

Downscaling

**Hans von Storch
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Hamburg, Germany**

Vortrag bei der GKSS
1. Februar 1995

Überblick

- **Prolog:** Der Menschgemachte Klimawandel is real.
Die Hegerl et al. (1994)-Studie.
 - **Klimawirkungsforschung ist erforderlich** - ist aber in der Vergangenheit häufig mit methodischen Mängeln behaftet.
 - **Die methodische Herausforderung für die Klimafolgenforschung: Down- und Upscaling.**
-

- **Downscaling: Von wo aus?** Welche Information bieten Klimamodelle?
- **Downscaling - Der Methodische Kern.**
- **Downscaling - 3 Beispiele: Meereis, Niederschlag und Wasserstand.**
- **Downscaling - Perspektiven weiterer Aufgaben.**

Climate Change in the Past 100 Years - internal or external?

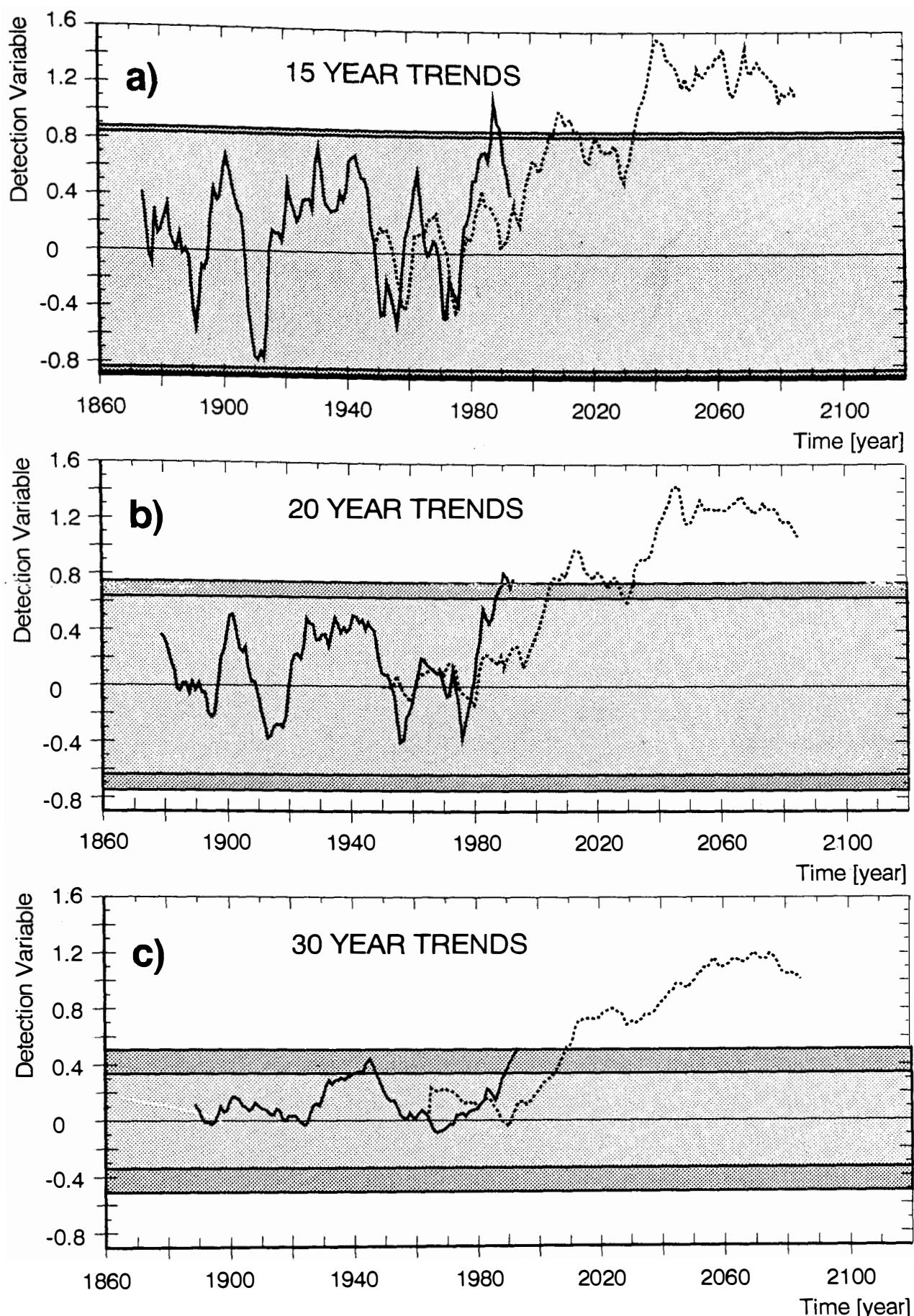
- **The homogenized analyses of near-surface temperature** indicate an increase of this temperature in the past 100 years.
- **To asses whether this increase is natural or not** a “detection variable” is formed, which is the projection of the analysed (“observed”) temperature fields on the warming pattern simulated by a climate model.
- **The observed warming is declared “inconsistent with natural variability”** (= signal has an external source) if the detection variable is outside the 95% confidence band of natural variability.
- **The 95% confidence band of natural variability** is estimated from observed data (problem: contamination by the signal) or from climate model runs (problem: model might be wrong)
- **This procedure leads to the decision**

the recent warming trend is NOT related to internal dynamics.

Risk: < 5% -

provided that the climate variability is correctly estimated.

For details, see Hegerl et al. (1994)



| observed

█ 95% confidence interval of observations (GHG-signal subtracted)

█ 95% confidence interval for the ECHAM2 / OPYC control simulation

Klimawirkungsforschung ist NICHT ...

- **die Verarbeitung statischer Szenarien** von der Art, dass Karten erwarteter Klimaänderungen an irgendwelche “Anwender” übergeben werden, die diese dann ohne Kenntnis der Bedingungen der Herstellung, und insbesondere ohne Kenntnis der Grenzen, “verarbeiten”.

Dieses Prozedere ist in der Vergangenheit viel praktiziert worden, und dabei ist viel Unsinn produziert worden.

Beispiel: Nord- und Südrand der Alpen.

- **“ $2 \times CO_2$ ” Szenarien:** Die erwartete Klimaänderung ist nicht sprunghaft von einem stabilen Zustand in einen anderen stabilen Zustand (“Der Wasserstand setigt um 18 cm”). Vielmehr ist Klimaänderung ein gradueller Prozess. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Änderungsrate.
- **die Beschränkung auf anthropogene Änderungen.**
Das Klima schwankt auf allen Raum- und Zeitskalen aufgrund interner dynamischer Vorgänge. Klimaempfindliche Vorgänge reagieren nicht nur auf anthropogene Änderungen sondern auch auf natürliche Schwankungen (z.B. Anfang des Jahrhunderts, siehe Graphik).

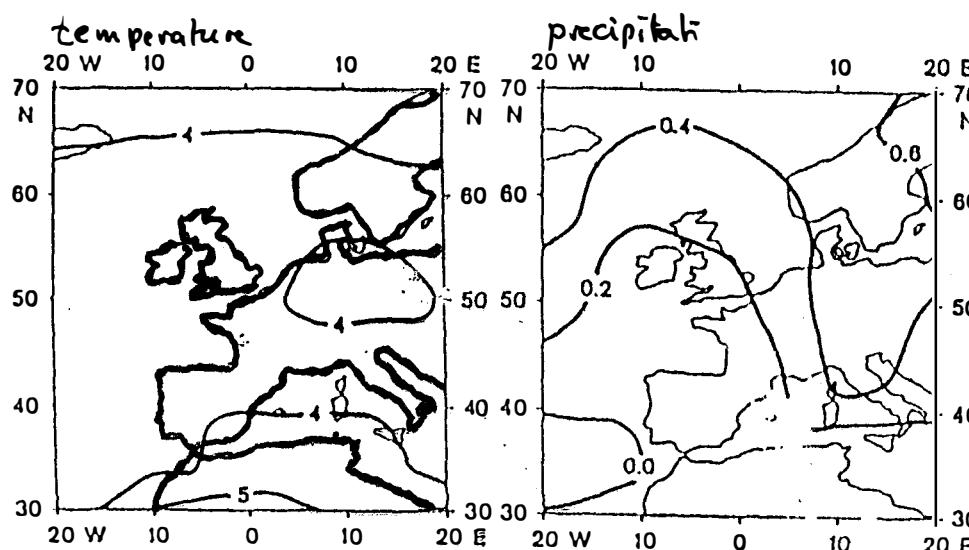


Fig. 1: Regional distributions of temperature ($^{\circ}\text{C}$) (left) and precipitation rate (mm/d) (right) changes for the GISS experiment (after Meinl et al., 1984)

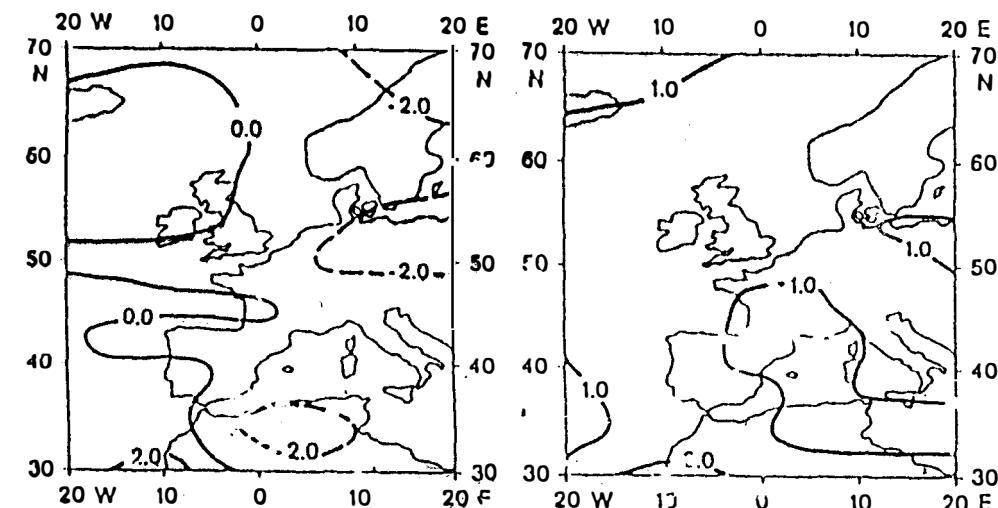


Fig. 2: Regional distribution of the differences between the GISS control experiment and the current climatic data. left: temperature ($^{\circ}\text{C}$); right: precipitation rate (mm/day) (after Meinl et al., 1984).

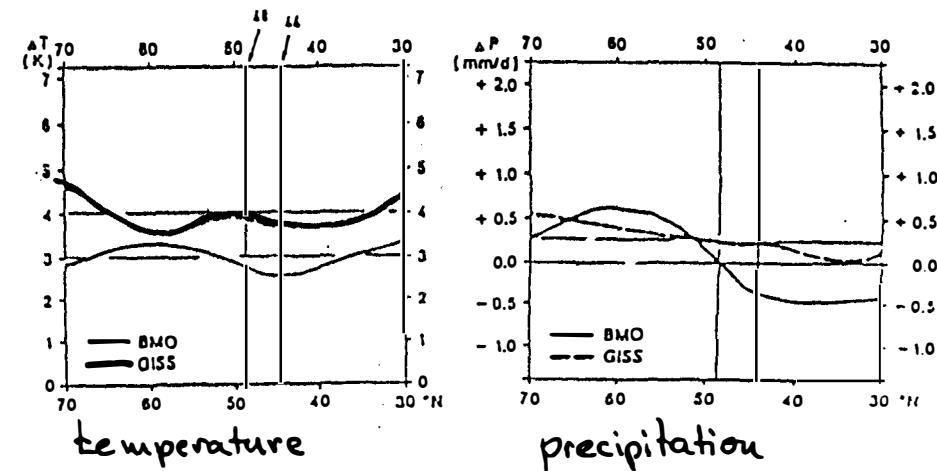
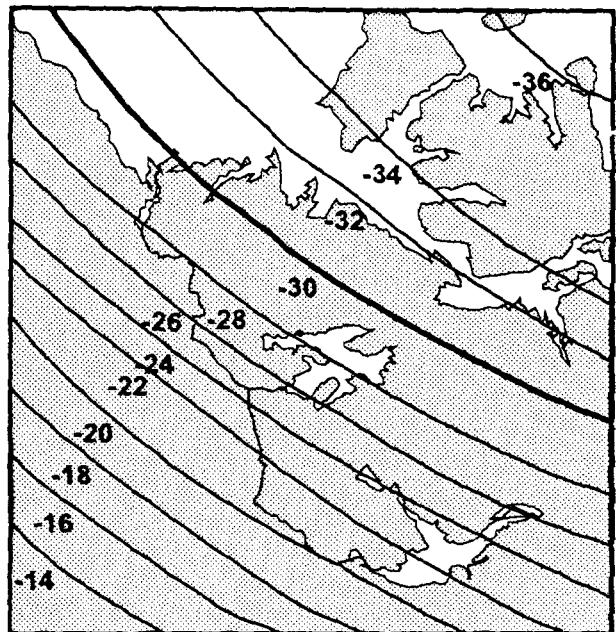


