

# **Sein oder Nichtsein - Der anthropogene Klimawandel ?**

## **1. Das Monitoring Problem**

- Vorhersagen
- Analysieren und ggfs. warnen

## **2. Was ist noch „normal“?**

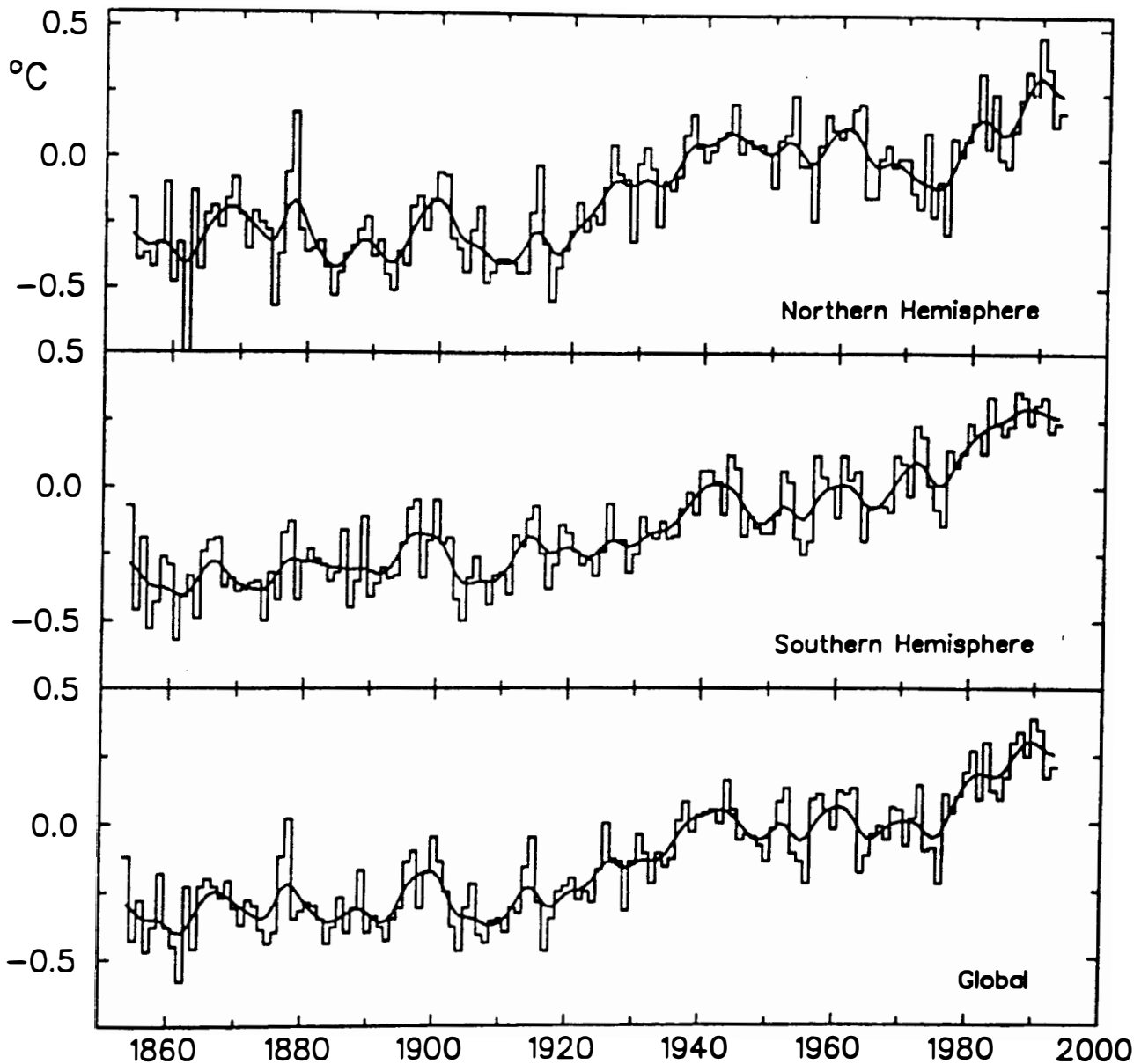
- Das Konzept „statistischer Hypothesentest“
- The Mexikanische Hat
- Mangel an Power

