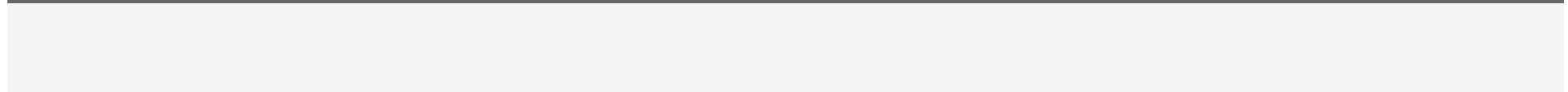




Eine Abschätzung der Klimafolgen für die Luftfahrt und die Flugmeteorologie

Dr. Herbert Puempel
Austrocontrol

Chair, Expert Team on Aviation, Science and Climate, CAeM, WMO
Implementation and Science Group, CAEP, ICAO



Inhalt:

- Wie ist der Stand der Wissenschaft in Bezug auf den Einfluss des Klimawandels auf die Luftfahrt
- Welche Zeithorizonte sollen betrachtet werden: Saisonal, Interannual, Dekaden, Langfristig
- Risiko-Management und Risiko-Vorsorge der Luftfahrt - Teilnehmer
- Nicht zu vergessen: Extreme Situationen

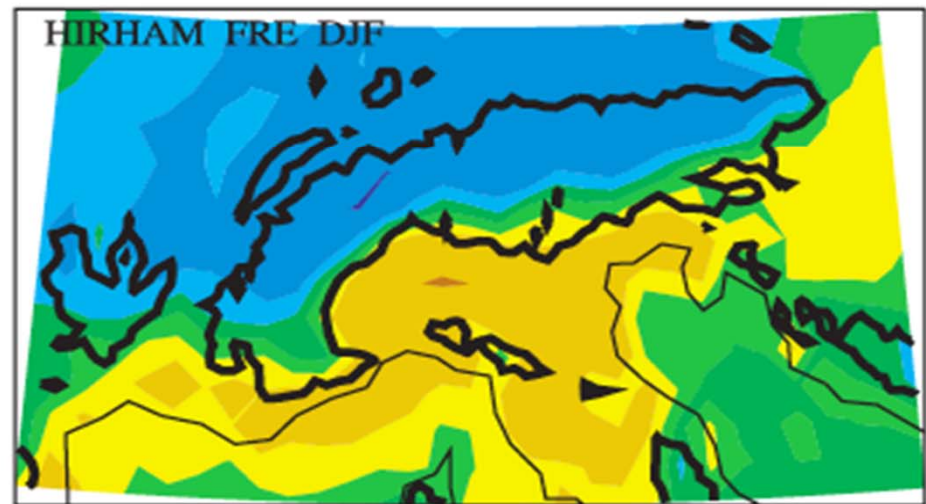
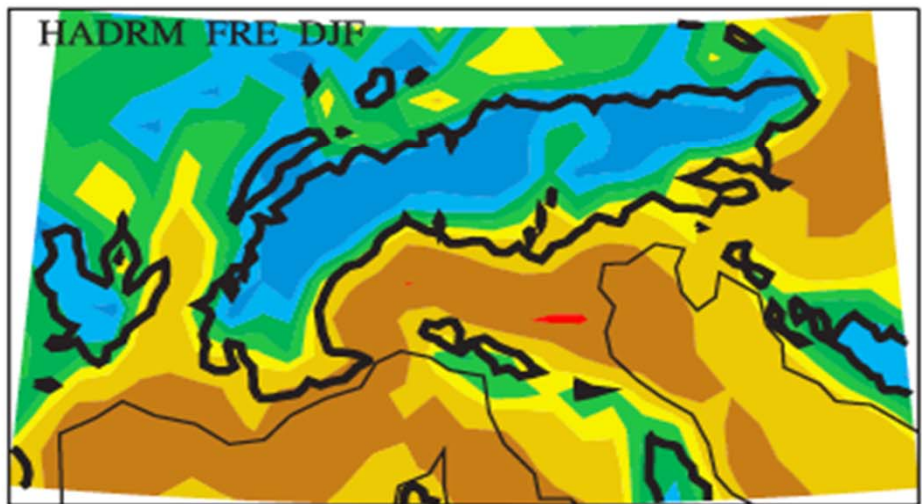
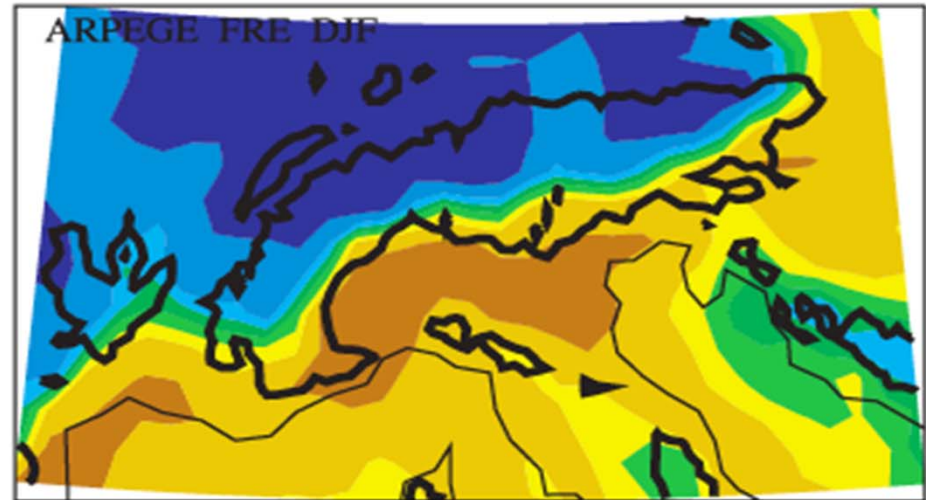
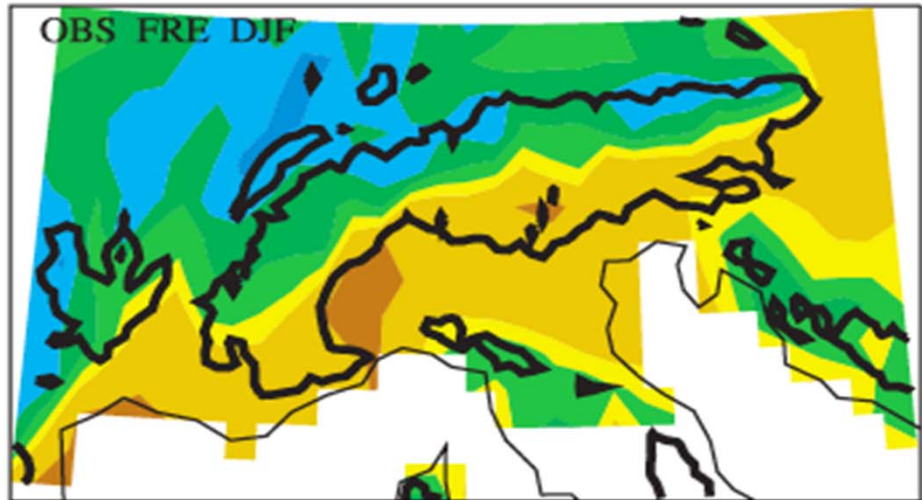
Die kritischen Fragen an die Wissenschaft

- Können wir die Variabilität klar vom langfristigen Trend unterscheiden?
- Extrem -Ereignisse: Folge der Verschiebung der Gauss-Kurve? Welche Feedback-Mechanismen spielen eine Rolle? (Lehmann and Coumou)
- Auswirkungen auf kleinräumige bis lokale Scales hoch komplex!