Fig. 5: Longitudinally averaged (20°W - 20°E) changes in mean annual temperatures (a) and precipitation rate (b) for Western Europe (lat. 30° to 70°N and especially the Alps range (lat. 44° - 48°N) (after Meinl et al., 1984)

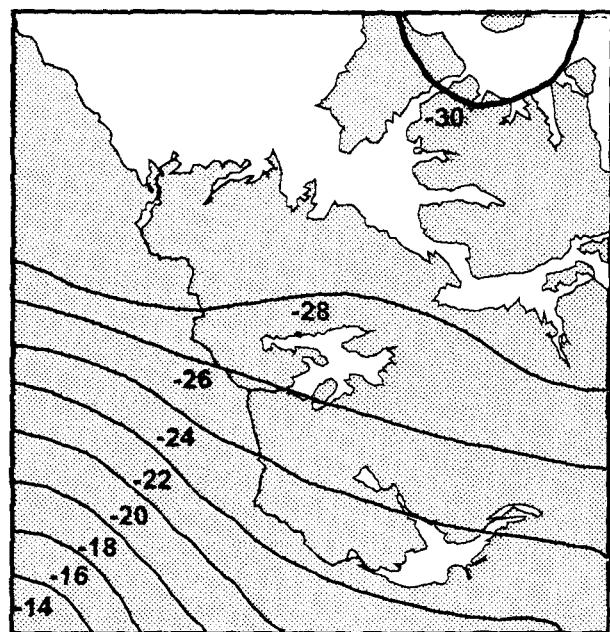
	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)		Precipitation (mm/d)	
	Western Alps	Eastern Alps	Western Alps	Eastern Alps
Winter	+ 4.5	+ 4.3	+ 0.45	+ 0.45
Spring	+ 4.2	+ 4.1	+ 0.5	+ 0.65
Summer	+ 3.0	+ 3.8	+ 0.3	+ 0.3
Autumn	+ 4.0	+ 3.8	+ 0.3	+ 0.3
Mean	+ 3.9	+ 3.9	+ 3.9	+ 4.2
			140 mm/y	155 mm/y

Fig. 6: Seasonal climatic changes in the Alps range according to the GISS experiment.

