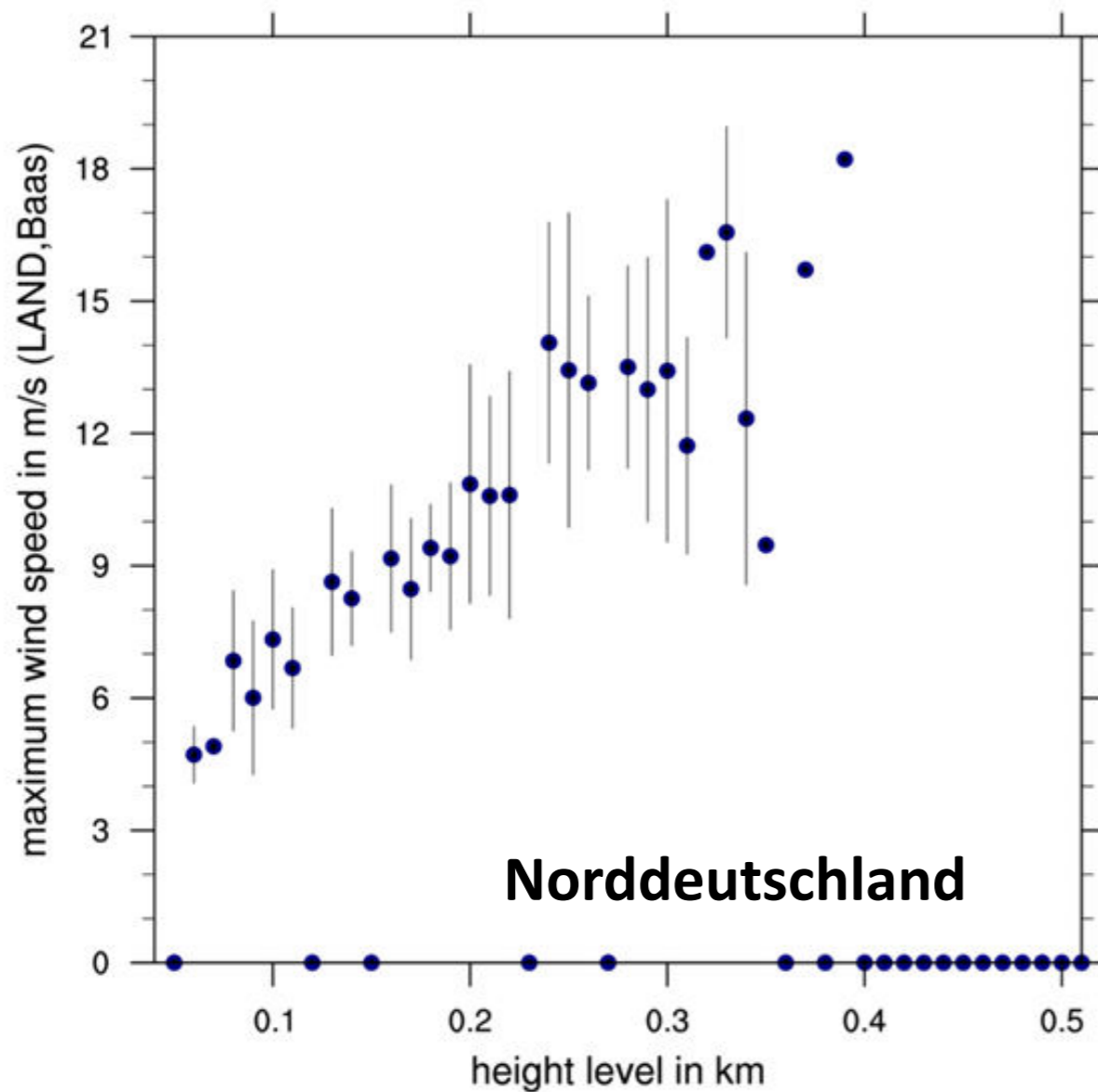
Weitere Anpassung des Kriteriums nach Baas