...und noch mehr Fragen:

- Risiko Management für Extrem- Ereignisse und “Schleichende Katastrophen”
- Interessen- Konflikte zwischen Fragen der Umwelt und der Sicherheit
- Keine Verkürzung auf CO2-Ausstoss bei Fragen der alternativen Treibstoffe!
- Vorhersagbarkeit und Beherrschbarkeit von extremen Lagen für ATM

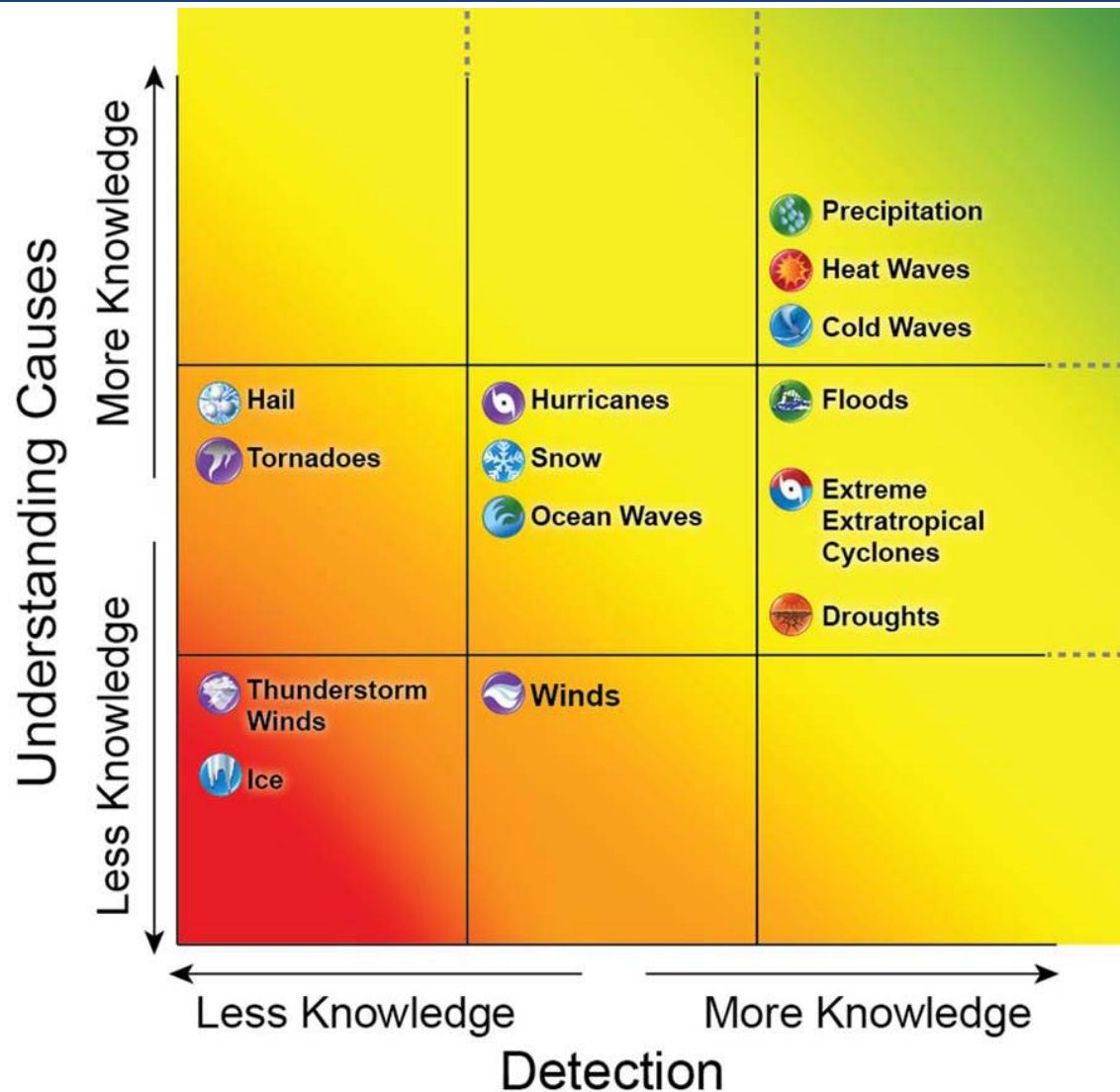
Comparison Observations-Models (Frei et.al.)