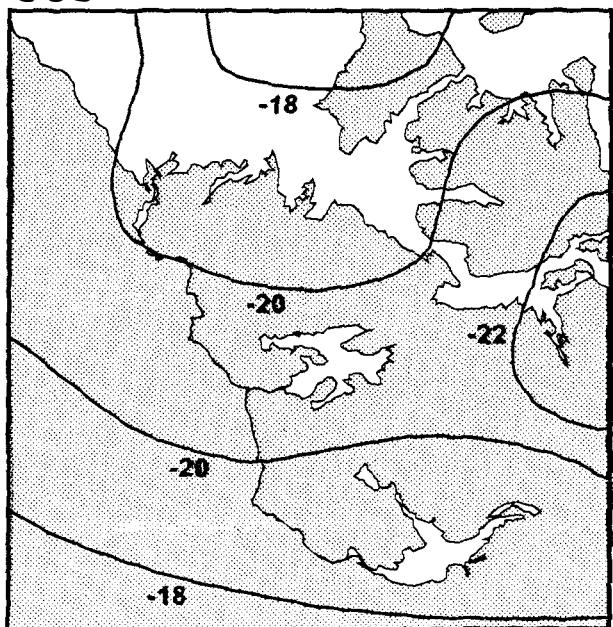
GFDL



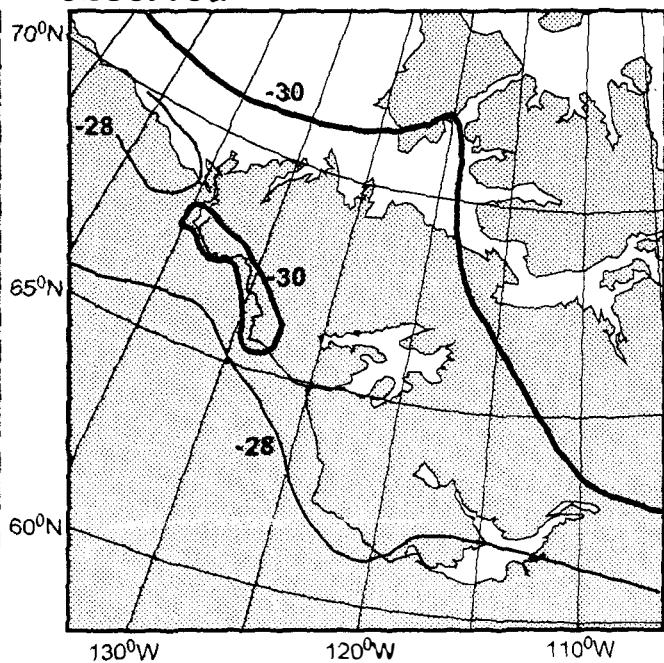
GISS



OSU

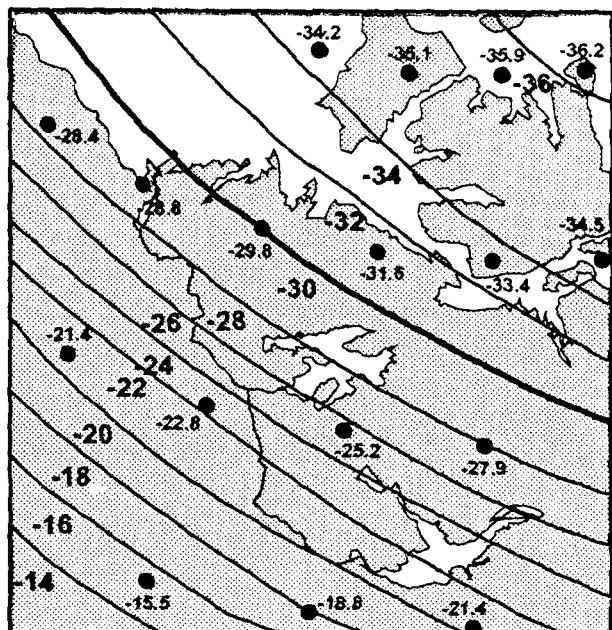


observed

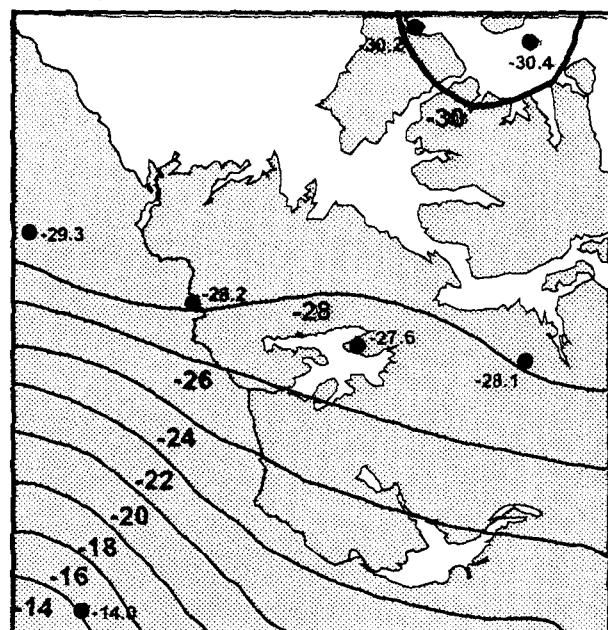


Stuart & Judge, 1991

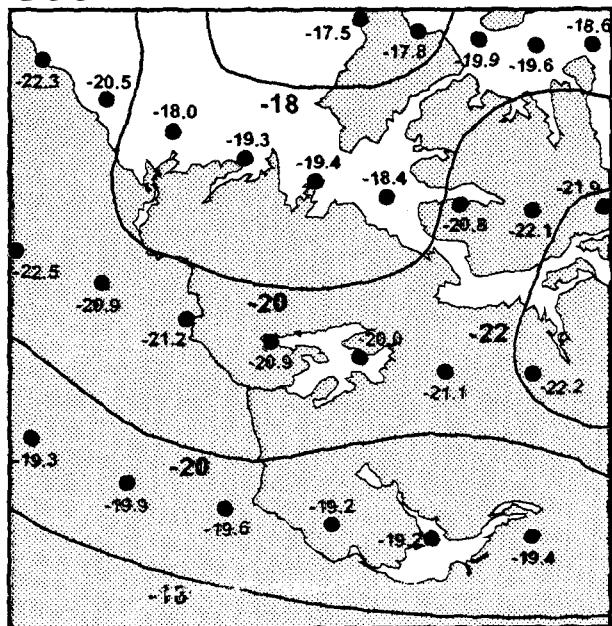
GFDL



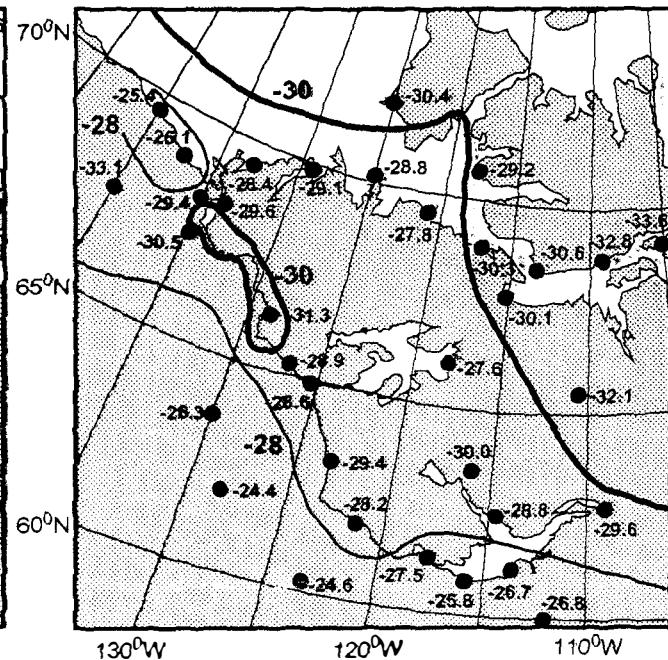
GISS



OSU



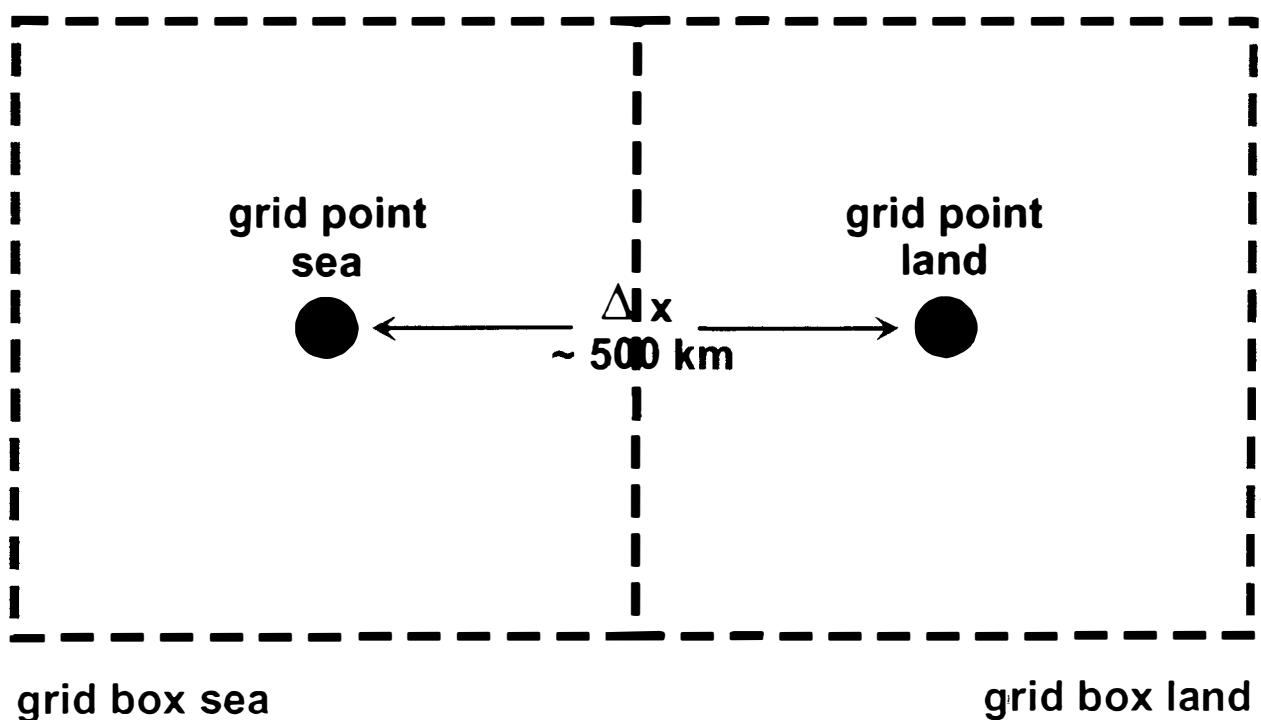
observed



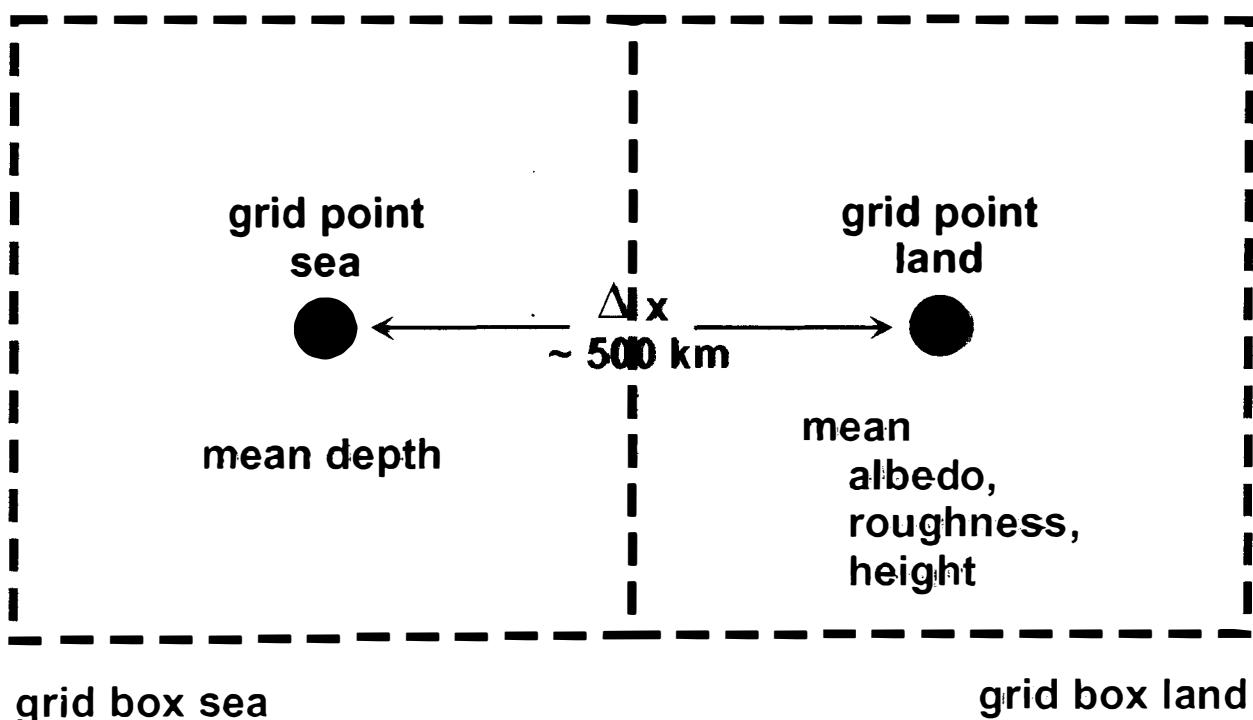
Stuart & Judge, 1991

015HVSha.ds4

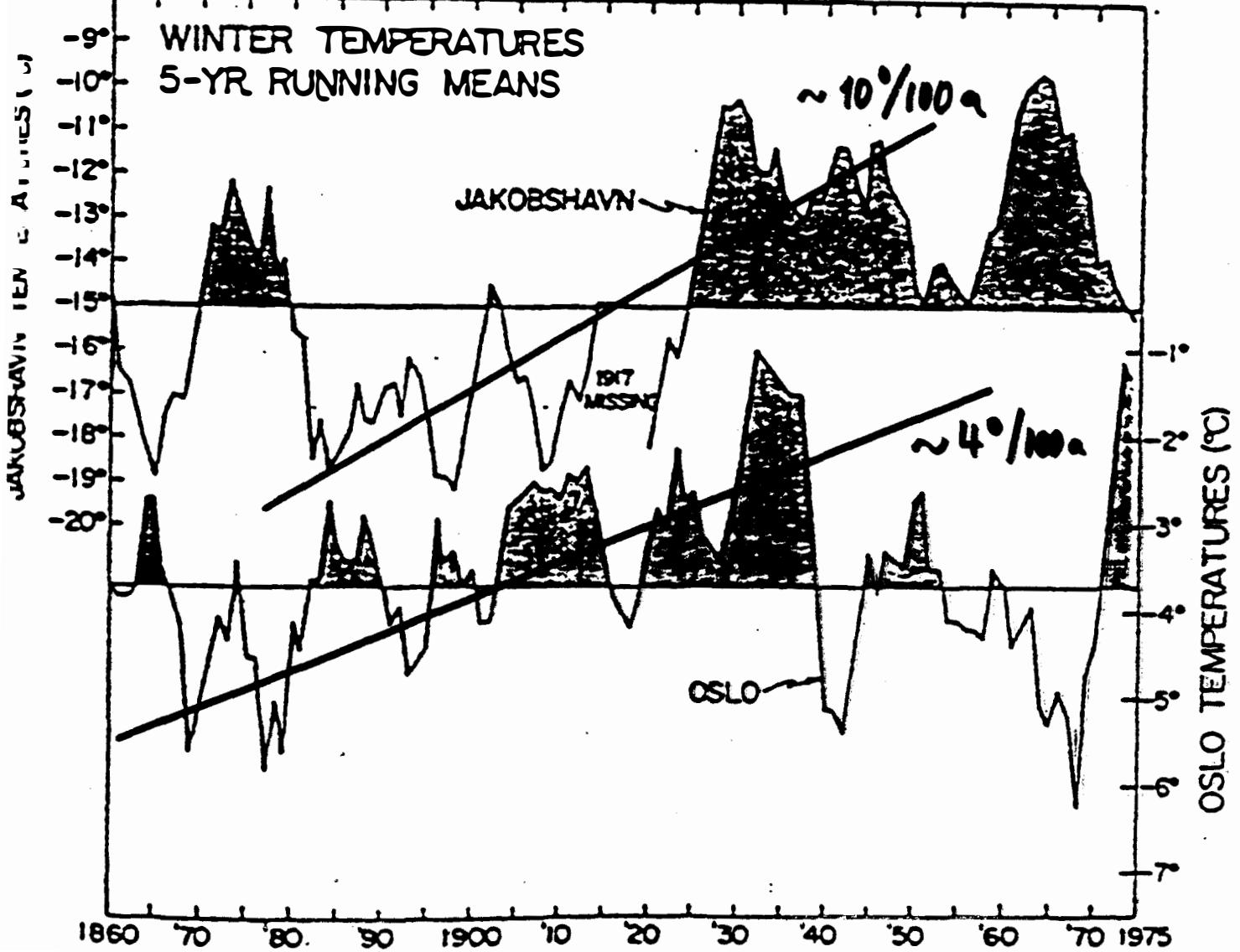
What does a climate model know about the coast ?



What does a climate model know about the coast ?



⇒ coast = contract in some
box-averaged properties



Five-year running means of winter temperature at Jakobshavn and Oslo ($^{\circ}\text{C}$).

Case 2 : Significant warming trend
in N Europe ... no public response
(Arrhenius' CO_2 -theory ~ 1898)

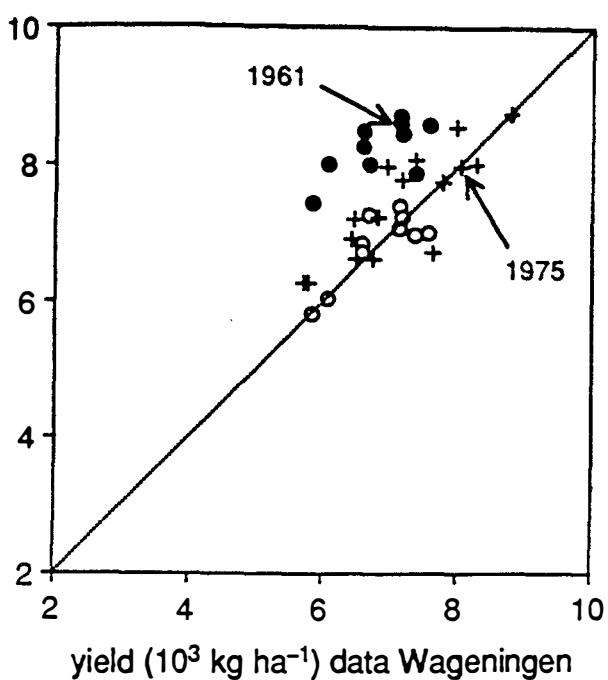
van Loon & Rogers
1978

Die Methodische Herausforderung

Klimawirkungsforschung ist grundsätzlich multidisziplinär.
Die Information über erwartete Klimaänderung ist von anderer Qualität als die Information über das gegenwärtige Klima.

- Information über das heutige Klima kann im Prinzip in beliebiger raum-zeitlicher Genauigkeit erhoben werden, um (fast) jedem Anspruch eines Anwendermodells gerecht zu werden. Daher spielt die Art der Information über heutiges Klimas für die Modellierung von klimabedingten Prozessen keine Rolle.
- Informationen über erwartete zukünftige Klimaänderungen sind unscharf - nicht nur quantitativ sondern auch in Bezug auf Zeit und Raum. Diese Unschärfe ist nicht Ausdruck der Unfähigkeit der Klimaforschung, genauerer "Prognosen" zu liefern, sondern ist inhärente Unschärfe, die durch Verbesserung der Klimamodelle nur langsam vermindert werden kann.
- Daher müssen alle (mathematischen oder konzeptionellen) Modelle, die zur Bestimmung von klimabedingten Änderungen benutzt werden sollen, in der Lage sein, trotz der Unschärfe noch belastbare Aussagen zu treffen. Dies bedeutet, dass spezielle Modelle zu entwickeln sind (insbesondere durch de-Komplexifizierung vorhandener Modelle). Ein intensiver Austausch zwischen Klimaforschung und Anwendern sollte eine solche Entwicklungsarbeit begleiten.

yield (10^3 kg ha^{-1}) data other station



yield (10^3 kg ha^{-1}) data other station

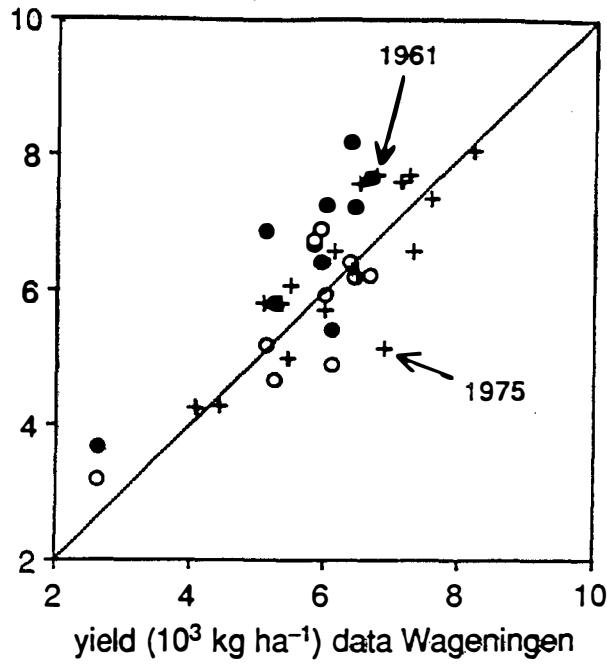


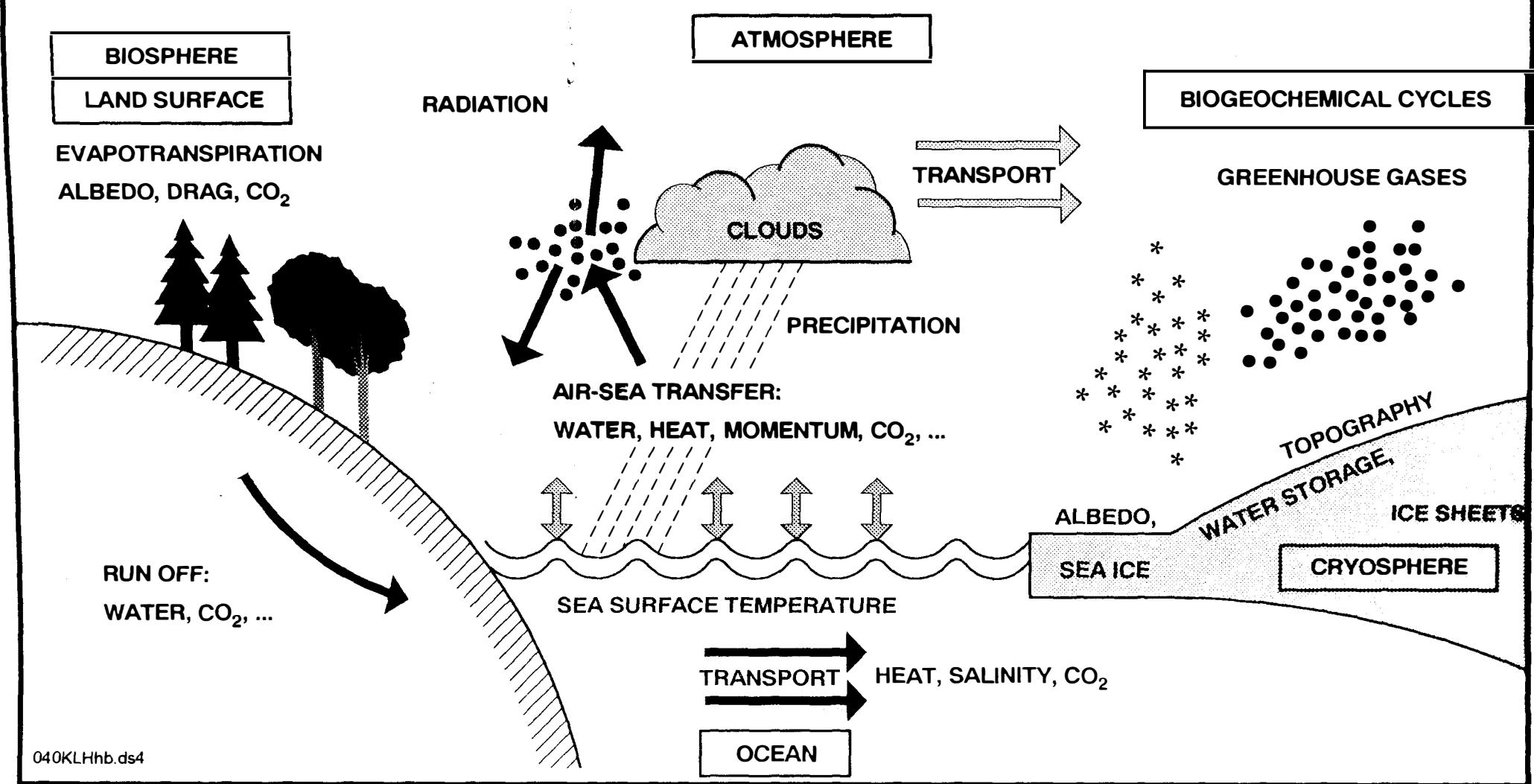
Figure 4.16 (left) Comparison between potential yield simulated with the weather data from Wageningen (1961-1987) and yield simulated with the weather data from de Bilt (1976-1985): ○, data de Kooy (1976-1985): ●, and de Bilt (1961-1975 and 1986,1987): +.