- Geschwindigkeitsmaximum in einer geringeren Höhe als 500 m

Anzahl von LLJs nach verändertem Baas-Krit. in WRF-Zeitreihen (Jahr 2009)

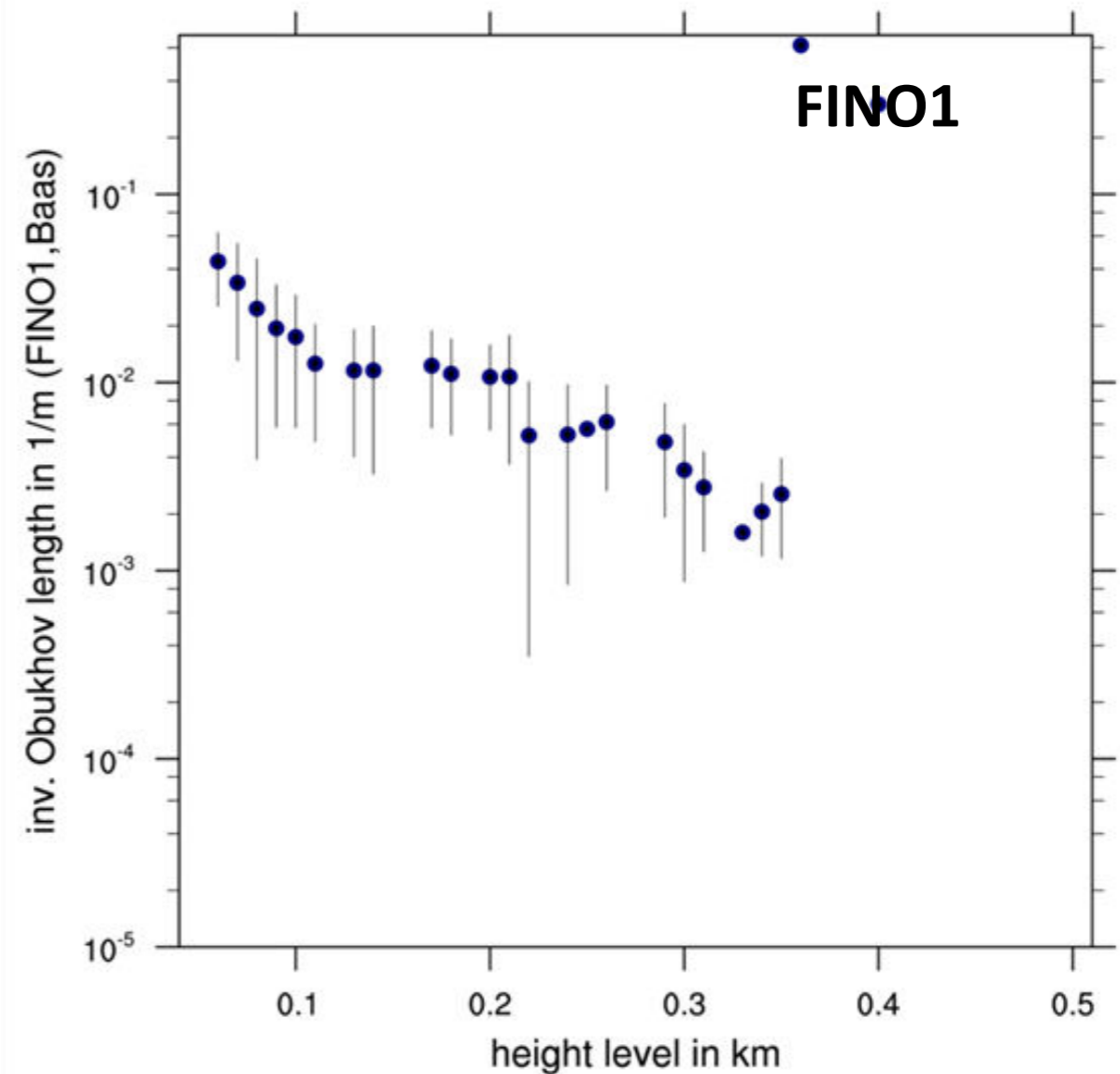
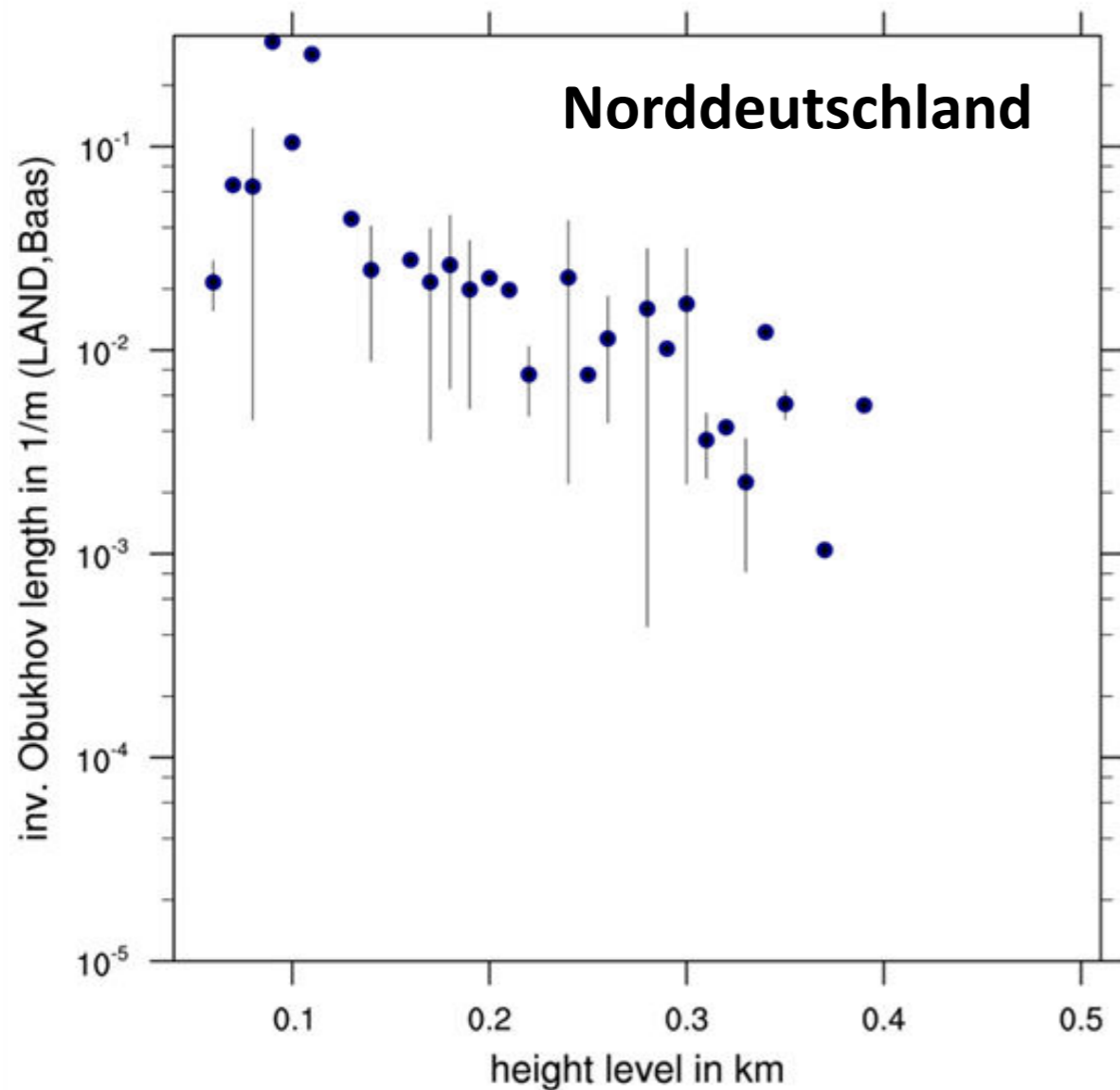


