

Dietrich Spänkuch

**Mögliche klimatische Folgen bei weltweitem Einsatz
erneuerbarer Energie**

Ehrenkolloquium anlässlich des 80. Geburtstages von Heinz
Kautzleben zum Thema

Im Mittelpunkt steht der Mensch –
„Fortschritte in den Geo-, Montan-, Umwelt-,
Weltraum- und Astrowissenschaften“

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Berlin

11. April 2014

Klima/erneuerbare Energie

- Führt Klimaänderung zu einem veränderten Angebot an erneuerbarer Energie?
- Welche klimatischen Auswirkungen haben Anlagen erneuerbarer Energie?

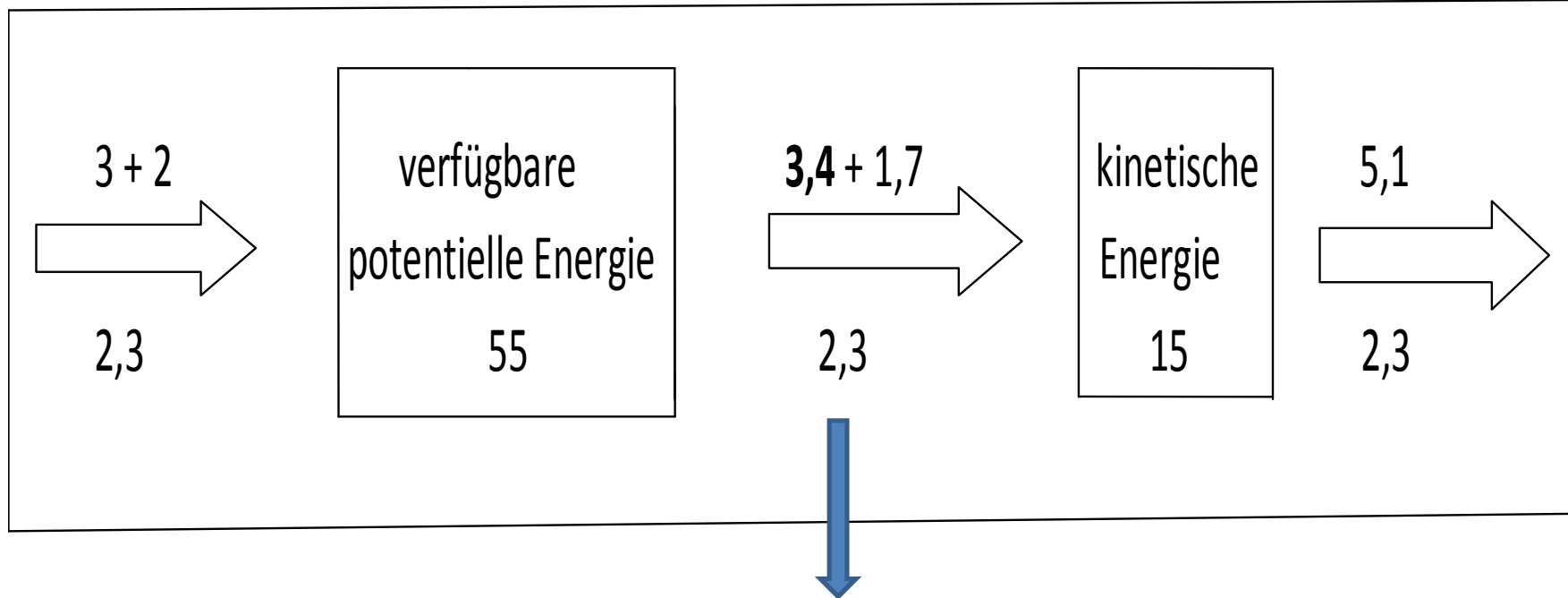
- Potential erneuerbarer Energie
- Messungen
- Modellierung
- Zusammenfassung

Nature Climate Change 2012:

We find wind turbines placed on Earth's surface could extract kinetic energy at a rate of at least **400 TW**, whereas high-altitude wind power could extract more than **1,800 TW**. At these high rates of extraction, there are pronounced climatic consequences.

However, we find that at the level of present global primary power demand (18 TW; ref. 2), uniformly distributed wind turbines are unlikely to substantially affect the Earth's climate.

Energetik der Atmosphäre
obere Reihe nach Steinheimer (2008)
untere Reihe nach Lorenz (1955)



Theoretisches Potenzial der Windenergie: $P_0 = 1020-1530 \text{ TW}$

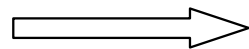
Theoretisches Potenzial der Windenergie: $P_0 = 1020-1530 \text{ TW}$

Wie viel ist davon nutzbar? **Technisches** Potenzial P_t

$$P_t = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \times f_6 \times P_0$$

f_1 : Beschränkung auf Grenzschicht	$\approx 0,3$
f_2 : geographische Beschränkung	$< 0,2$
f_3 : Bruchteil des von den Rotorblättern erfassten Windes	$< 0,1$
f_4 : Gebiete mit ausreichendem Windpotenzial	$< 0,5$
f_5 : Leistungskoeffizient	$\approx 0,75$
f_6 : Wirkungsgrad	$\approx 0,5$

$$\Pi \approx 0,001$$



$$P_t \approx 1 - 1,5 \text{ TW}$$

Meteorologische Effekte erneuerbarer Energie



Solarkraftwerk Ivanpah (Ca), 1400 Hektar, 350000 Spiegel

Reduktion der Albedo →
Modifizierung der Energiebilanz der
Oberfläche



Middelgrunden Wind Park, 3 km vor Kopenhagen

Erhöhung der Oberflächenrauheit →
Erhöhung der Turbulenz
Impulssenke

Methoden der Erkenntnisgewinnung

- Numerische Modellierung

- Large-Eddy-Simulationen (für Optimierung)