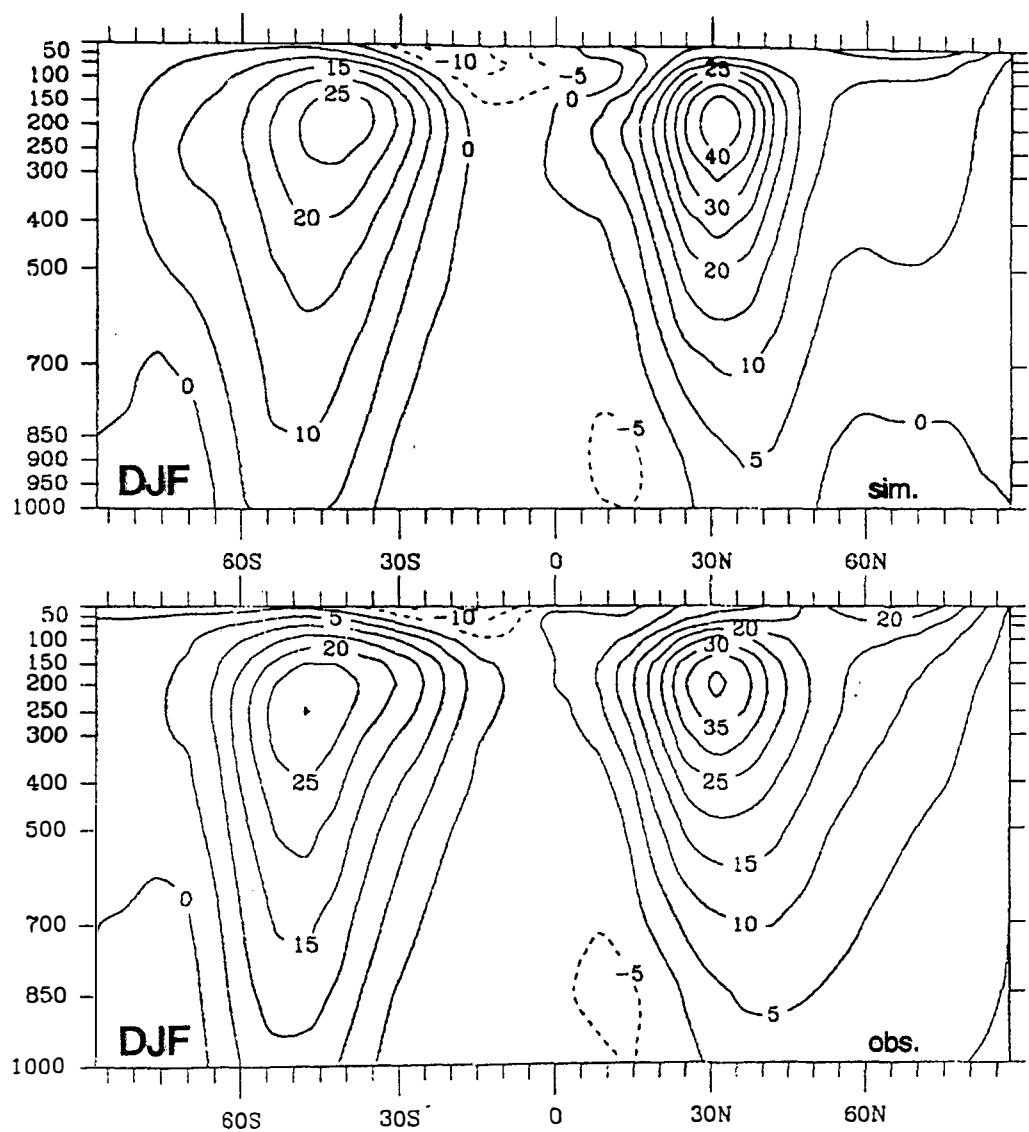
Figure 4.17 (right) Comparison between water-limited yield simulated with the weather data from Wageningen (1961-1987) and yield simulated with the weather data from de Bilt (1976-1985): ○, data de Kooy (1976-1985): ●, and de Bilt (1961-1975 and 1986,1987): +.



Nonhebel, 1993

CLIMATE SUB-SYSTEMS





044HVSb.drw

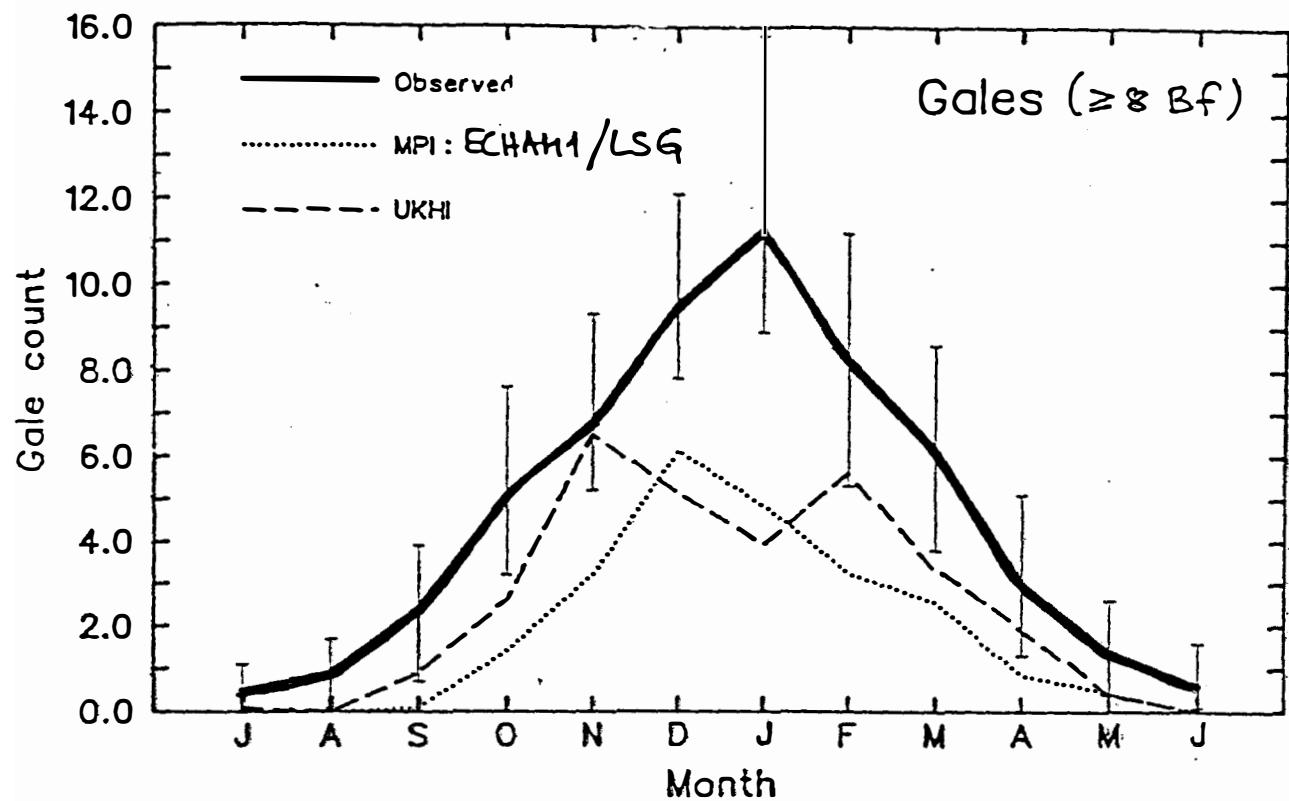
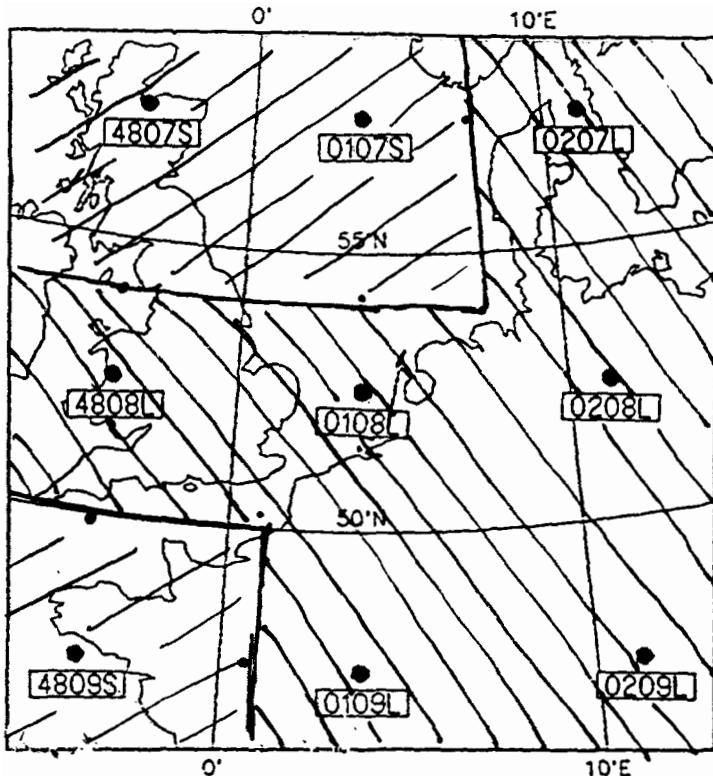


Figure 6: Observed and model-simulated mean monthly frequencies of Gales over the British Isles. The range bars on the observed line are calculated as in Figure 3 from the 110-year observed record from 1881 to 1990. Note that the 'gale year' runs from July to June.

Hulme et al, 1992

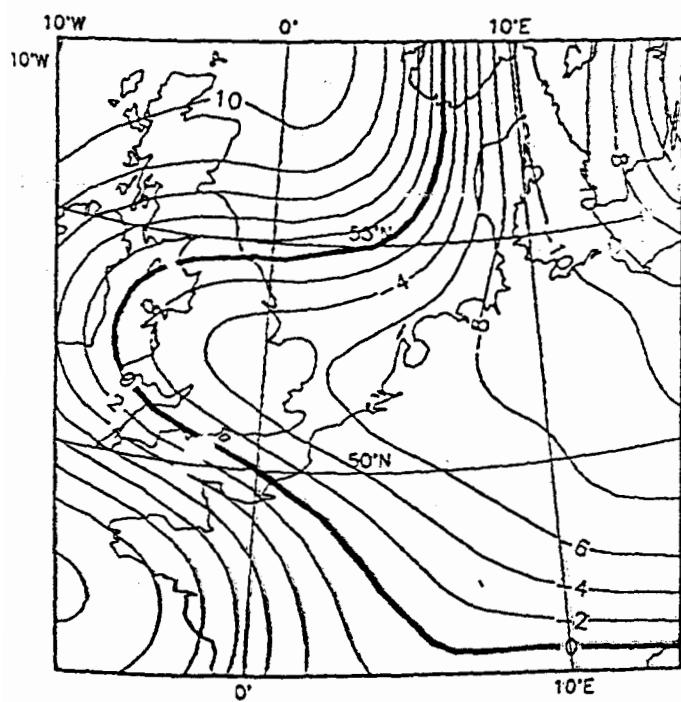


B. Met Office
Model

Figure 1. Map of the study area with the locations of the GCM grid points
L:Land grid point, S:Sea grid point.