Abhängigkeit des Geschwindigkeitsmaximums von der Höhenlage des LLJ (Jahr 2009)



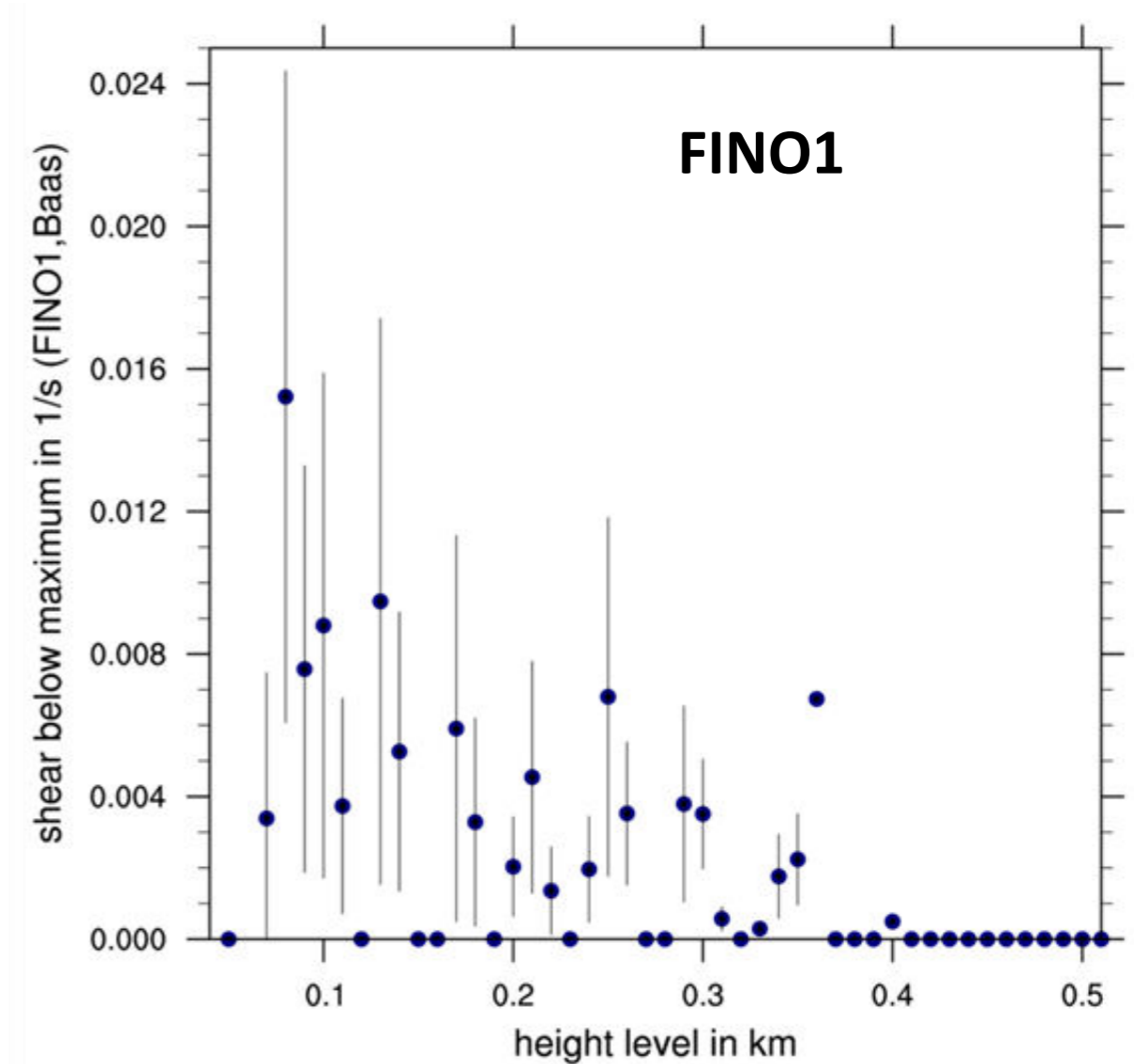