Vertrauen in Trends?

- Regionale Trends können sich stark voneinander unterscheiden (Francis and Vavrus, Screen and Simmonds)
- Beobachtete Trends in lokalen Phänomenen durch automatisierte Beobachtungen , soziale Netzwerke (Storm Chasers) schwer zu deuten
- Die Intensität von Oszillationen (ENSO, NAO) dürften vom Fortschritt der Erwärmung beeinflusst sein

Potential/Expected Changes (Wuebbles et al 2014)



Überwiegender Konsens bei einigen Fragen:

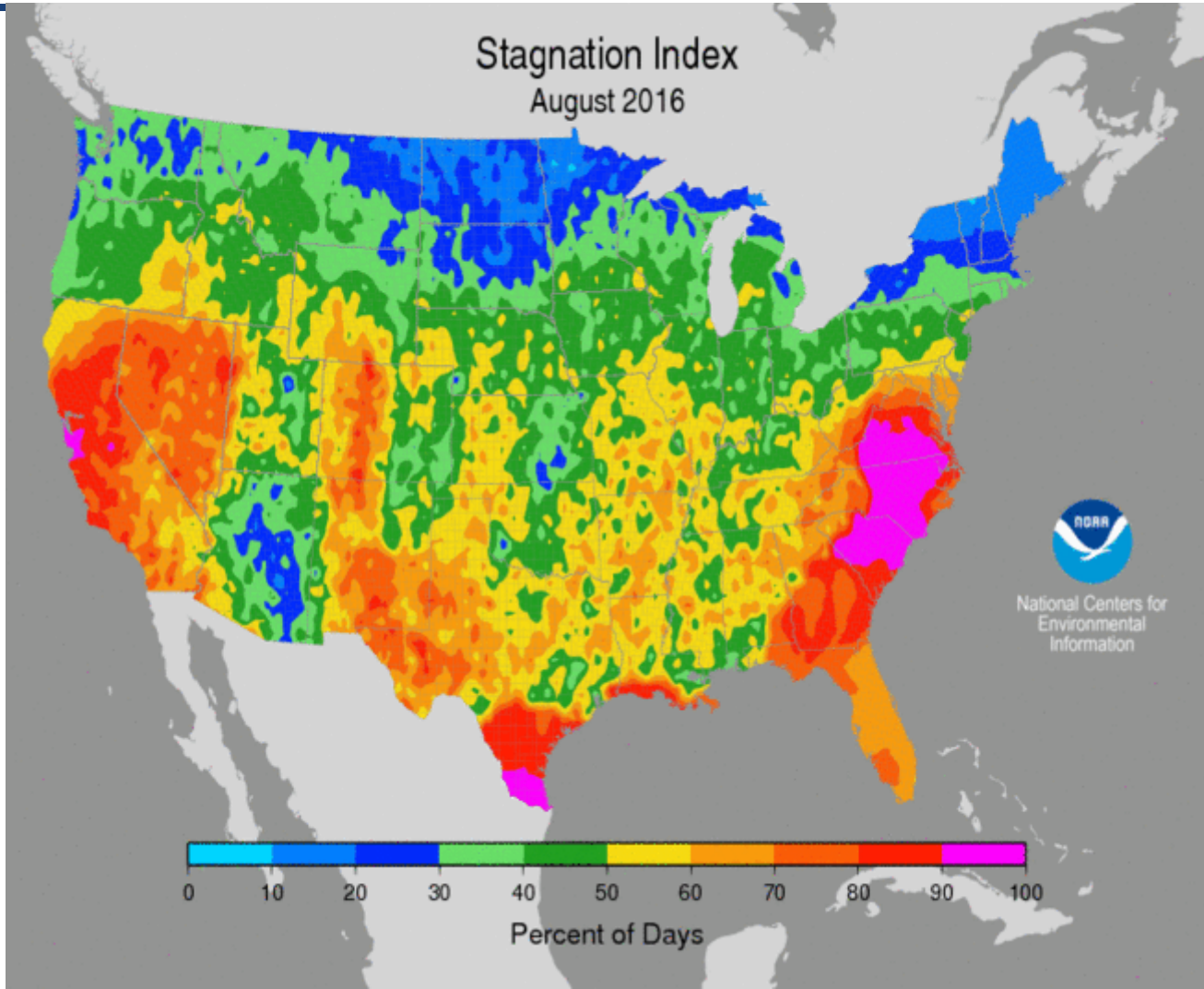
1. Temperatur: Erwärmung am Boden und in höheren Schichten [high confidence], regional kühlere Stratosphäre