/// = "Land" \\\ = "Ocean"

GCM 1xCO₂: SURFACE TEMP. DJF



ECMWF 1981–90: SURFACE TEMP. DJF

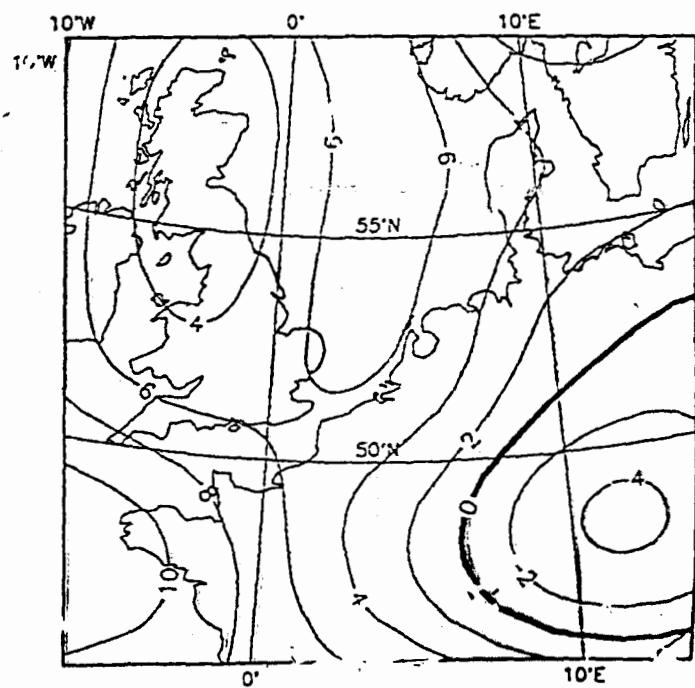
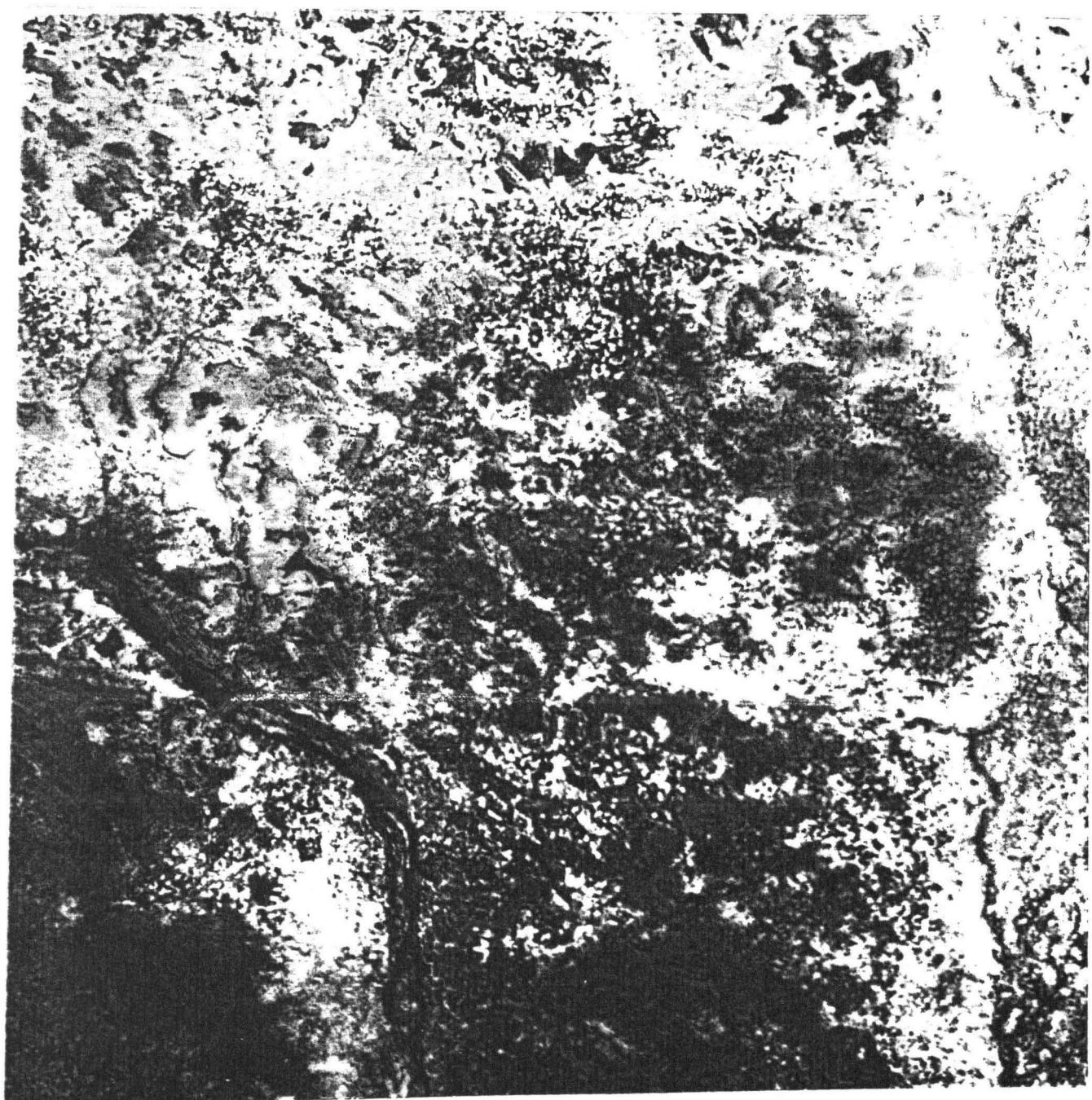


Figure 2. Mean winter (DJF) surface air temperature.

Beesma, 1991

TOP

© 2000 The Estate of Christopher Huntingford

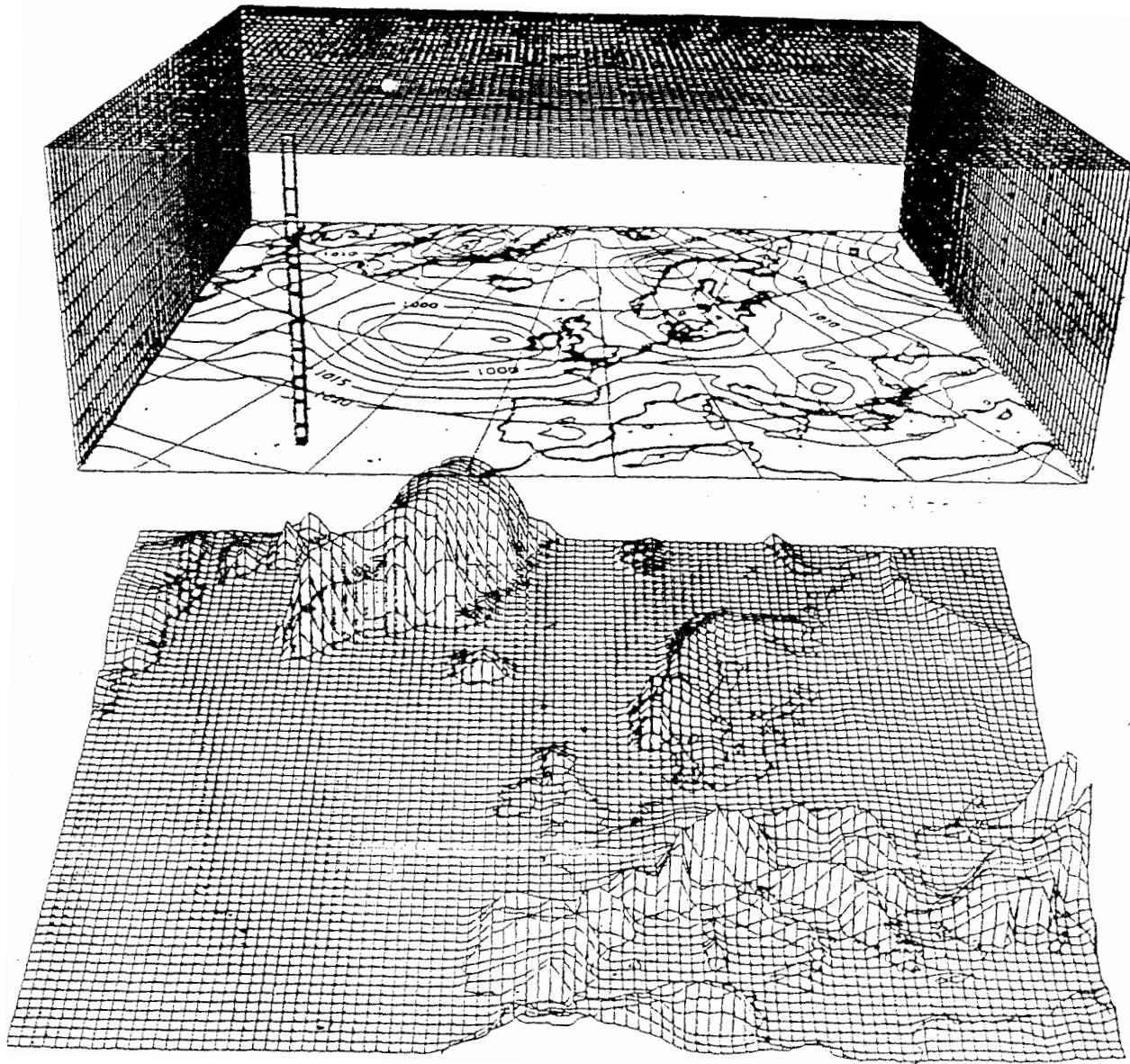


from: Chris Huntingford, 1993

The Specification Problem

**Climate Models are too coarse
to resolve impact-relevant
spatial details.**

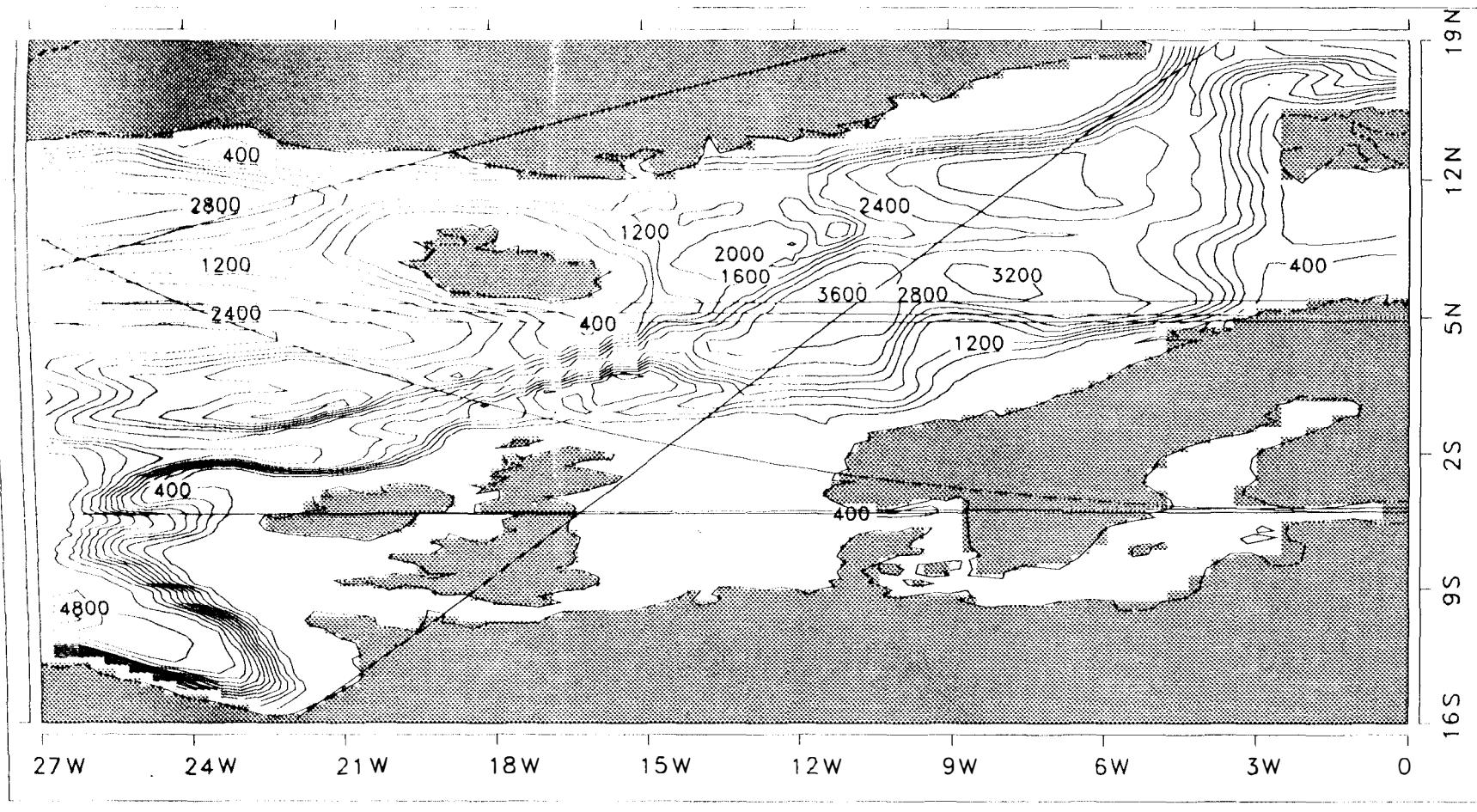
**Therefore Downscaling Procedures
(dynamical, statistical)
are required.**



LIMITED AREA MODEL
Horizontal grid length
0.7 deg.