- Modellierung des Nachlaufs (Wake)
zu rechenintensiv für Windparks

- Mesoskale Wettervorhersagemodelle

- Parametrisierung individueller Rotoren als
Impulssenke und Turbulenzquelle

- Allgemeine Zirkulationsmodelle

- Parametrisierung von Windparks als
Rauhigkeitsänderung

- Windtunnelexperimente

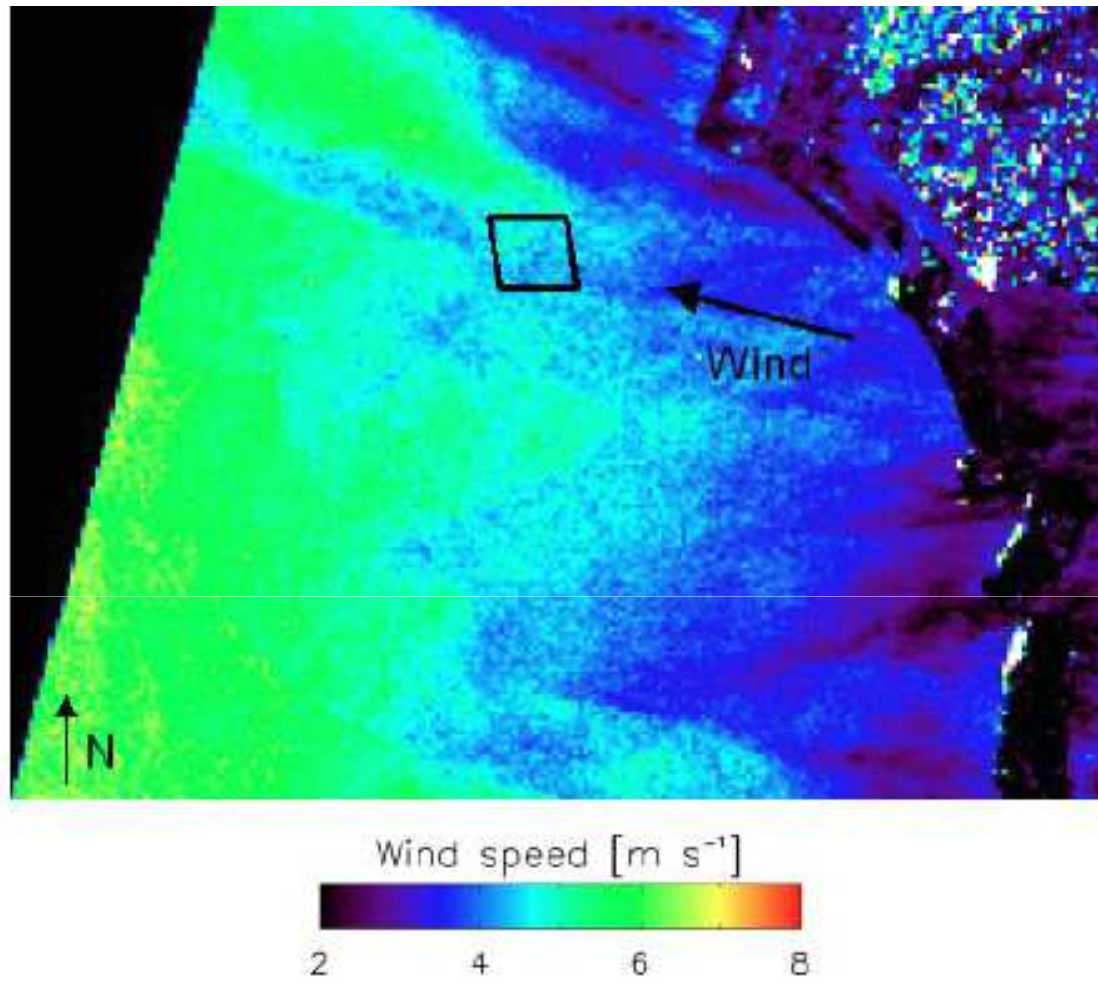