- Temp-extreme am Boden zunehmend, zwei Ursachen:
 - Gauss-Kurve nach rechts verschoben
 - Komplexe Feedback Mechanismen, Blockierende Hochs, anhaltende Lagen

2. Geringere Änderungen am Jet Stream

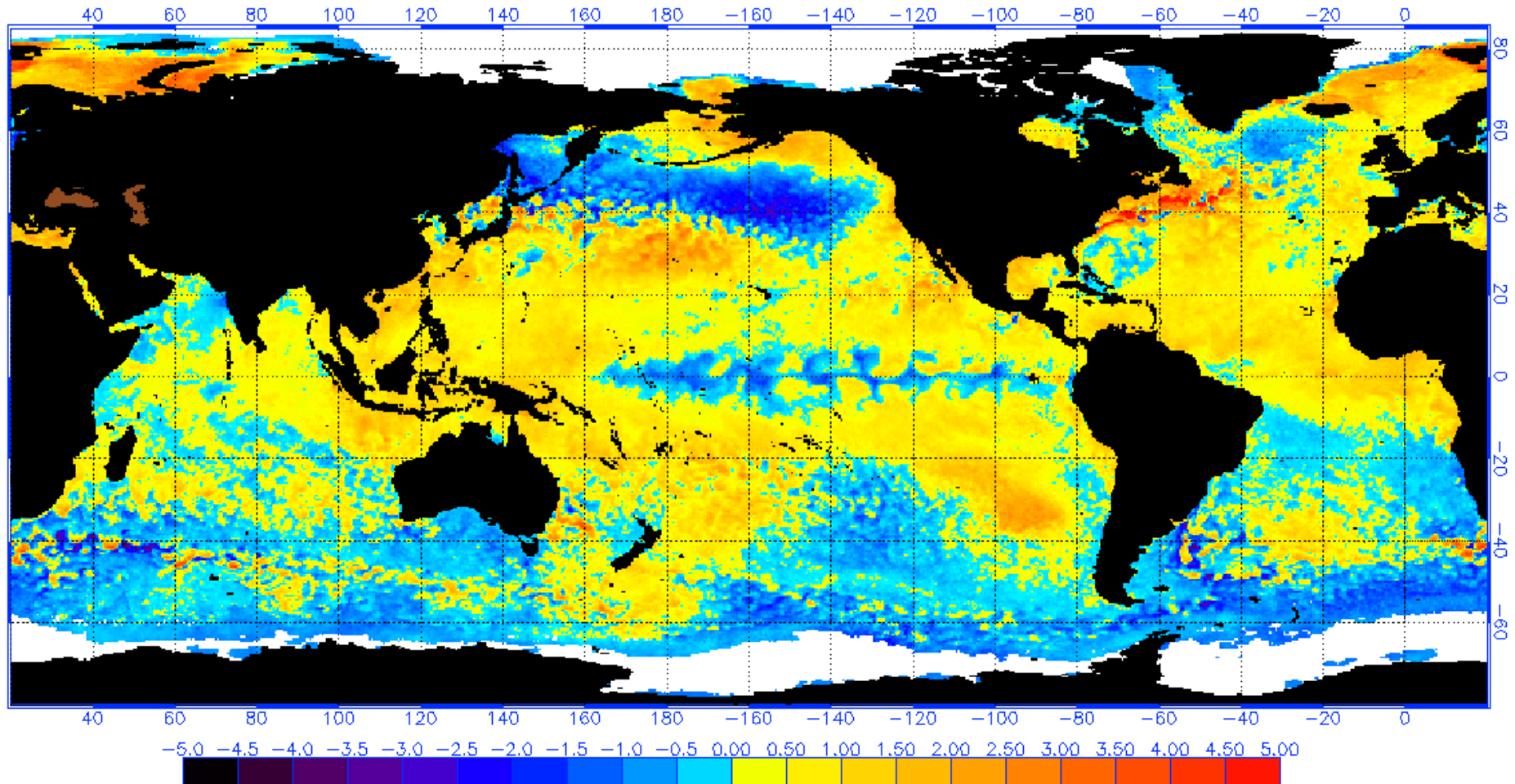
- Eher beschleunigt, polwärts verschoben
- High-Amplitude low wave-number regimes (Francis and Vavrou, Coumou et al.)
- Änderungen bei CAT noch unsicher, Verschiebung der Zonen)