## **3. Der Fall „Global Warming“**

- Das statistische Modell
- Der Fingerprint: Thermodynamische Theorie und realitätsnahe Modelle
- Der Noise-Level: Beobachtung und realitätsnahe Klimamodelle
- Signalverbesserung
- Resultate

## **4. Vorbehalte, Implikationen**

- Anthropogener Klimawandel findet z.Zt. statt.
- Resultat hängt entscheidend von der Güte der eingesetzten realitätsnahen Klimamodelle ab.
- Statistische Signifikanz impliziert nicht gesellschaftliche Signifikanz.



cerned with mean temperature. For past changes, this has resulted from a lack of readily-available databases of monthly mean maximum and minimum temperatures. Recently developed data sets (Karl et al., 1993) have enabled analyses of maximum and minimum temperatures to be made for 37% of the global land mass (encompassing the contiguous United States, Canada, Alaska, the former Soviet Union, China, Japan, the Sudan, South Africa and eastern Australia). The analyses indicate that over the 1952-89 period, minimum temperatures have risen at a rate three times that of maximum temperatures. The reduction in the diurnal temperature range is approximately equal to the temperature increase. The changes are detectable in all of the regions studied in all seasons. With increasing data availability, studies in this area will become increasingly important in the climate change detection issue.

## Statistische Hypothesentests

### Behauptung:

Eine Beobachtung „B“ ist „unnatürlich“.

### Überprüfung:

Vergleich von „B“ mit der Spannweite  $\Theta$  der „natürlichen Schwankungen“.

Wenn „B  $\notin \Theta$ “, dann wird die Behauptung *akzeptiert*.

### Voraussetzungen:

1.  $\Theta$  ist *unabhängig* von B bestimmt worden. (Mexican Hat Problem)

2.  $\text{prob}(N \in \Theta)$  ist bekannt ( $N \in$  „natürliche Schwankungen“)

- Bei Kurzfristereignissen (Schadstoffaustritt bei Störfällen) sind beide Voraussetzungen erfüllt, da die charakteristische Zeit  $\tau$  sehr viel kleiner ist als die Zeit ungestörter Beobachtungen  $T$ :  $\tau \ll T$
- bei längerfristigen Ereignissen (Waldsterben, Wirkung der Eutrophierung der Nordsee, anthropogene Klimaänderungen) sind beide Voraussetzungen verletzt, da  $\tau \approx T$ . Tests, die mit einer Unsicherheit in  $\text{prob}(N \in \Theta)$  operieren können, (z.B. t-Test) haben unbefriedigende Power.

### Lösung der methodischen Probleme beim Fall „ $\tau \approx T$ “:

Ergänzung der tatsächlichen Beobachtungen durch Resultate realitätsnaher Modelle, mit denen die „erwartete unnatürliche Entwicklung“  $B^*$  geschätzt sowie die ungestörte „natürliche“ Variabilität  $\Sigma^*$  über eine lange Zeit  $T^* \gg \tau$  simuliert wird.

Mit Hilfe von  $B^*$  wird die Struktur von  $\Theta$  bestimmt, mit  $\Sigma^*$  die erforderlichen Parameter bestimmt.

Problem: Das realitätsnahe Modell kann falsch sein.