- Messungen

- lokal: Mast

- indirekte Verfahren: Sodar, Lidar

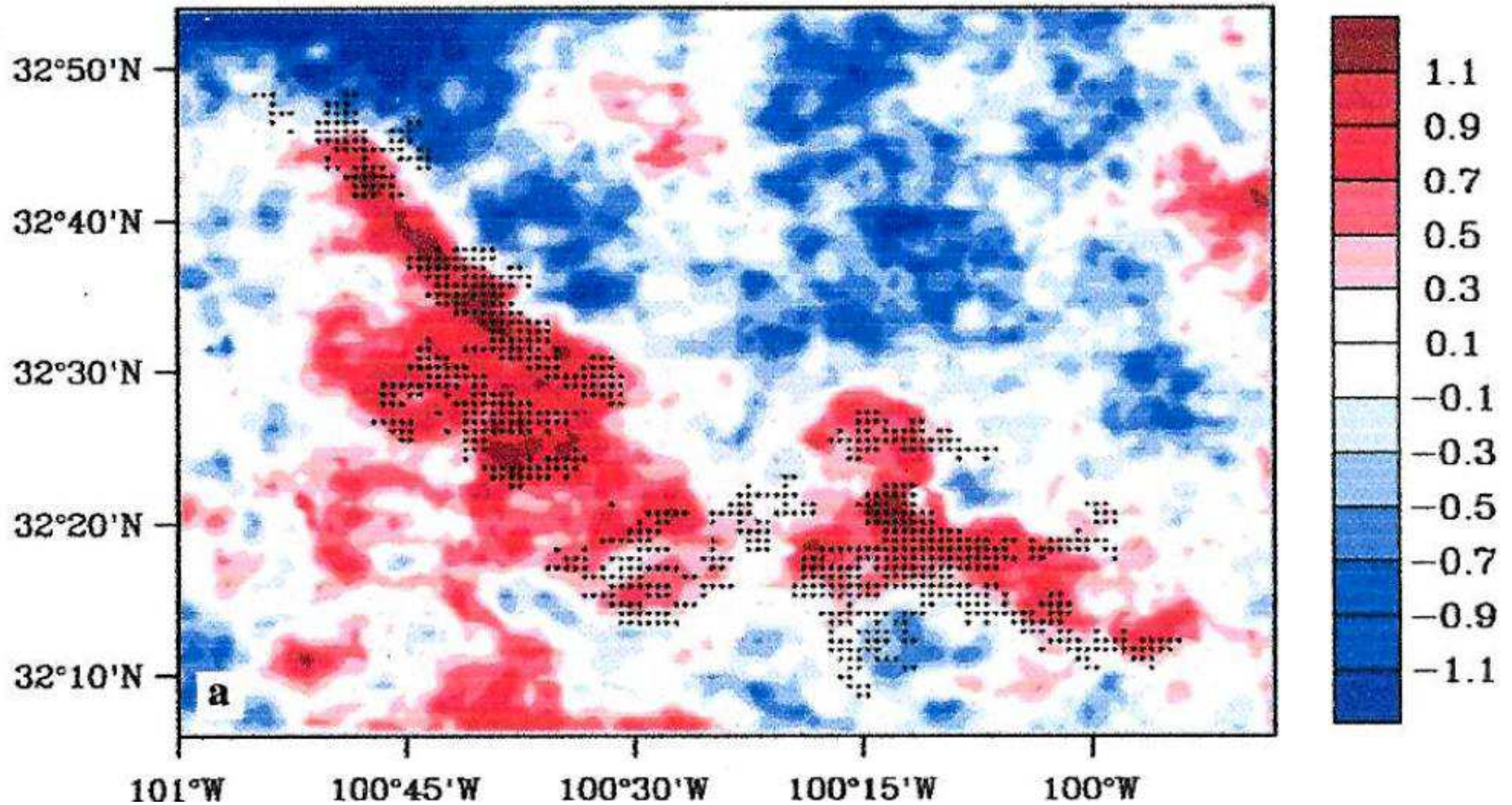
- Satelliten





Horns Rev (5kmx5km), ERS 2 SAR, Christiansen 2006

JJA Nighttime LST (2010 minus 2003) AT ~2230

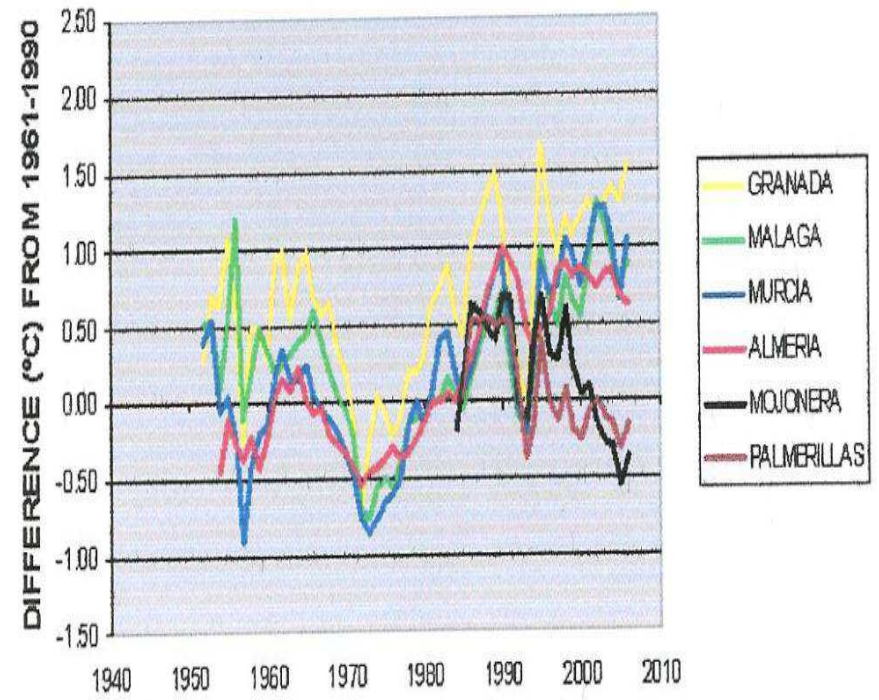
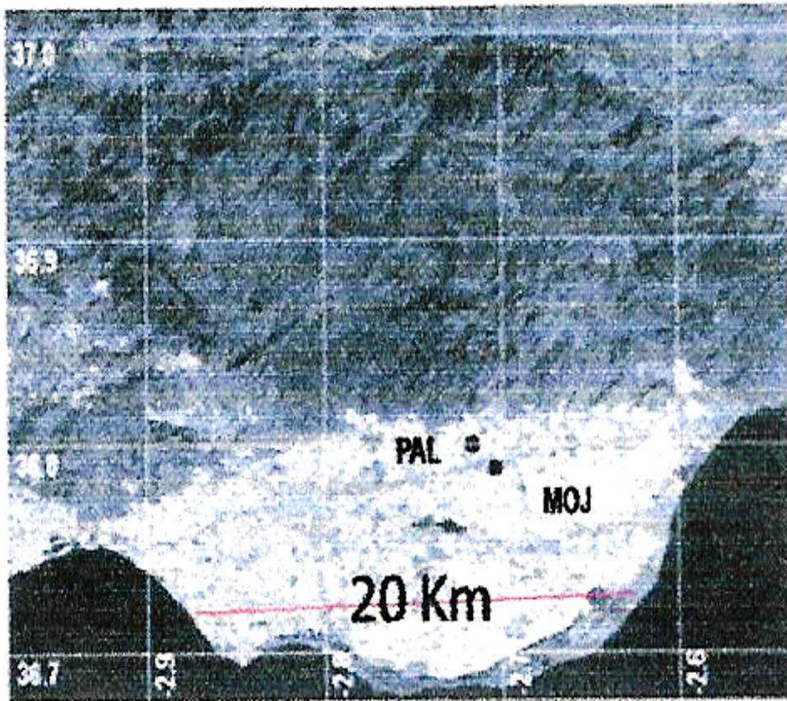