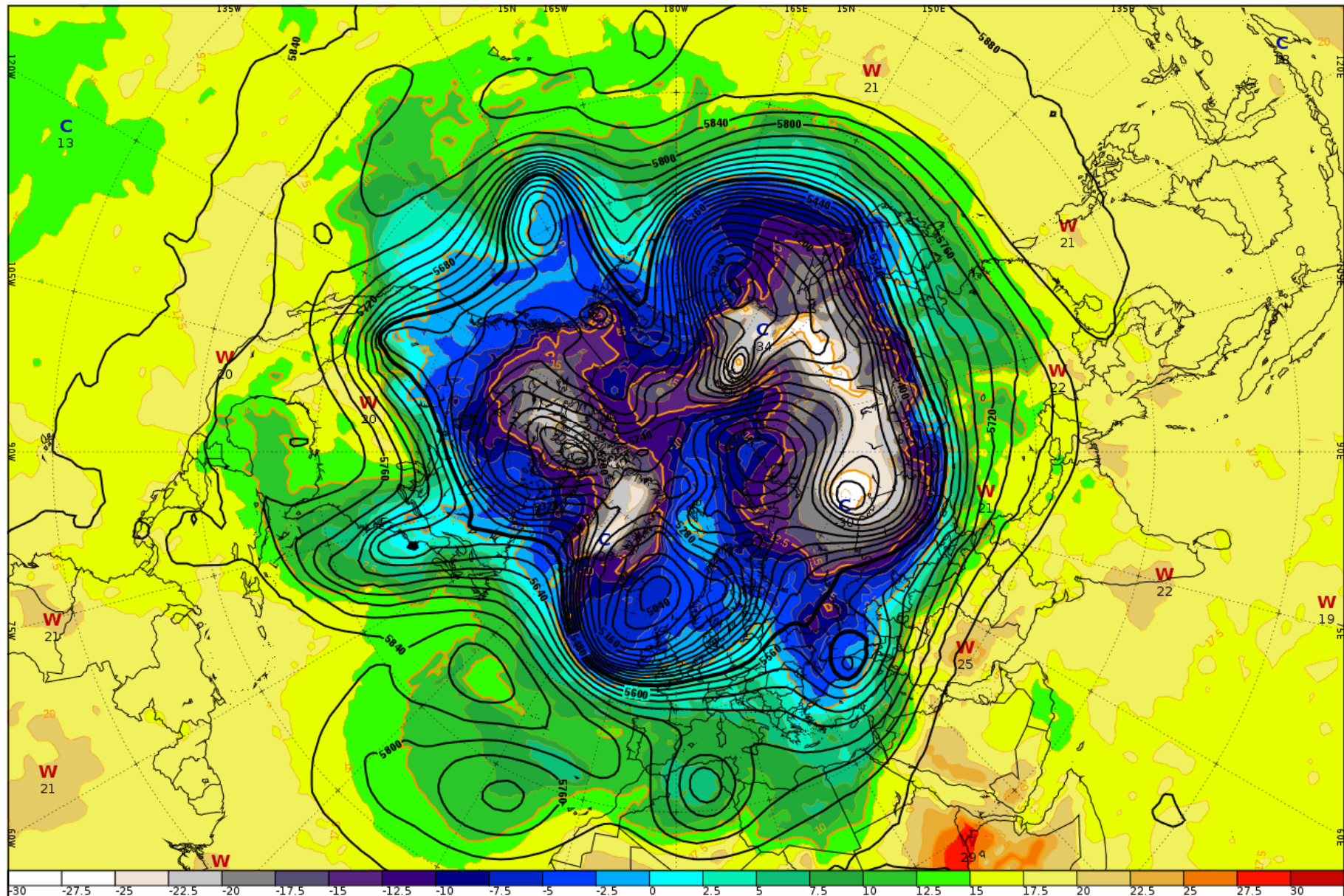
Zunahme der stagnierenden Lagen



High-Amplitude –Low Wavenumber vs. eisfreie Arktis im Herbst

NOAA/NESDIS 50 KM GLOBAL ANALYSIS: SST Anomaly (degrees C), 11/17/2016
(white regions indicate sea-ice)





Rolle von quasi-stationären Systemen (Coumou et al.)

- “Furthermore, we demonstrate that the anomalous circulation regimes lead to persistent surface weather conditions and therefore to mid-latitude synchronization of extreme heat and rainfall events on monthly timescales. The recent cluster of resonance events has resulted in a statistically significant increase in the frequency of high-amplitude quasi-stationary waves of wave numbers 7 and 8 in July and August.”

Auswirkungen auf die “predictability”?

- Bisher noch nicht bestätigte, aber wahrscheinliche Auswirkungen:
 - Erhöhung der “Available Potential Energy” erlaubt organisierte Konvektion schon bei geringerer Windscherung, nahezu stationäre Systeme
 - Konvektive Ereignisse auch in anti-zyklonischen Bereichen bei geringer Scherung und Gradienten
 - Erwarteter Bedarf an hochauflösenden Beobachtungen von Feuchte, Bodenzustand etc zur Verbesserung de NWP

Auswirkungen davon auf die Luftfahrt

3. Gewitter und Vereisung

- Extreme MCS, CB (Höhe der Cb tops, [High confidence])
 - High Altitude Ice Content schon jetzt erhöht (AF 447, Air Asia)
 - Tornados und Hagel: Modelle erwarten Zunahme etwa ab 2040 , können aber schon jetzt gehäuft auftreten
- Extreme Niederschläge: Mehr und intensivere Ereignisse (See Coumou and Lehmann [High confidence])
- Auswirkung auf Flughäfen, Ground Transportation

Was ist zu tun ?

- Statistische Methoden des Risiko Management , Erhöhte Flexibilität bei ATM, Kooperation zwischen Network Manager – FIR-basierten “regulations” (Ground delay etc)
- SWIM –basierte Verteilung von Now-cast und Wetter-Radar information zur Sicherstellung von “Common Situational Awareness”
- “Collaborative Decision Making” auch für En-Route Probleme entwickeln (TBO?)