Figure 6.1: Schematic diagrams illustrating the domains for which the null hypothesis " $\vec{x}$  is drawn from  $\vec{X}$ " is accepted. The stippled area represents the non-rejection region  $\Theta(95\%) = \{\vec{x}; f(\vec{x}) \geq \alpha_{95\%}\}$  (a) univariate distribution; (b) bivariate distribution. The points  $\vec{x}'$  are examples of realizations of the sampling process which provide evidence contrary to the null hypothesis whereas the realizations  $\vec{x}''$  are consistent with the null hypothesis. [274]

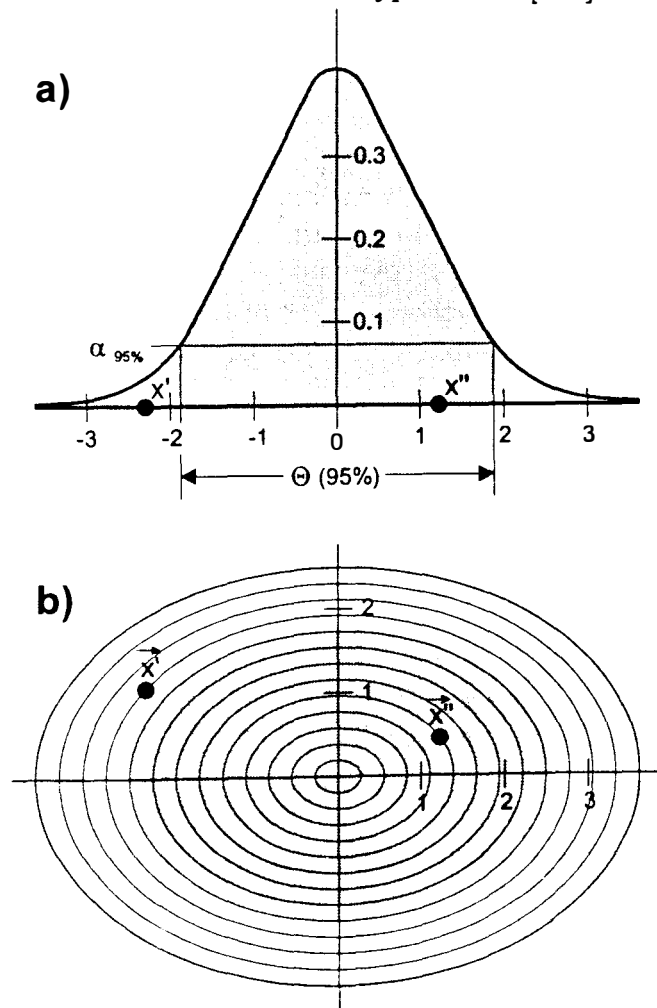


Figure 6.2: Same as Figure ?? but for a one-sided test with the non-rejection region  $\Theta(\bar{p}) = \{\vec{x}; f(\vec{x}) \geq \alpha_{\bar{p}} \text{ and } x_1 \leq 0\}$ .