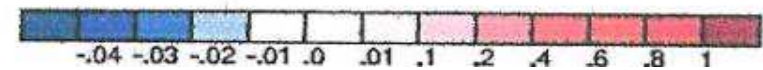
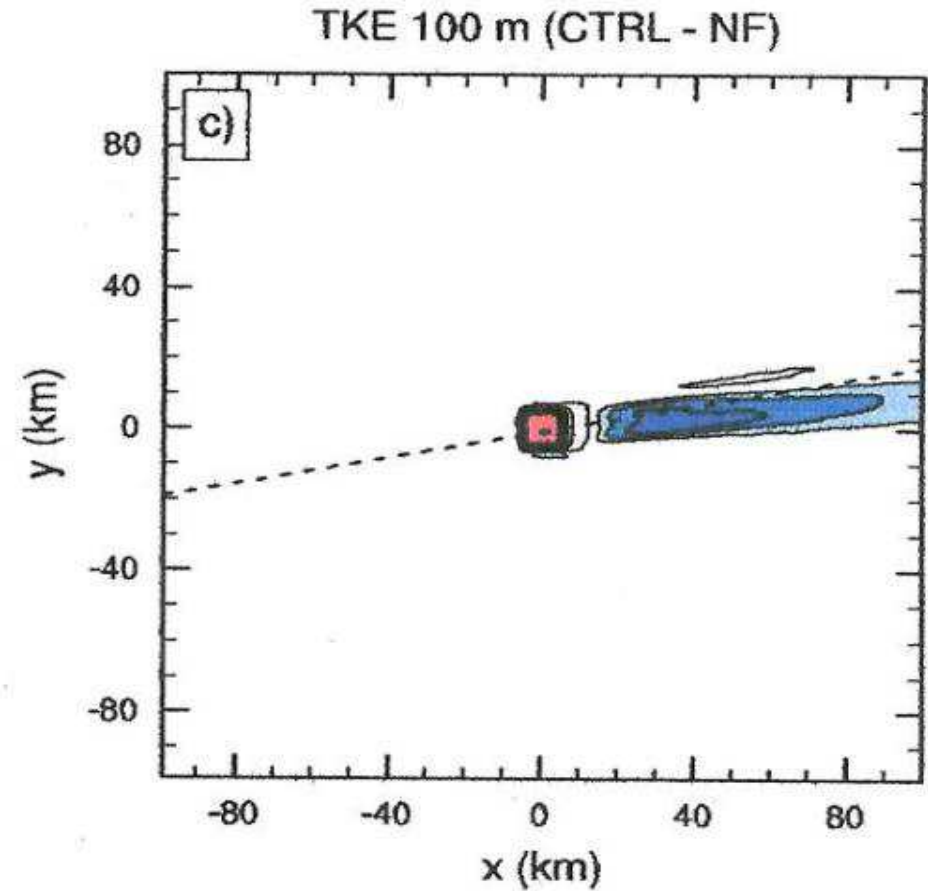
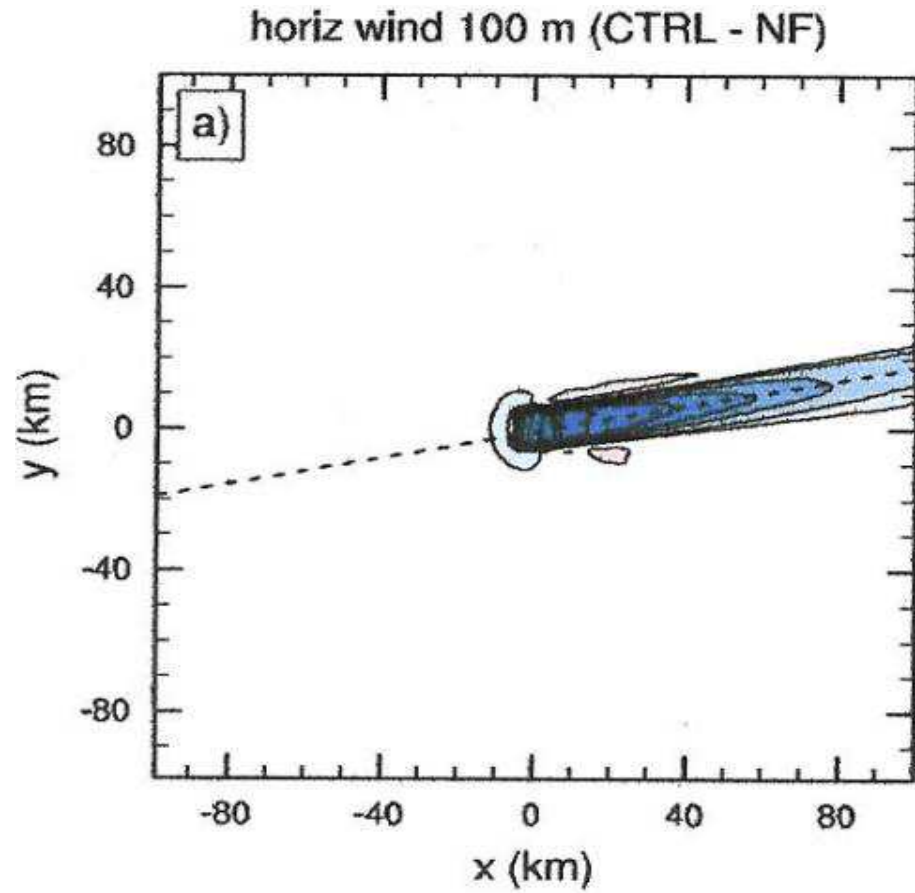
MODIS Differenzen Oberflächentemperaturen Texas