TOPOGRAPHY

01JAN 001



Reference Line: 3200 Unit: m

MIN= 10 MEAN=933

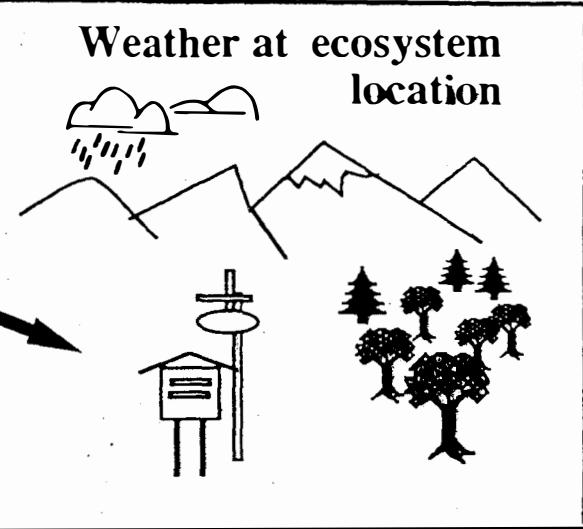
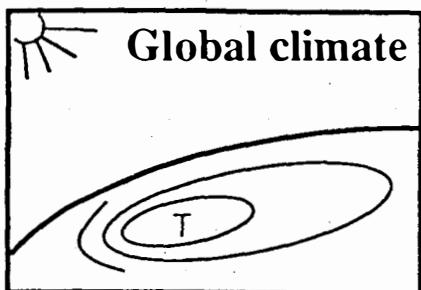
Contour Interval: 400

MAX=4959 STDV= 1190

Josef M. Oberhuber | DKRZ |

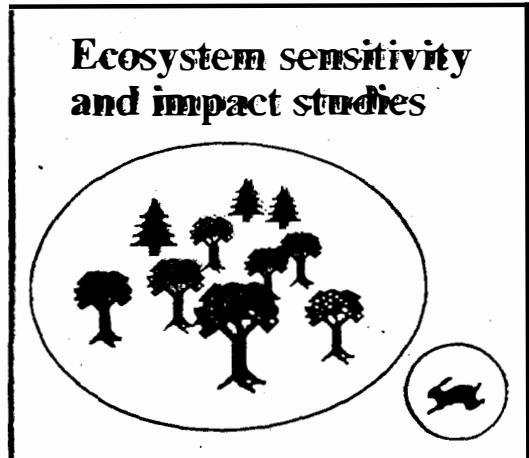
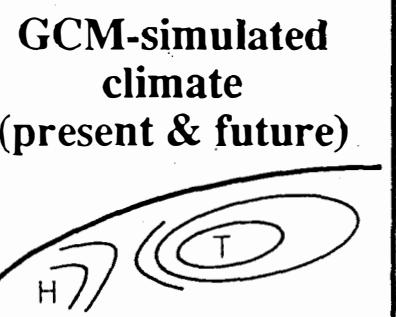
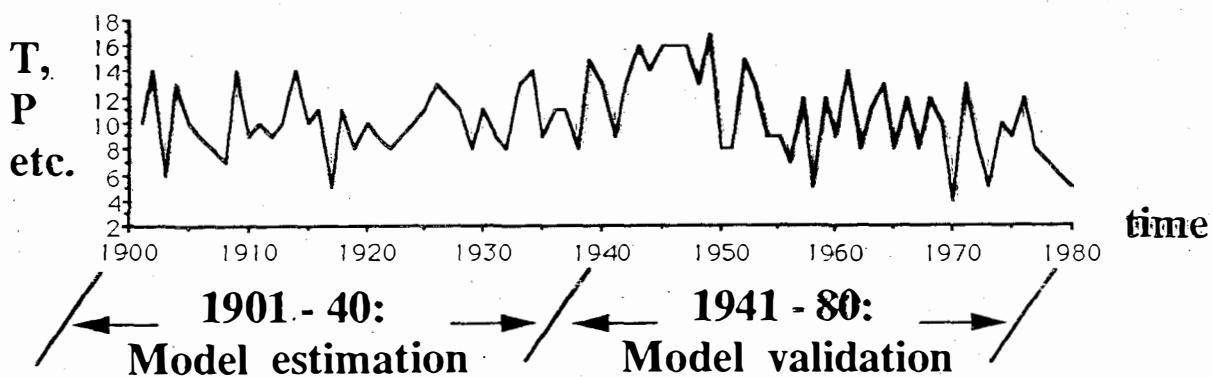
Date | 08/24/94 | Time | 12:23:27 |

JMO-Graphics



STATISTICAL DOWNSCALING MODEL

Monthly weather statistics are derived from the dynamics of global-scale processes



MODEL DESIGN

Identify regional climate parameter(s) \mathbf{R}

Find large-scale climate parameter \mathbf{L} which

- controls \mathbf{R} through $\mathbf{R} = \mathcal{F}(\mathbf{L}, \vec{\alpha}_0)$ with parameters $\vec{\alpha}_0$ to be specified.
- is well simulated by a climate model.

Use samples (\mathbf{R}, \mathbf{L}) from historical data to find $\vec{\alpha}_0$ such that $\|\mathbf{R} - \mathcal{F}(\mathbf{L}, \vec{\alpha}_0)\| = \min$

Validate choice of $\vec{\alpha}_0$ with independent historical data.

TEST CLIMATE MODEL

Get \mathbf{L} and \mathbf{R} from climate model output

Fit parameters $\vec{\alpha}_m$ such that for the model data

$$\|\mathbf{R} - \mathcal{F}(\mathbf{L}, \vec{\alpha}_m)\| = \min$$

if $\vec{\alpha}_m \sim \vec{\alpha}_0$ use GCM generated \mathbf{R}

MODEL APPLICATION

Get \mathbf{L} from climate model output

Use $\mathcal{F}(\mathbf{L}, \vec{\alpha}_0)$

Example: Sea Ice on the Western Baltic

The (estimated) probability distribution (in %) of (*strength of westerly flow, severity of Baltic Sea ice conditions*).

A: Distribution obtained from 104 years of data. From Koslowski and Loewe (1992).

B: Future distribution, if the marginal distribution of the westerly flow would change as indicated in the last row and if no other factors would control the ice conditions.

severity of the sea ice conditions	strength of the westerlies			all
	strong	normal	weak	

A: present distribution

weak	21	11	2	34
moderate	20	14	7	41
severe	4	4	6	14
very severe	0	3	8	11
all	45	32	23	100

B: hypothetical future distribution

weak	31	8	0	39
moderate	30	10	4	44
severe	6	3	3	12
very severe	0	2	4	6
all	67	23	11	101

output
for impact studies
("R")

↑ Input from
2CO₂ experiment
("L")

purely
educational

Rainfall Generator

In diesem gemeinsam mit Hydrologen von der University of Washington durchgeföhrten Projekt ging es darum, realistische Abfolgen von täglichen Niederschlagsmengen als Funktion des gross-räumigen Zustandes für ausgewählte Orte zu spezifizieren. Gefragt wurde nach Verteilungen der

- Niederschlagsmengen
- “Storm Interarrival” Zeiten.

Es wurde eine “Analog Methode” entwickelt, d.h. jedem Tag (in der Realität oder in einem Szenariolauf mit einem Klimamodell) wird ein an einem anderen Tag beobachteter Niederschlag zugewiesen.

Definition der Analoga: Für den betrachteten Tag werden die EOF Koeffizienten des regionalen Luftdruckfeldes bestimmt. Dann wird im Datensatz der beobachteten Luftdruckfelder jener Tag bestimmt, dessen EOF Koeffizienten denen des betrachteten (beobachteten oder modellierten) Tages am nächsten kommen. Dieser Tag ist dann das “Analog” des betrachteten Tages.

Zu Verifikationszwecken wird die Statistik (Verteilungen der Mengen und Interarrival Zeiten) der in-situ beobachteten und der “zugewiesenen” Niederschläge verglichen.

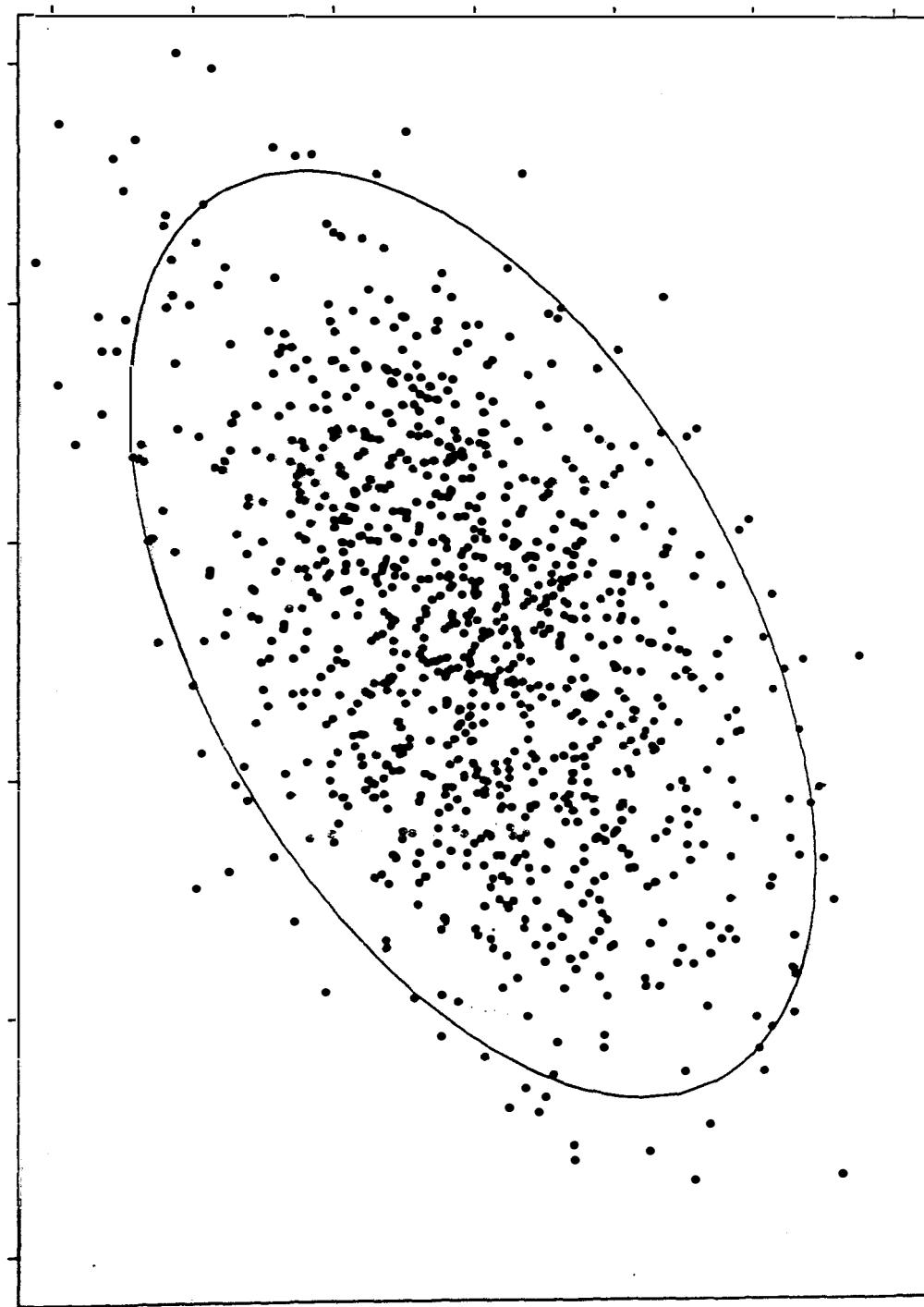
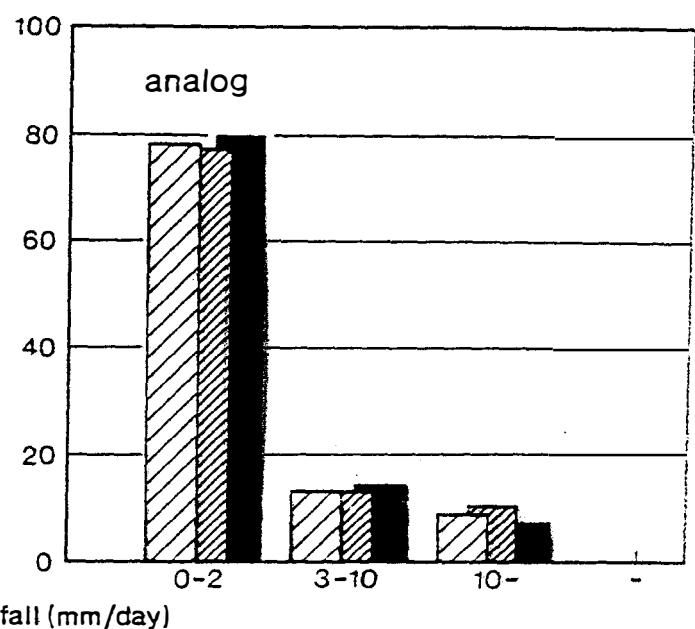
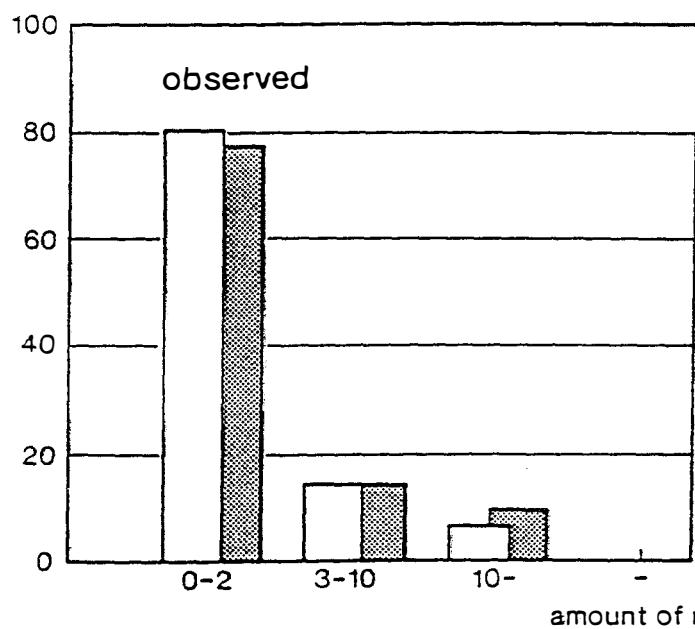