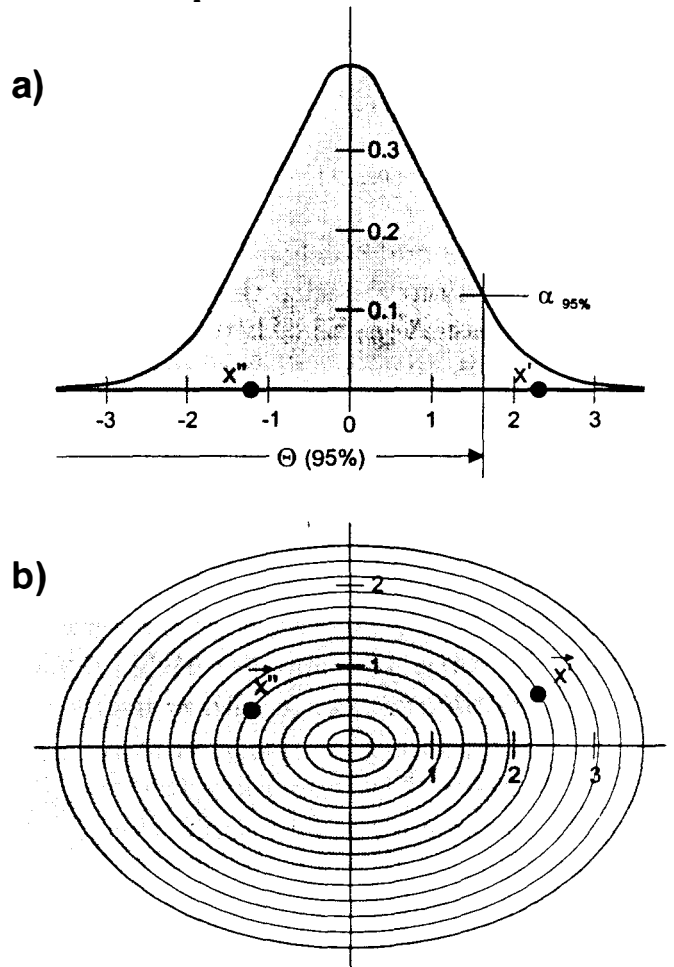
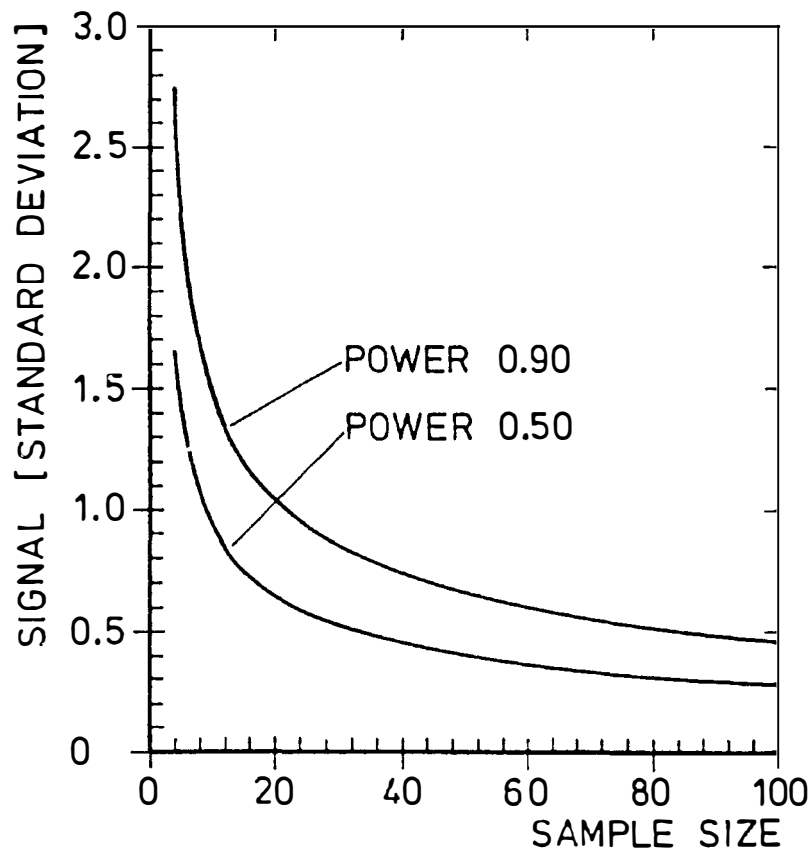