Zhou et al., Clim. Dyn. 2012

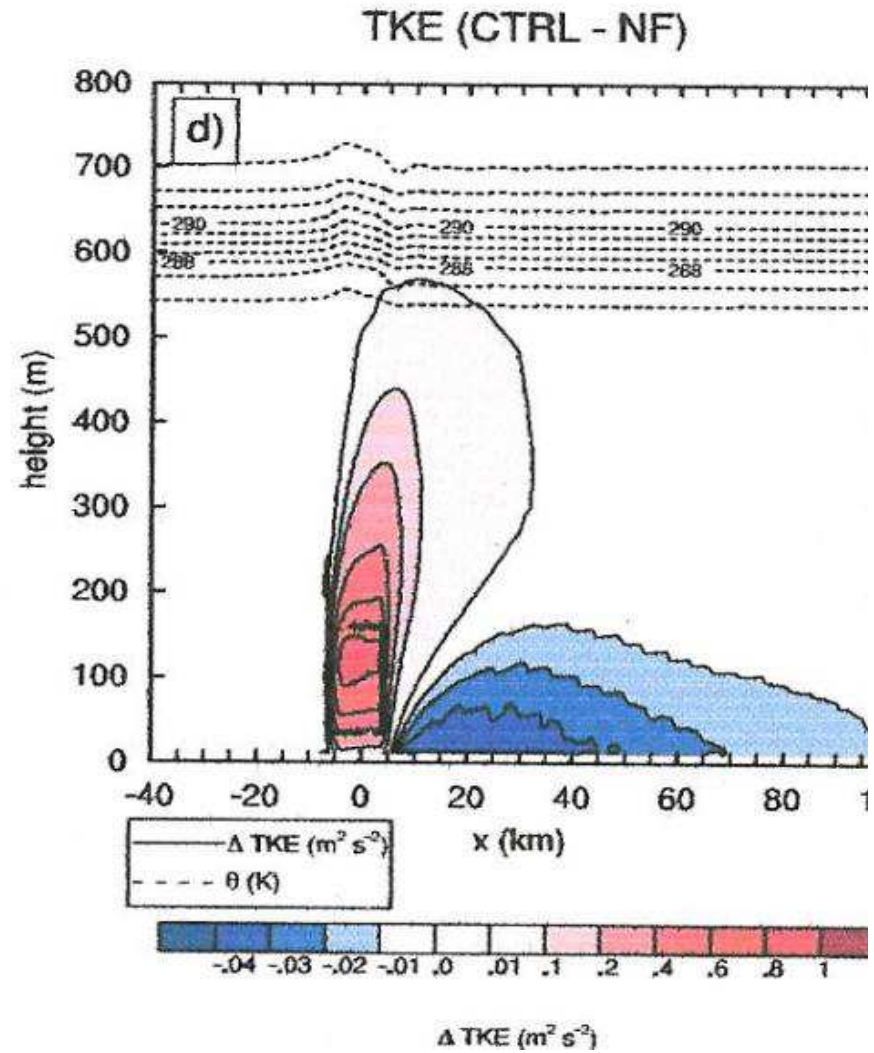
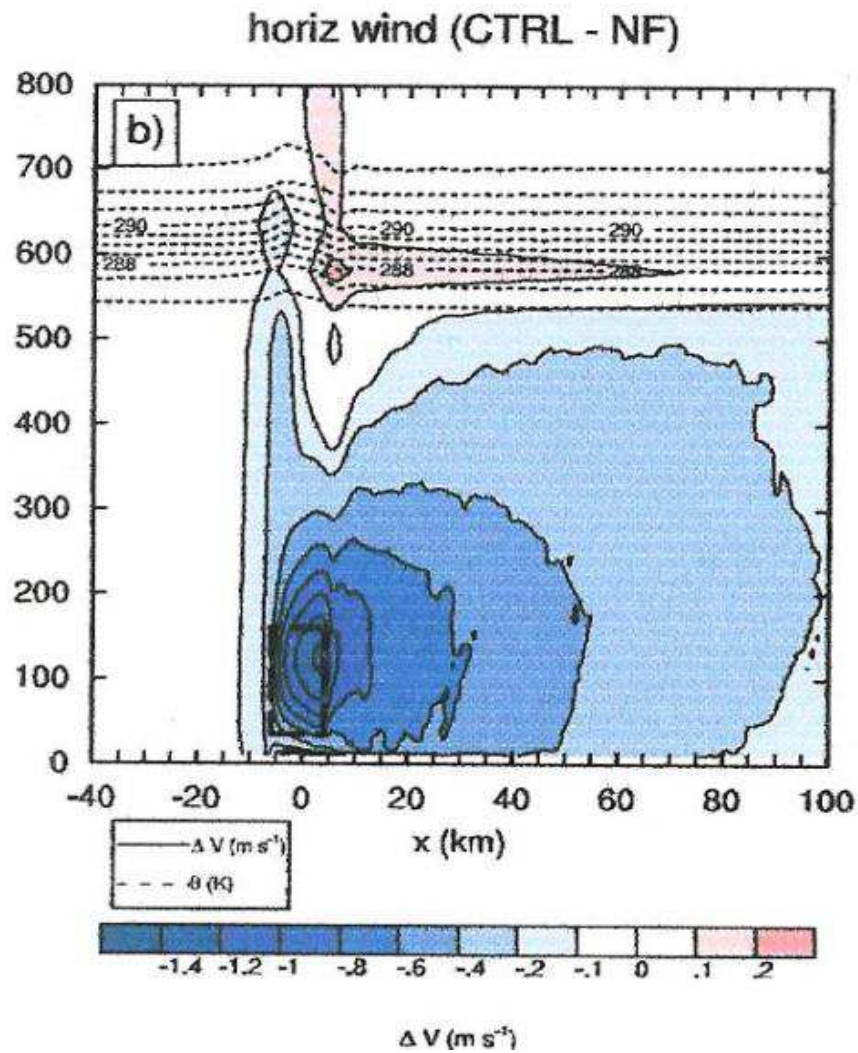
Temperaturänderung durch
(Campra et al. , JGR 2008)