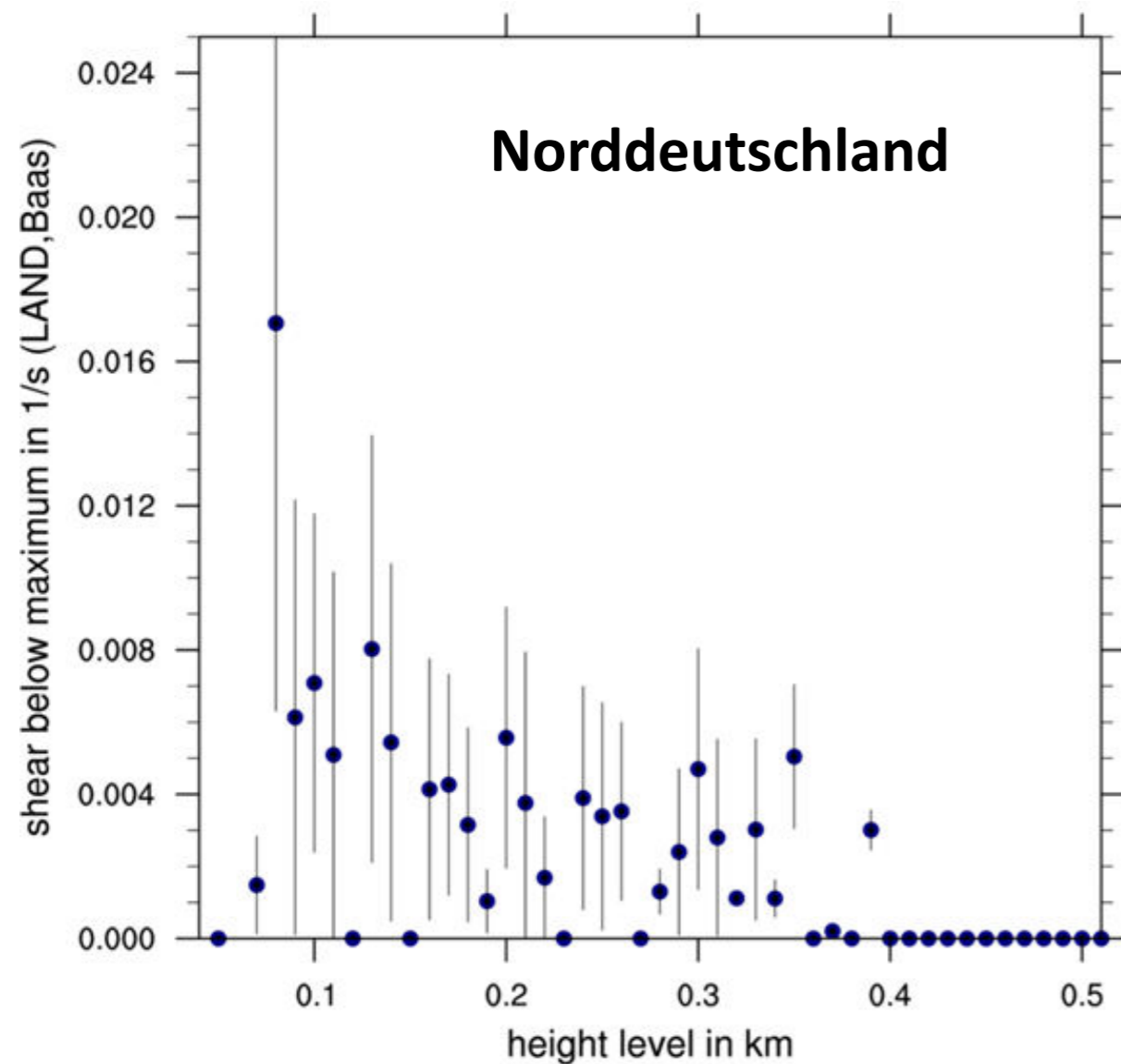
Offshore höhere Geschwindigkeiten im Zentrum des Low-Level-Jets