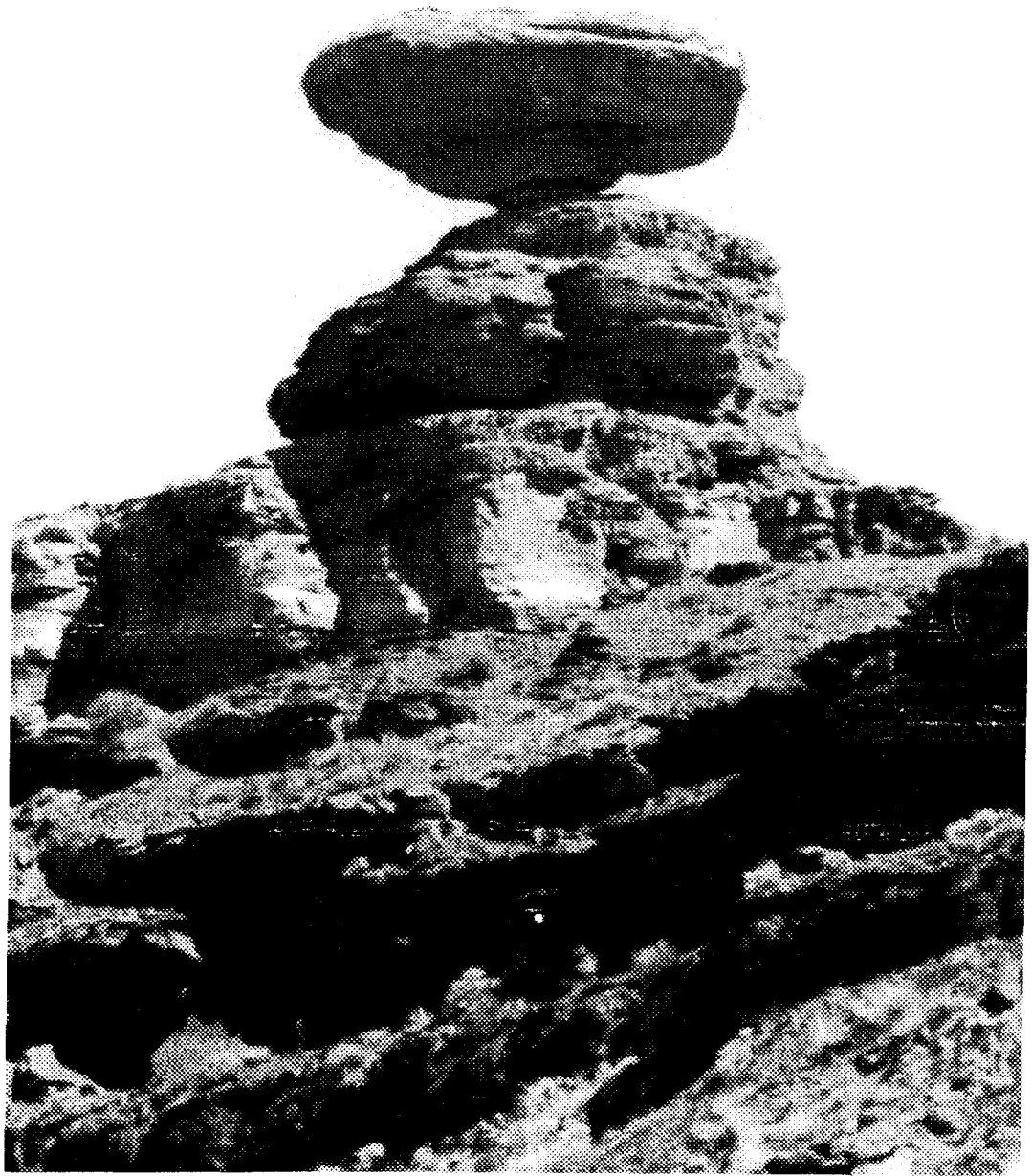
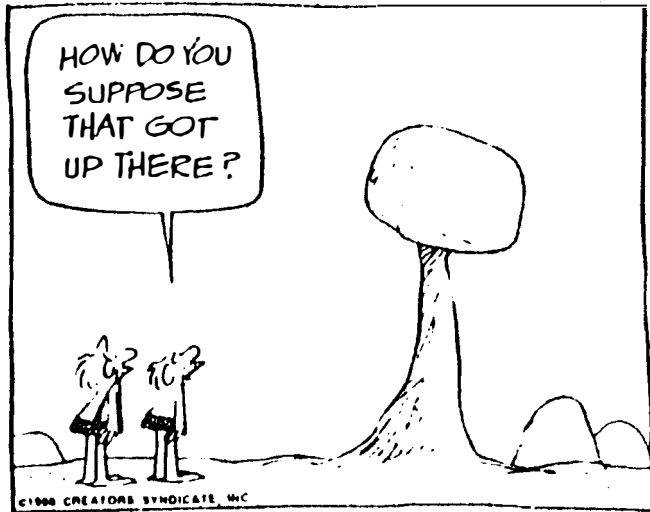