Treibhäuser in Almeria



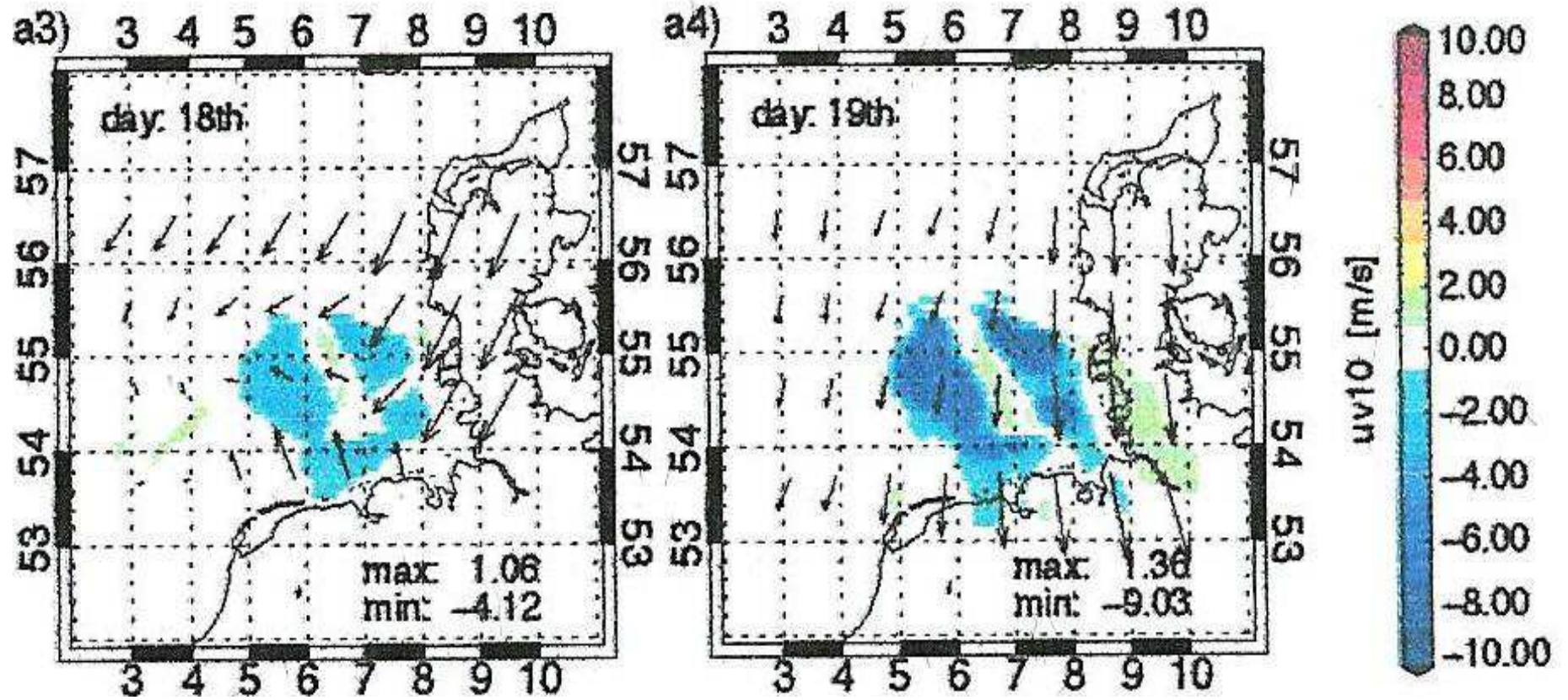


Mesoskale Modellierung (Fitch et al. :MWR 2012)
Windpark 10km x 10 km, 100 5 MW-Rotoren, \varnothing 126 m