Erwartete Änderungen für die Luftfahrt

4. Lokale Verhältnisse

- Stake Abhängigkeit von regionalen Trends, Boden-und Meeresoberflächen-Bedingungen
 - Küstennahe Flughäfen durch Anstieg des Meeres, Sturmfluten, erhöhte Niederschläge/Abfluss gefährdet
- Überschwemmungen nach Extrem-Niederschlägen: Höheres Potential, aber schwieriger Nachweis eines Trends bei sehr seltenen Ereignissen) Siehe Frei et al.)
- Sichten/Untergrenzen zeigen keinen global einheitlichen Trend, stark regional-klimatologisch differenziert
- Übereinstimmung für Bedarf an regionalen und lokalen Studien

Risiko Management für Luftfahrt-Teilnehmer

- Längster Zeit-Horizont: Flughafen-Planer, Flugzeug-Hersteller, Tourismus und Raum-Planer
 - Planungs- horizont > 30 Jahre
 - Nicht nur ein stationärer “Endzustand”, sondern Variabilität und Extreme während der Entwicklung zu beachten
 - Multi-disziplinärer Ansatz, mit Zivil-Ingenieuren, Designern, Soziologen, life-sciences
- Mittelfrist: ANSP, Regulatoren, Gesetzgeber
- Kurzfrist: Airlines, Reiseveranstalter

Flughäfen:

- Erste Studien für London Heathrow, Amsterdam
- Multi-disziplinärer Ansatz mit Biologen (Bio-Invasoren, Vogelzug), Epidemiologen (Tropenkrankheiten), Hydrologen (Grundwasserspiegel, Überschwemmungen)
- Analysen and Vorhersagen der Nachfrage in Tourismus-Gegenden
- Jahres-Verteilung der Niederschläge, Extrem-Ereignisse
- Schnee (Räumungs-Kapazität und maximale Schneelast für Gebäude)

Flughäfen..

- Häufigkeit und Dauer von Gewittern mit Blitz-Entladungen
- Häufigkeit und Dauer von stagnierenden Lagen, Luftqualität
- Hitze-Stress
- Regelmäßigkeit von winterlichen Wetterlagen
- Verkehrsanbindung an Bevölkerungszentren

Hersteller

- Abhängigkeit von Zulassungs- und Überprüfungsbehörden
- Take-off Einschränkungen in heißen und feuchten Bedingungen
 - Gebirgs-Flughäfen (INN: zwischen 15 und 19% reduzierte Reichweite bei 3 C höherer Maximal-Temp.) gegenüber Flachland
 - Widerstandsfähigkeit gegen Blitz, Regen, Extreme
 - Große Hagelkörner
 - Sand- und Staubstürme (Probleme wie bei Vulkanasche)

Thanks....

- To the group at Potsdam Institute of Climate Change Impact for generous help and direction (Dim Coumou and Jascha Lehmann)
- Prof. Wuebbles for sharing very helpful insight and remarks at the CAEP Workshop in Washington, Feb 2015
- Rory Clarkson for invaluable technical advice

References:

- **Francis, J.A. and S.J. Vavrus, 2015: Evidence for a wavier jet stream in response to rapid Arctic warming.**
- *Environ. Res. Lett.*, 10, doi:10.1088/1748-9326/10/1/014005.
- **Daily Precipitation Statistics in Regional Climate Models: Evaluation and Intercomparison for the European Alps**
- *Christoph Frei (1), Jens Hesselbjerg Christensen (2), Michel Deque (3), Daniela Jacob (4), Richard G. Jones (5) and Pier Luigi Vidale (1)*
- **Exploring links between Arctic amplification and mid-latitude weather**
- **James A. Screen and Ian Simmonds**
<http://onlinelibrary.wiley.com/store/10.1002/grl.50174/asset/grl50174.pdf?v=1&t=idpw7fa0&s=d3ecc578132dd2a0ed497a95d98d98bb59123d7d>

References (cont.)

- **Quasi-resonant circulation regimes and hemispheric synchronization of extreme weather in boreal summer**
- [Dim Coumou](#)^{a,1}, [Vladimir Petoukhova](#), [Stefan Rahmstorfa](#), [Stefan Petria](#), and [Hans Joachim Schellnhuber](#)^{a,b},

- **Increased record-breaking precipitation events**
- **under global warming**

- Jascha Lehmann^{1,2} & Dim Coumou¹ & Katja Frieler¹ (2015)
- Climatic Change
- DOI 10.1007/s10584-015-1434-y