Figure 6.3: Strength of signal  $\delta = \frac{\mu_Y - \mu_X}{\sigma}$  required to reject the null hypothesis  $\mu_Y = \mu_X$  with a significance level  $\alpha = 5\%$  and a power of 50% or 90%, given that the number of realizations of  $\mathbf{X}$  and of  $\mathbf{Y}$  is  $n$ . It is assumed that  $\mathbf{X} \sim \mathcal{N}(\mu_X, \sigma)$  and  $\mathbf{Y} \sim \mathcal{N}(\mu_X, \sigma)$ . [282]







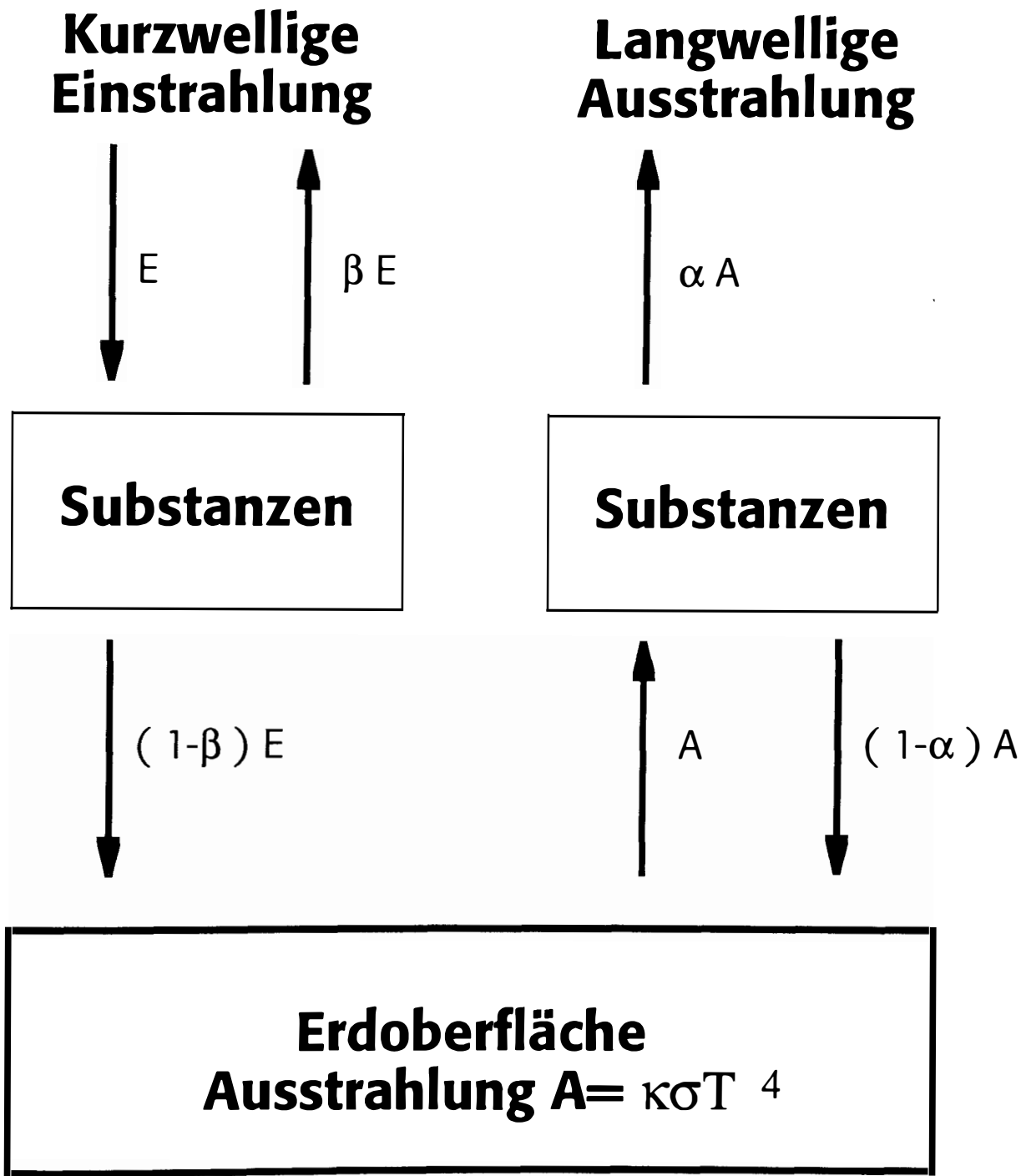
TEN THOUSAND YEARS AGO A PRACTICAL JOKER NAMED OG NOTICED THAT THIS WAS THE ONLY ROCK AROUND. SO HE CHISELED AWAY ALL THE REST OF THE LANDSCAPE.