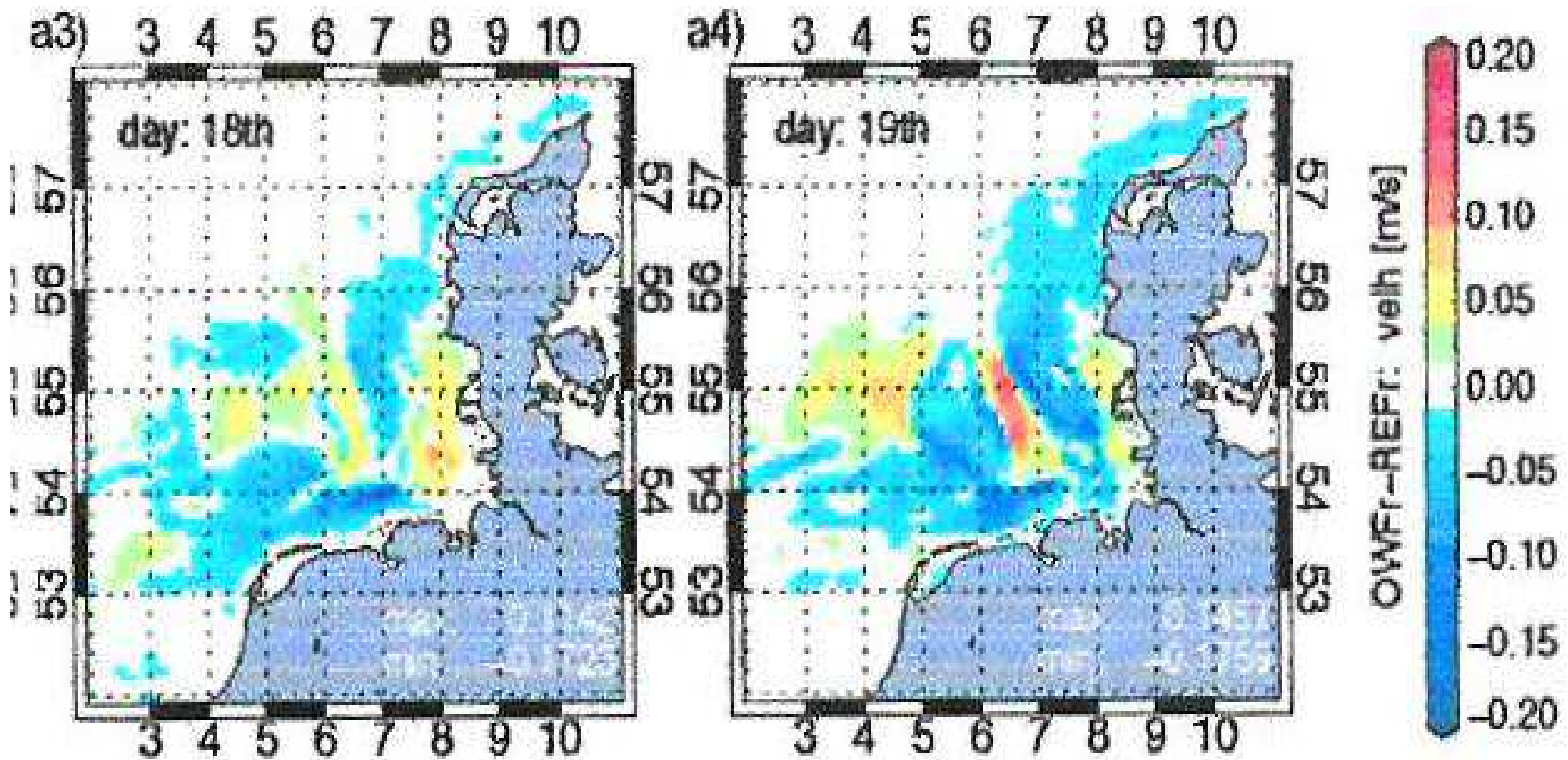


Fitch et al. 2012

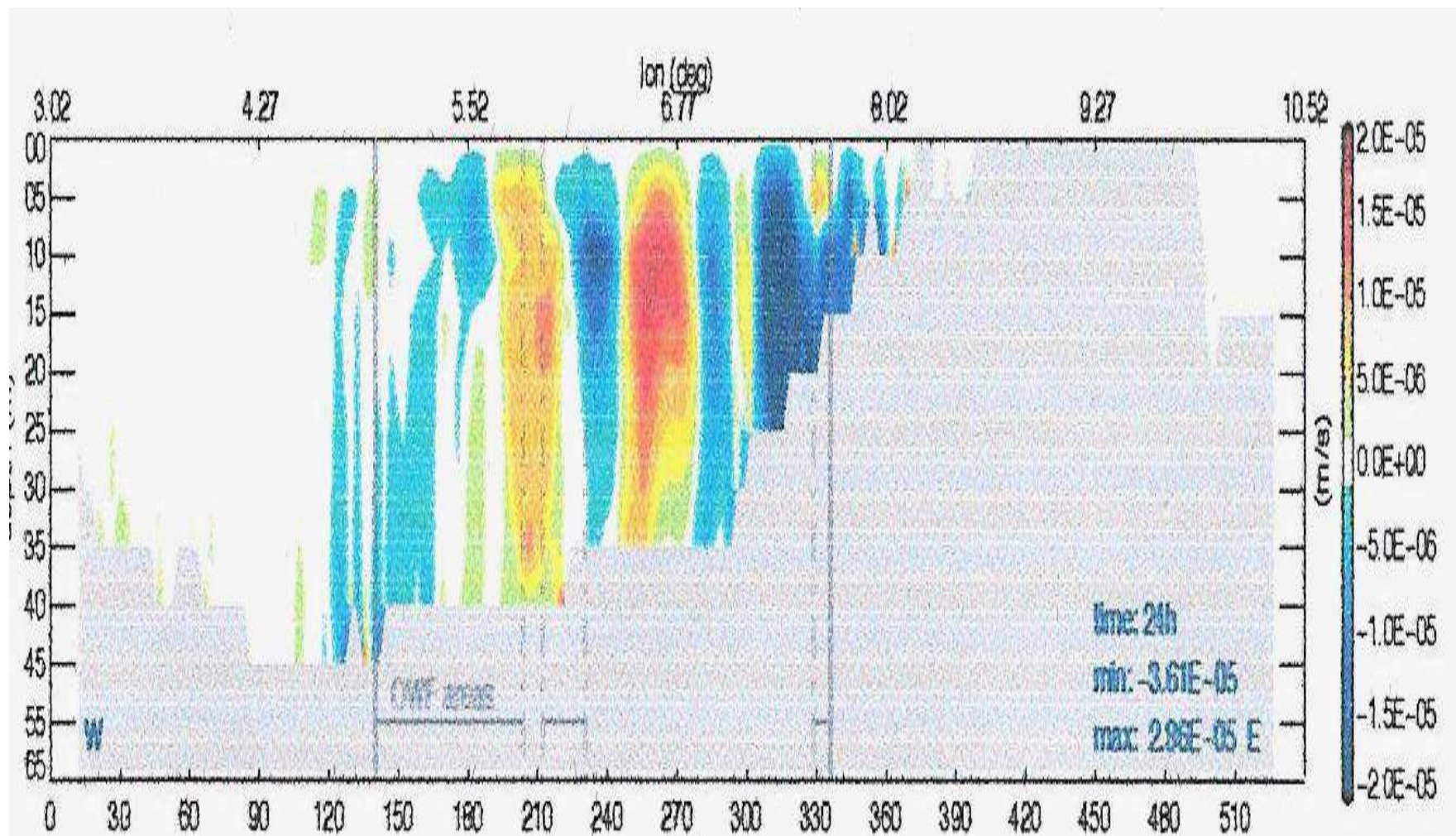
$V = 10$ m/s



Wirkung von Offshore-Windanlagen (Ludewig 2013)
 Differenz Wind 10 m Höhe

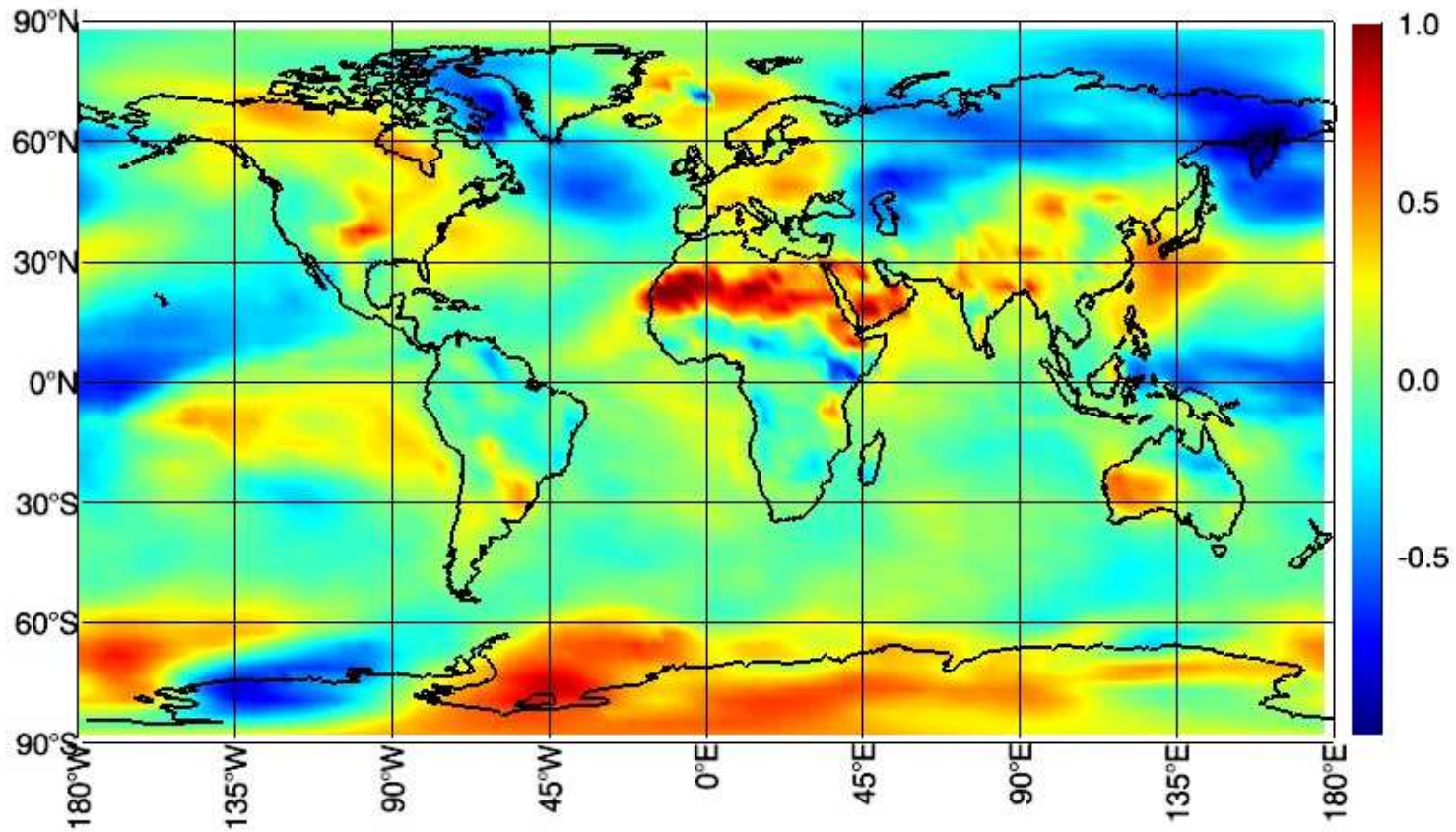


Wirkung von Offshore-Windanlagen auf Meer (Ludewig 2013)
Geschwindigkeitsänderung der Meeresströmung