Abhängigkeit der Höhenlage des LLJ von der Stärke der atmosphärischen Schichtung (Jahr 2009)

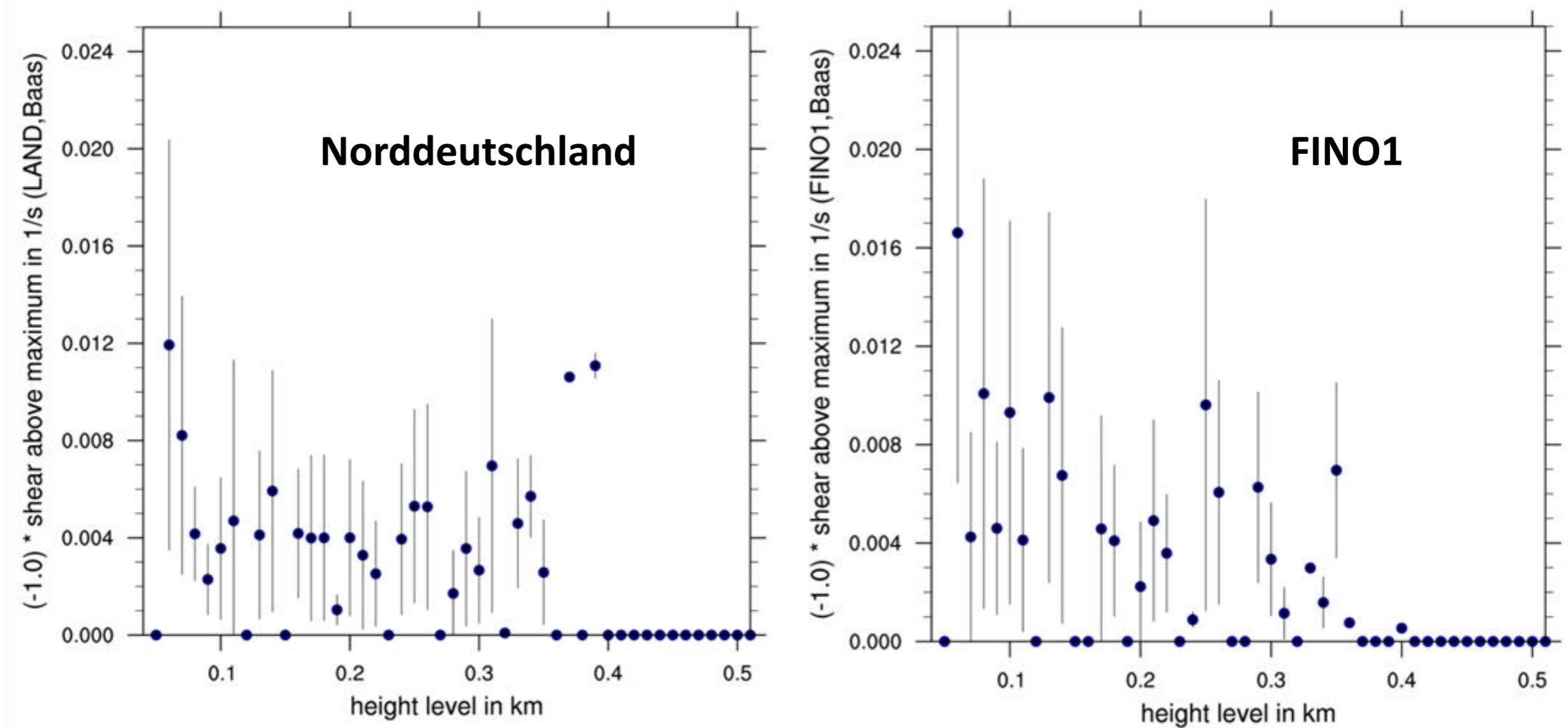


Onshore stärkere Stabilität als offshore bei gleicher Höhenlage des Jets

Scherung unterhalb des LLJ-Maximums über Höhe des LLJ (Jahr 2009)



Scherung oberhalb des LLJ-Maximums über Höhe des LLJ (Jahr 2009)



Zusammenfassung

- Nutzung des MYNN-Grenzschichtschemas in WRF resultierte in bester Übereinstimmung mit Messdaten vom FINO1-Messmast
- WASA für die südliche Nordsee zeigt deutliche Unterschiede zwischen den atmosphärischen Randbedingungen über der Nordsee und dem angrenzenden Land
- LLJ über dem Land häufiger als über dem Meer
- Über dem Meer aber scheinbar häufiger LLJ in für Windenergie relevanten Höhen
- Bestätigung der Ergebnisse aus Messdaten notwendig

Danksagung

Alle WRF-Simulationen wurden auf dem HPC-Cluster FLOW der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg durchgeführt, dessen Anschaffung im Rahmen des aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekts „Parallelrechencluster für CFD- und WEA-Modellierung“ (FKZ 0325220) erfolgte.

Wir danken Dr. Lifeng Luo von der Michigan State University für die Bereitstellung von CFSR-Daten in einem direkt in WRF weiter verwendbaren Format.

Die Ableitung des Wind- und Stabilitätsatlas aus WRF-Simulationen wurde durch die Europäische Kommission im Projekt FP7-Energy-2011-1 283145 ClusterDesign co-finanziert.