## Der Fall „Global Warming“

- Treibhausgase und andere atmosphärische Substanzen verändern die „Durchlässigkeit“ der Atmosphäre.
- Die Treibhausgaskonzentrationen haben in den vergangene 100 Jahren systematisch zugenommen aufgrund menschlicher Aktivität, und es ist damit zu rechnen, daß sich dieser Anstieg beschleunigt.
- Thermodynamische Theorie (Arrhenius, 1896) und realitätsnahe Klimamodelle deuten eine Veränderung der bodennahen Lufttemperatur als Folge der erhöhten Treibhausgaskonzentrationen an. Diese Modelle beschreiben eine generelle aber räumlich ungleichmäßige Erwärmung.
- Die global gemittelte bodennahe Lufttemperatur ist seit der Mitte des letzten Jahrhunderts um etwa  $0.7K$  gestiegen. Ein ähnlicher Wert wird von realitätsnahen Klimamodellen als Reaktion des Klimasystems auf die bisherigen Konzentrationserhöhungen errechnet.  
*(Welchen Informationswert hat die letzte Aussage?...Modelle sind „getunt“!)*





Balance erfordert

$$(1-\beta) E = \alpha A$$

Daher, bei reduzierter „Durchlässigkeit“  $\alpha$

$$\alpha \downarrow \Rightarrow A \uparrow \Rightarrow T \uparrow$$

### Behauptung:

Die beobachtete Erwärmung von im Mittel etwa 0.7 K ist zumindest zum Teil auf die erhöhten Treibhausgaskonzentrationen zurückzuführen.

### Statistisches Modell

- Das Klimasystem schwankt aufgrund interner Prozesse auf allen Zeit- und Raumskalen.
- Der Zustand des Klimasystems, in Bezug auf die bodennahe Lufttemperatur, kann durch einen niederdimensionalen Vektor  $\underline{N}$  beschrieben werden, seine Variabilität durch die Kovarianzmatrix  $\Sigma_N$  des Vektorprozesses  $\underline{N}$ .
- Die Erhöhung der Treibhausgaskonzentration  $C$  bewirkt eine Veränderung des Erwartungsvektors  $E(\underline{N}) = E(\underline{N}|C)$ .
- Die zu testende Nullhypothese ist:
$$E(\underline{N}|1 \times \text{CO}_2) = E(\underline{N}|1.3 \times \text{CO}_2).$$
- Es gibt nur eine Stichprobe für „ $\underline{N}|1.3 \times \text{CO}_2$ “, nämlich die Beobachtungen der vergangenen 100 Jahre.
- Für das „Detection Problem“ ist die natürliche Variabilität „noise“, die das Erkennen des „Signals“  $E(\underline{N}|1.3 \times \text{CO}_2) - E(\underline{N}|1 \times \text{CO}_2)$  behindert.