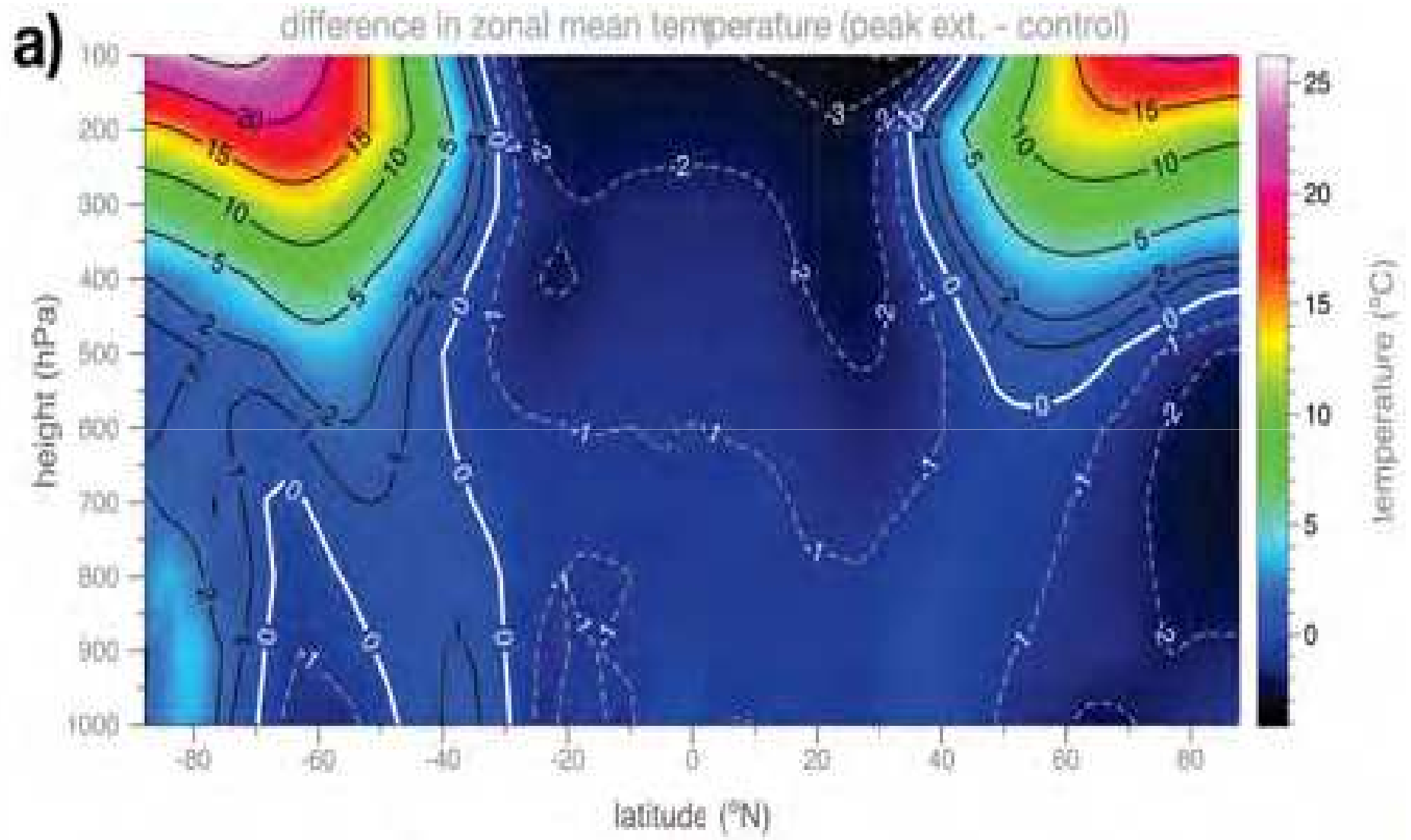
Änderung der Vertikalgeschwindigkeit in der Nordsee durch Offshore-Windparks (90 GW). Schnitt durch 54,62°N für SW-Wind (Ludewig 2013)

Surface Air Temperature Change (K): Last 20 Year Mean



Total installation area = 10 Million km², grid albedo change = 0.02

PV-Anlagen in Sahara und arabischen Wüsten (Wang 2011)



Zusammenfassung (1)

- Das globale Windpotential beträgt in der Grundsicht etwa 1 TW
- Äußerst spärliches experimentelles Datenmaterial
- Daher stammen wesentliche Erkenntnisse von Modellrechnungen
- Mesoskale Modelle parametrisieren Windanlagen als Impulssenke und Turbulenzquelle
- Globale Zirkulationsmodelle parametrisieren Windanlagen durch Rauheitsänderung. Diese ist, wie Vergleiche beider Parametrisierungen in Regionalmodellen zeigen, nicht adäquat.

Zusammenfassung (2)

- Die Nachlaufströmung mit verminderter Windgeschwindigkeit und erhöhter Turbulenz ist stark von der atmosphärischen Schichtung abhängig. Sie ist am mächtigsten bei stabiler Schichtung mit einer Länge bis zu 60 km bei Onshore- und von 130 km bei Offshore-Anlagen.
- Die Nutzung des hochtroposphärischen Strahlstroms (Jet) bringt einen vergleichsweise geringen Ertrag (etwa 1 TW), aber beträchtliche klimatische Konsequenzen
- Mehr Untersuchungen erforderlich (Feldmessungen, Modelle)

Danke für die Aufmerksamkeit