Fig 11.6

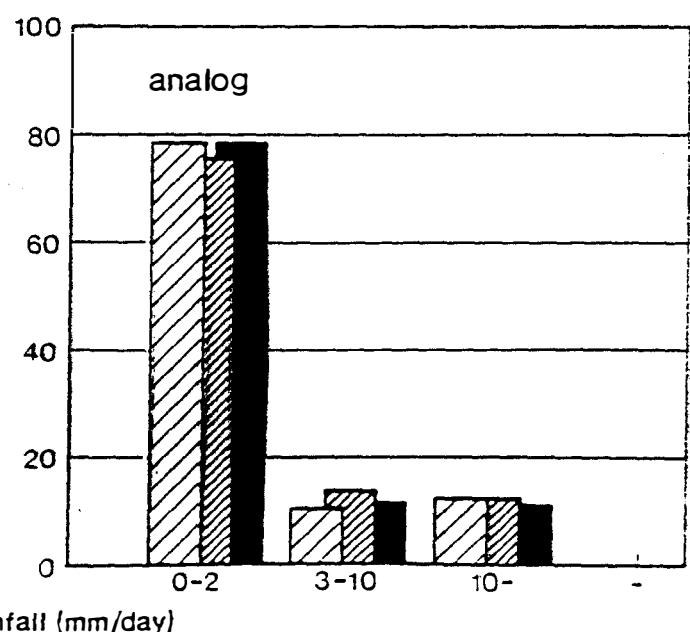
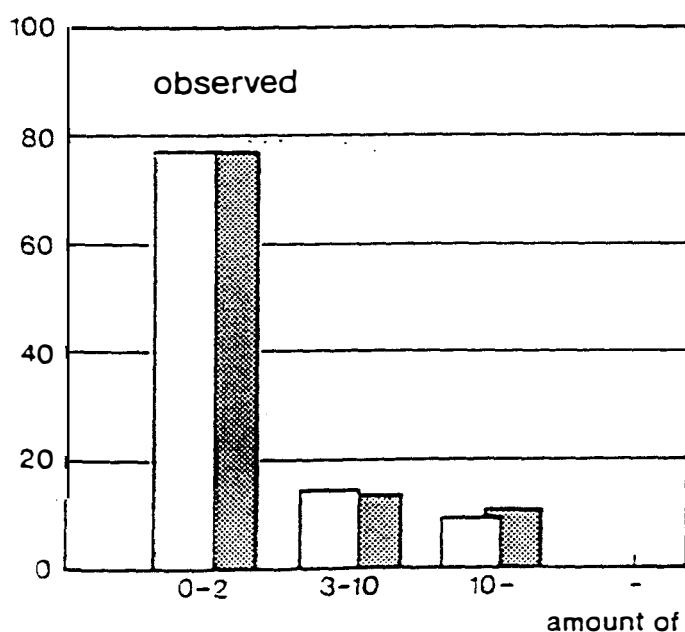
Zeritov et al
Inteching Lie ...

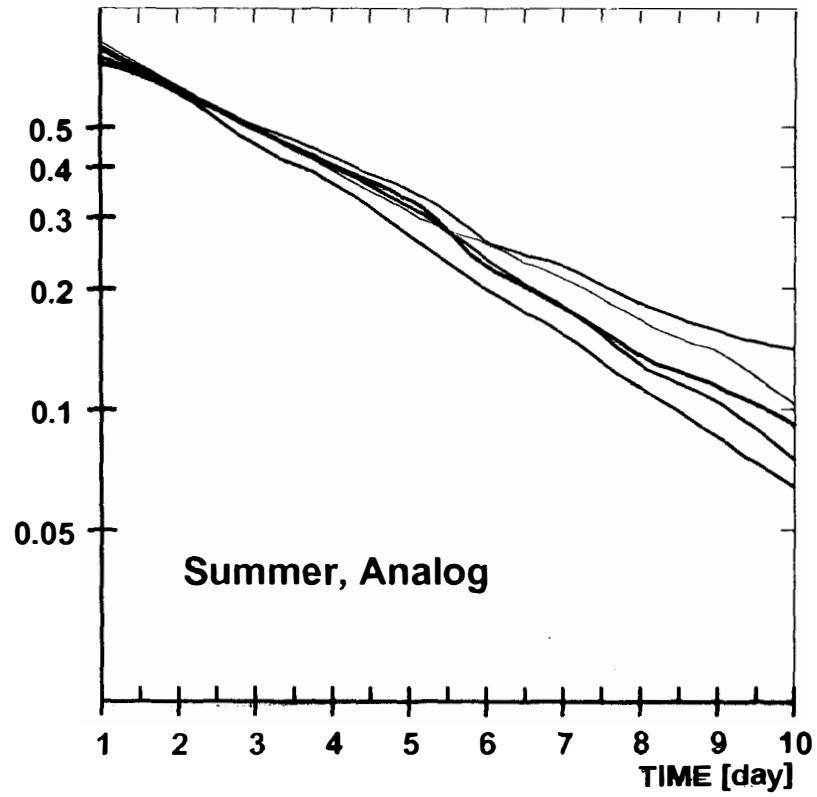
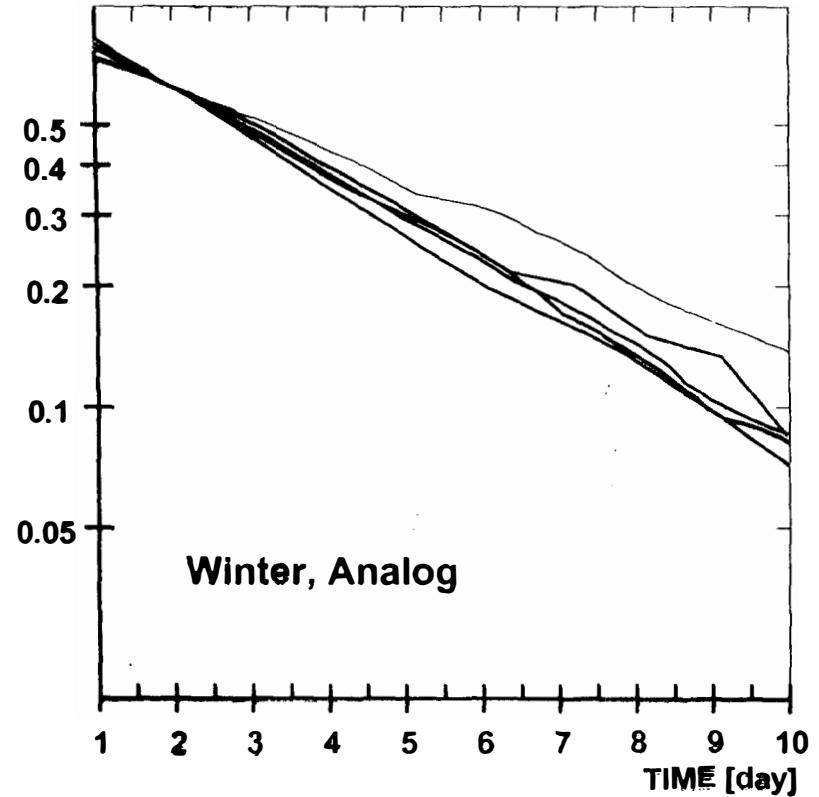
in-situ GFDL
analog (obs) MPI
2*CO₂

HIGHTSTOWN, DJF



HIGHTSTOWN, JJA





- observed (CNHC)
- in situ
- MPI 1 \times CO₂
- GFDL 1 \times CO₂
- MPI 2 \times CO₂

025HVSPr.ds4
(033EDZc)