## Realitätsnahe Klimamodelle ...

- ... beschreiben mit komplexen nichtlinearen Differentialgleichungen die Hydro- und Thermodynamik der Atmosphäre, und des Ozeans und stellen die Wirkungen von anderen klimarelevanten Komponenten, wie Meereis, Vegetation etc. in parameterisierter Form dar.
- ... haben sehr viele Freiheitsgrade ( $> 10^6$ ), und erzeugen aufgrund der internen Prozesse Variabilität auf allen Raum- und Zeitskalen.
- ... sind numerische Approximationen und beschreiben daher nur die Variabilität auf aufgelösten Skalen. Vorgänge auf nichtaufgelösten Skalen werden in parameterisierter Form dargestellt. Dazu gehören Prozesse wie Strahlungsabsorption, Wolken etc.

## **Resultate „virtueller Realität“: Fingerprint & Noise-Level**

**Realitätsnahe Klimamodelle (*Zirkulationsmodelle, GCMs*) simulieren**

- **in „Kontroll-Läufen“ über hunderte von simulierten Jahren die natürliche Variabilität des Systems. Aus diesen Simulationen wird der „Noise-Level“  $\Sigma_N$  des Vektorprozesses  $\underline{N}$  abgeschätzt.**
- **in „Szenarien-Rechnungen“ die Antwort des Klimasystems auf veränderte atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen und anderen Substanzen (Aerosole). Aus diesen Rechnungen wird der erwartete Response, der „Fingerprint“  $\Delta$ , abgeleitet.**

## Detection

- Als Vektorprozeß  $\underline{N}$  wählen wir den 20-jährigen Trend der auf wenige Freiheitsgrade reduzierte Verteilung der bodennahen Lufttemperatur.
- Als Teststatistik wird benutzt das „Signal/Rausch Verhältnis in Richtung des erwarteten Signals“:

$$S_{\Delta} = \underline{N}' \Delta / \Delta' \Sigma_N \Delta$$

mit dem vom GCM gelieferten „Fingerprint“  $\Delta$  und der Varianz von  $\underline{N}$  in Richtung von  $\Delta$  im Nenner.

- Das Signal/Rauschen Verhältnis  $S_{\Delta}$  kann erhöht werden durch Wahl eines „optimierten“ Fingerprint, nämlich

$$\Delta_o = \Sigma_N^{-1} \Delta$$

## Ergebnis

- Die zuletzt beobachteten 20-jährigen Trends der bodennahen Lufttemperatur sind, in Bezug auf Muster und Stärke, inkonsistent mit der Nullhypothese natürlicher Variabilität.
- Das Risiko dieser Aussage ist 5%, sofern unsere mit Klimamodellen gewonnenen Hilfsdaten über die natürliche Klimavariabilität realitätsnah sind.
- Aus der „Inkonsistenz“ bzw. „Signifikanz“ schließen wir, daß die von den Klimamodellen abgeleiteten globalen Szenarien realitätsnah sind. Wir erwarten daher einen sich beschleunigenden Erwärmungstrend in den kommenden Jahrzehnten. Diesem Trend sind weiterhin die natürlichen Klimaschwankungen überlagert.
- Aus dem Nachweis einer anthropogenen Klimaänderung ergibt die Notwendigkeit für Bestimmung regionalen Details des erwarteten Klimawandels und deren Bedeutung für Gesellschaft und Natur.
- Der Nachweis hilft nicht bei der Bewertung der gesellschaftlichen Signifikanz von anthropogenem Klimawandel.