Die Untersuchungen zur Häufigkeit des Auftretens von Low-Level-Jets wurden im Rahmen des BMWi-Projekts OWEA-LOADS (FKZ325577B) durchgeführt.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

References

- [1] B. Adiloglu, 2014: Cluster Design Toolbox, Presentation from ClusterDesign / EERA-DTOC Workshop, 24 September 2014, Amsterdam, retrieved from <https://www.cluster-design.eu/publications/workshop2014> on 08 June 2015
- [2] W. C. Skamarock et al., 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR technical note, NCAR/TN-475+STR
- [3] National Center for Atmospheric Research Staff (eds.), 2015: The Climate Data Guide: Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr> on 09 June 2015
- [4] C. J. Donlon et al., 2012: The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system, Remote Sensing of Environment, 116, 140-158
- [5] R. Foreman, 2012: Improved calculation of offshore meteorological parameters for applications in wind energy, PhD thesis, Universität Köln, 173 pages
- [6] S. Emeis, 2014: Wind speed and shear associated with low-level jets over Northern Germany, Meteorologische Z., 23, 295-304
- [7] C.D. Whiteman, X. Bian und S. Zhong, 1997: Low-Level Jet Climatology from Enhanced Rawinsonde Observations at a Site in the Southern Great Plains, J. Appl. Meteor., 36, 1363-1376
- [8] W.D. Bonner, 1968: Climatology of the low level jet, Mon. Wea. Rev., 96, 833-850
- [9] P. Baas; C.F. Bosveld und H. Klein Baltink, 2009: A Climatology of nocturnal low-level jets at Cabauw, J. Appl. Meteor. Climatol., 48, 1627-164

Thank you for your attention!