Hightstown

Example: BALTIC SEA

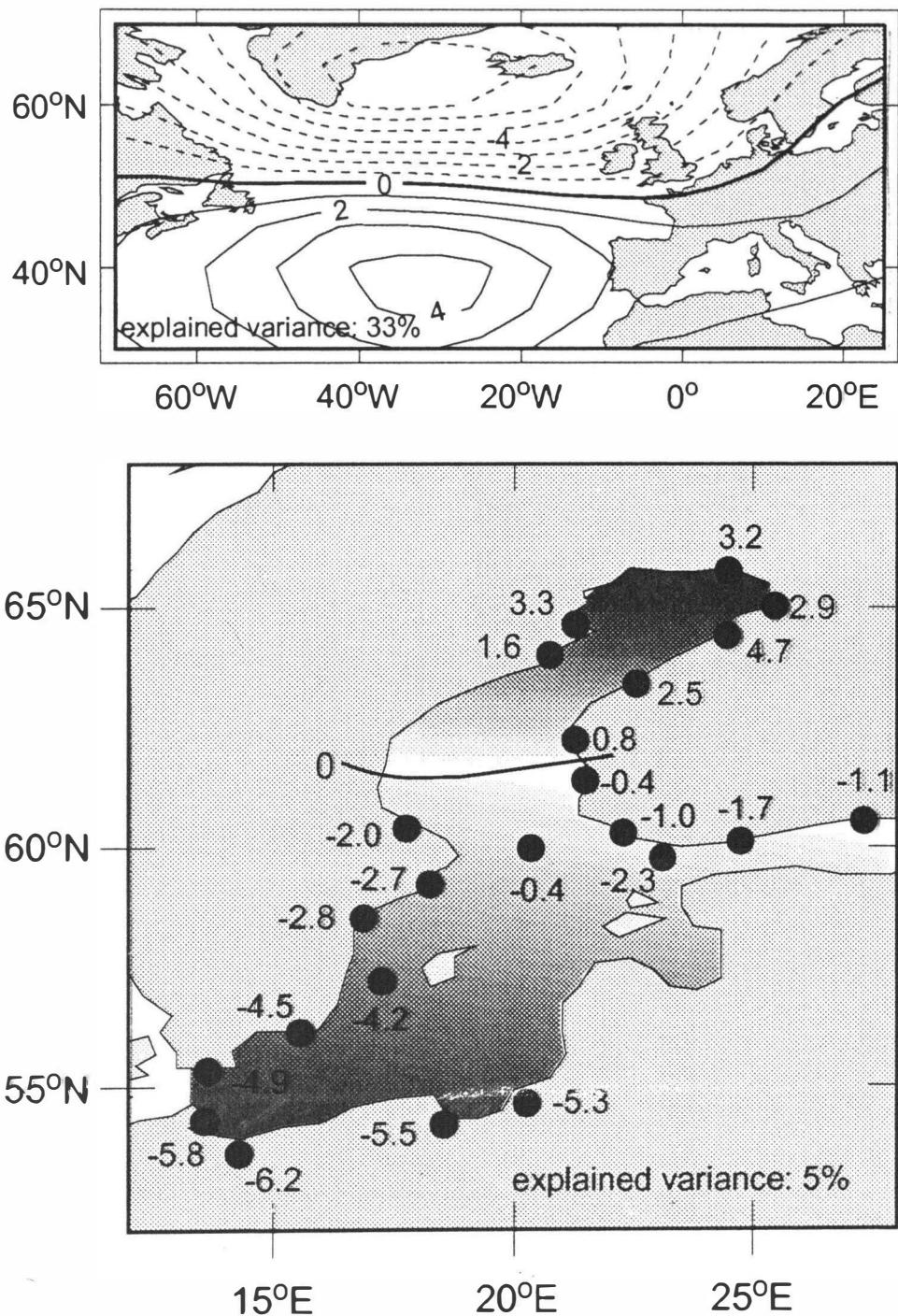
- **Regional Parameter R :**

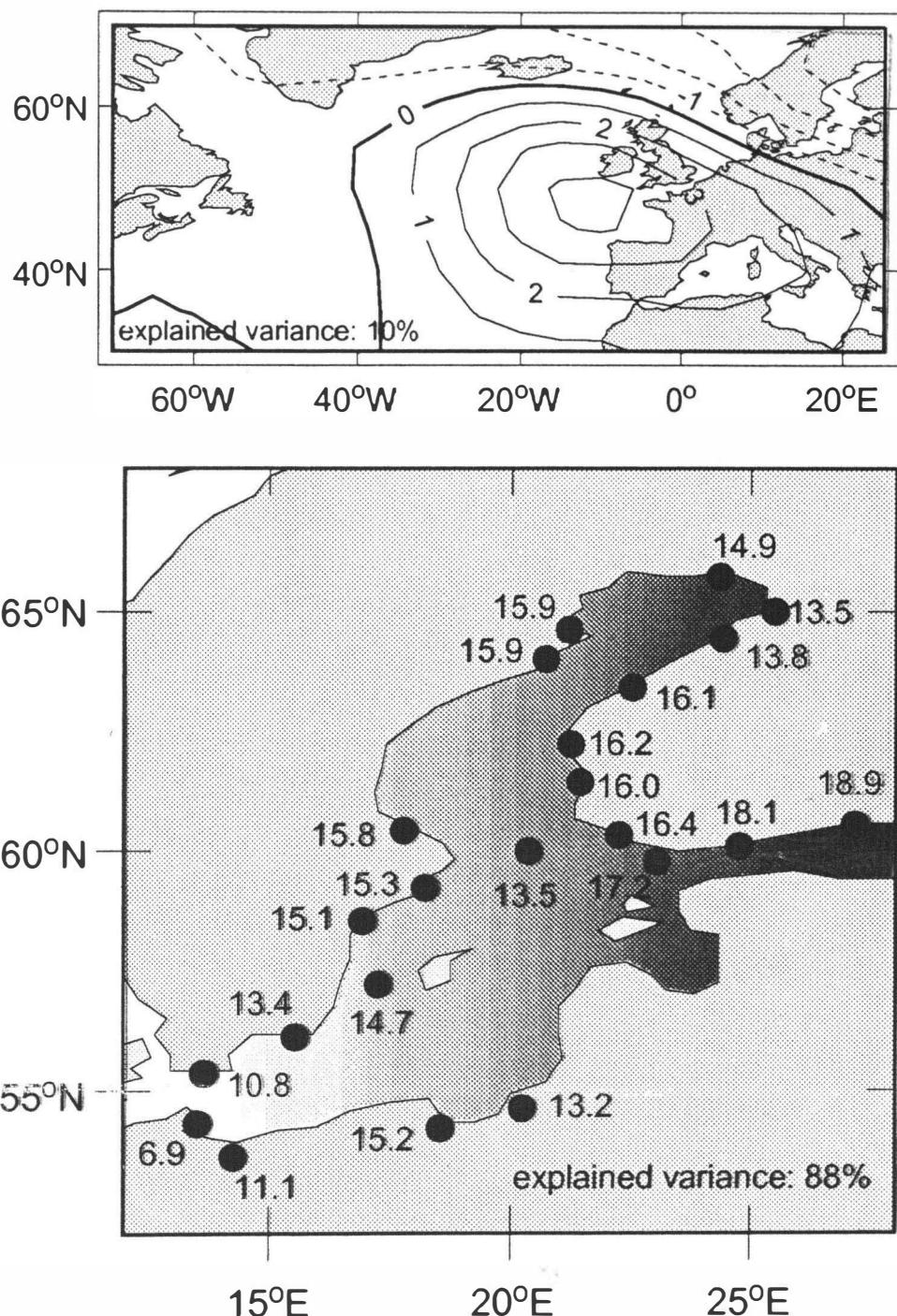
- Sea level at 14 stations along the coast of the Baltic Sea;
- Detrended data (to avoid land sinking/rising signals);
- Mean annual cycle subtracted;
- Seasonal means (DJF) from 1905 - 1972.

- **Large-scale parameter L :**

- North Atlantic sea level pressure $70^{\circ}W - 35^{\circ}E \times 30^{\circ}N - 85^{\circ}N$
- Mean annual cycle and trend subtracted.
- Seasonal means (DJF) from 1905 - 1972

- **Fit of CCA-model** with data from 1951-70.





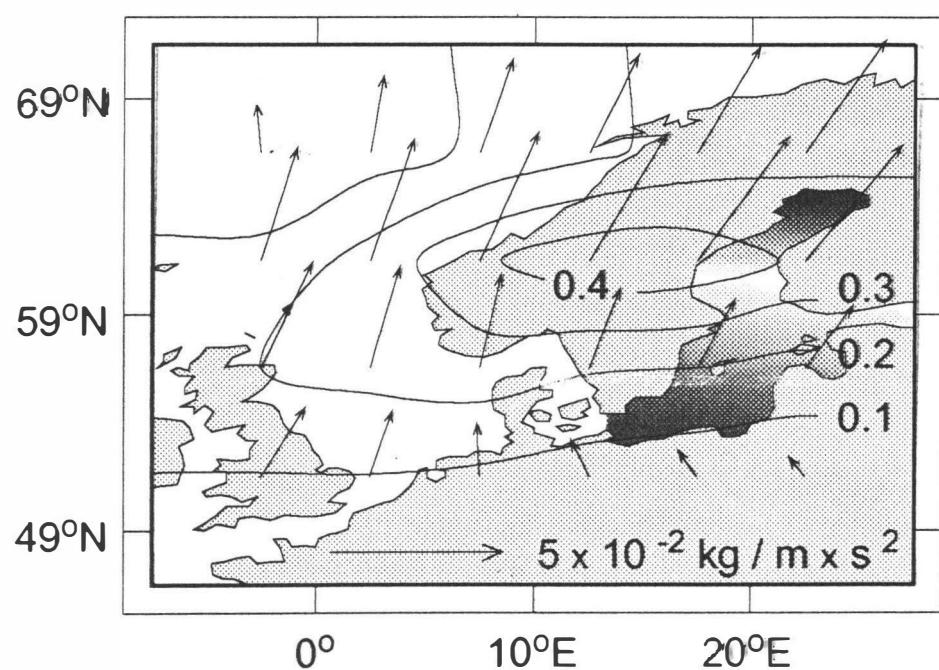
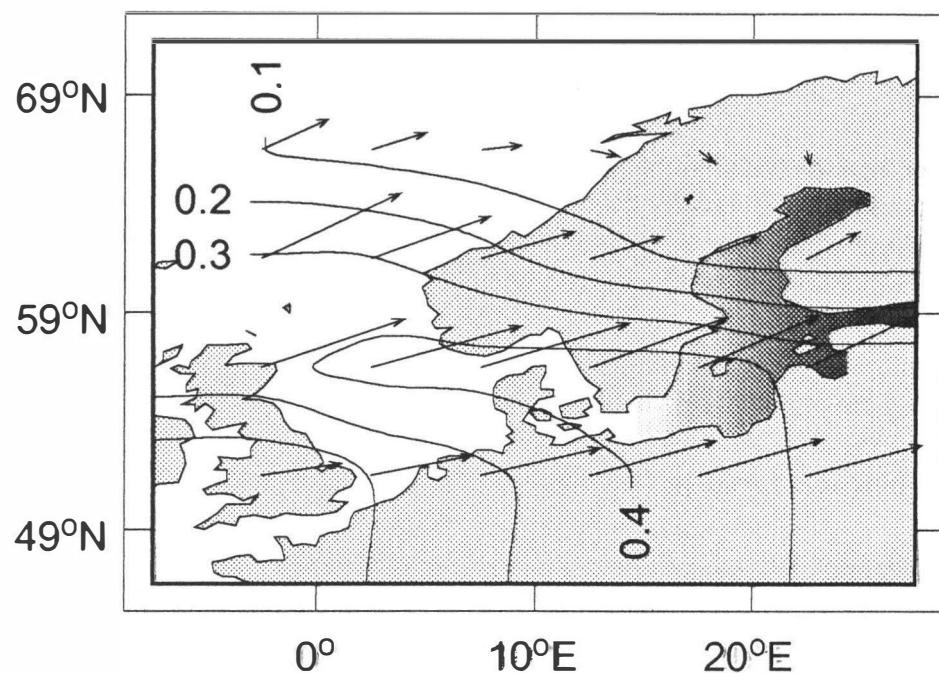
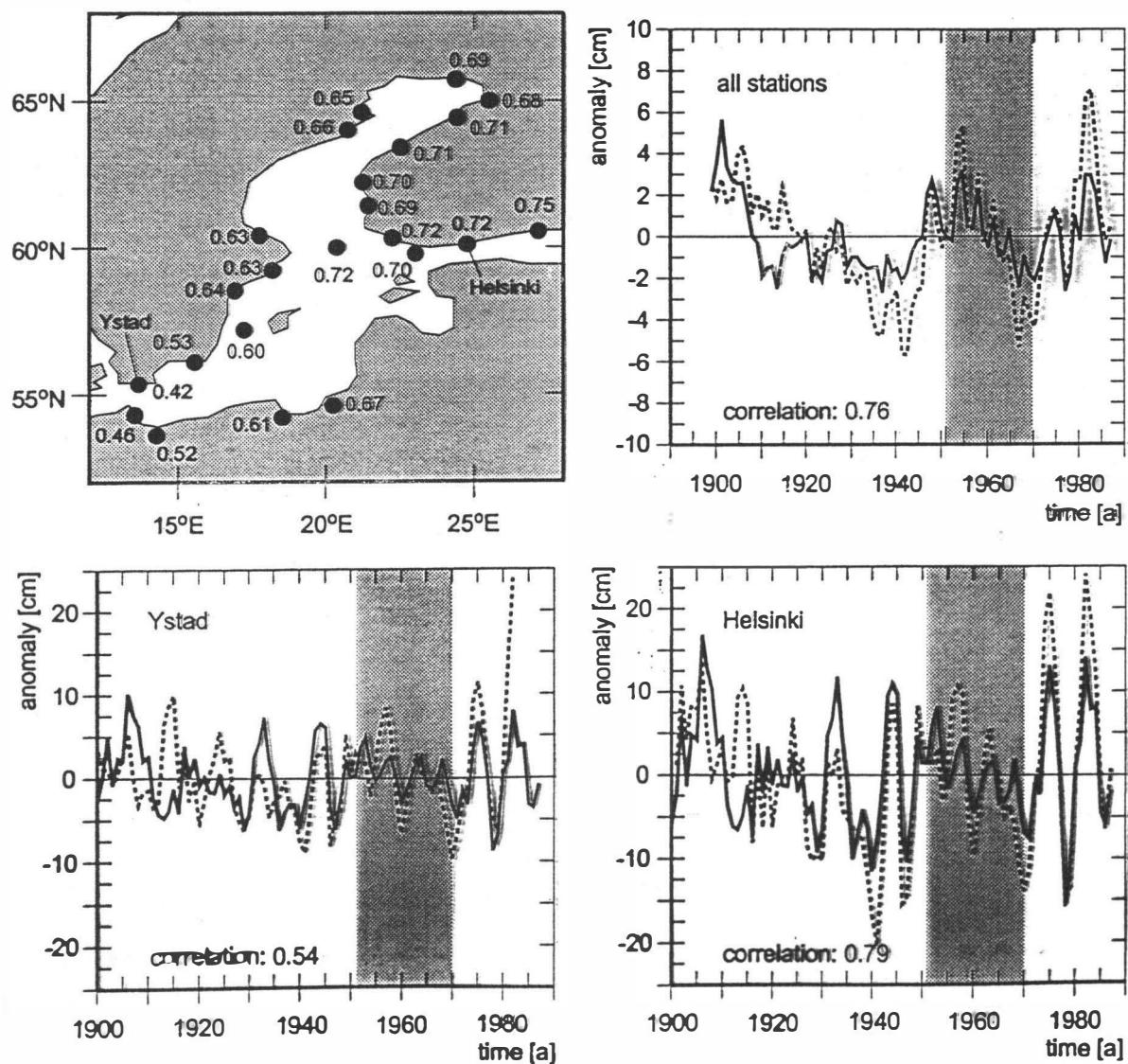


Figure 7: Winter mean sea level variations in the Baltic Sea: Observations vs. reconstructions. The statistical m “downscaling”-model which relates the air-pressure field in the North Atlantic with the local sea level has been built with data from 1951 to 1979 (see stippling) so that all data after 1970 and prior to 1950 represent independent evidence.

Top left: Percentage of winter-to-winter variance explained by the empirical model. Top right: Reconstructed and observed detrended sea level variations averaged over all stations. A 3-year running mean filter has been applied.

Bottom two panels: as the upper right panel, but for the two gauges Ystad and Helsinki. (From Heyen et al., 1995).



Perspektiven

- **Ausbau des Instrumentariums** - insbesondere die Entwicklung von dynamischen Downscaling Modellen:
 - Gekoppelte Ozean-Atmosphäre-Wellenfeld Regionalmodelle für Randmeere (siehe ECAWOM);
 - Entwicklung von meso- und mikroskaligen Modellen, die in einer Hierarchie von atmosphärischen/ozeanischen Modellen eingesetzt werden können;
 - Hydrologische Abflussmodelle für Flüsse (Downscaling von natürlichen Klimaschwankungen?).
- **Erweiterung des Spektrums der Anwendungsprobleme** z.B.
 - Sturmfluten
 - Küstenmorphologie
 - Aquatische Ökosysteme