

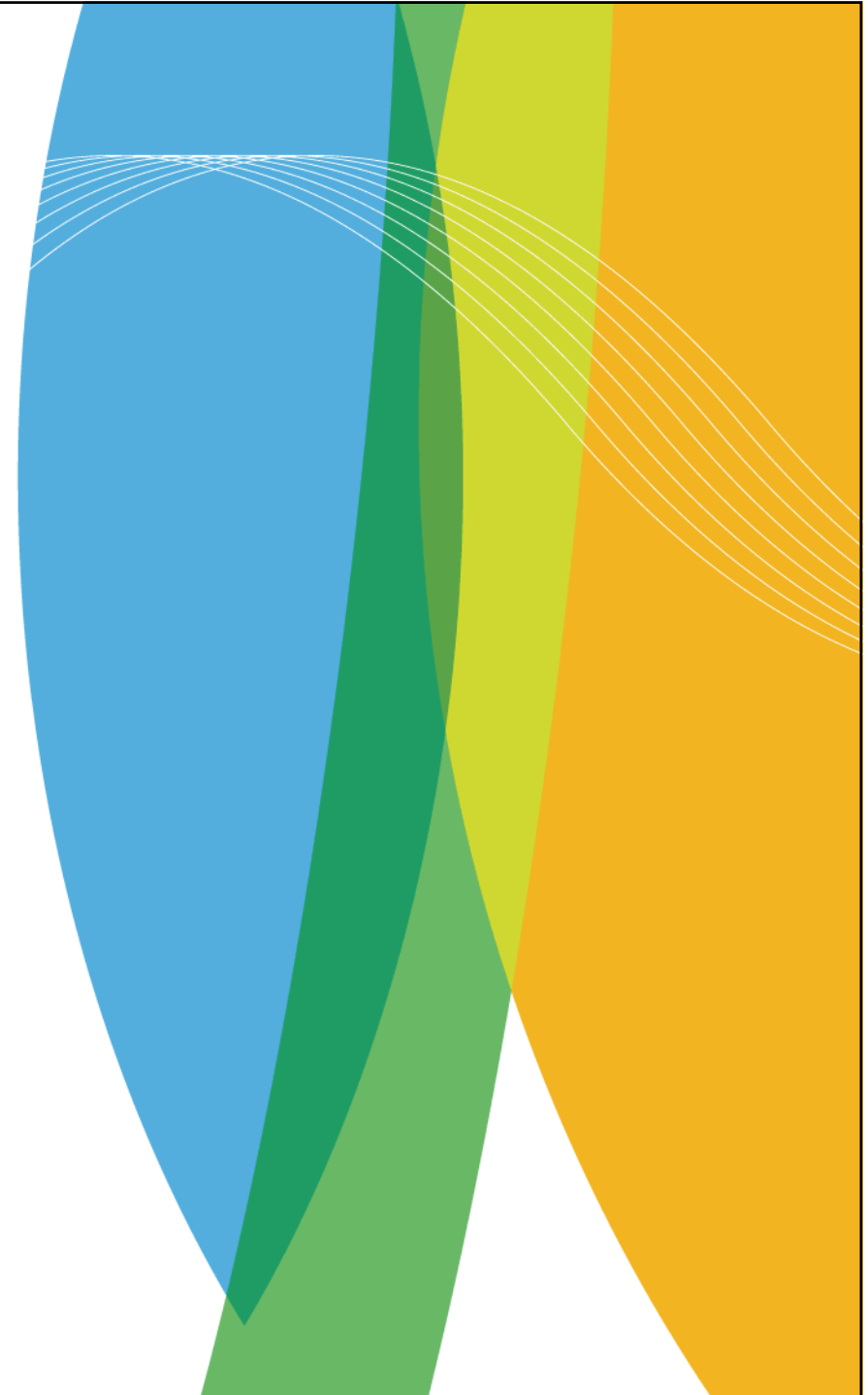


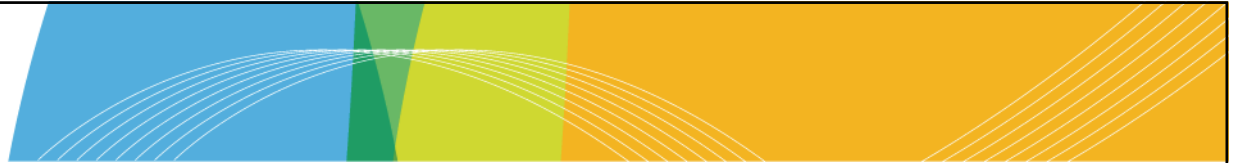
ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

# Mittauksiin perustuvien pitkien lämpötila- aikasarjojen laadinta

**Heikki Tuomenvirta**

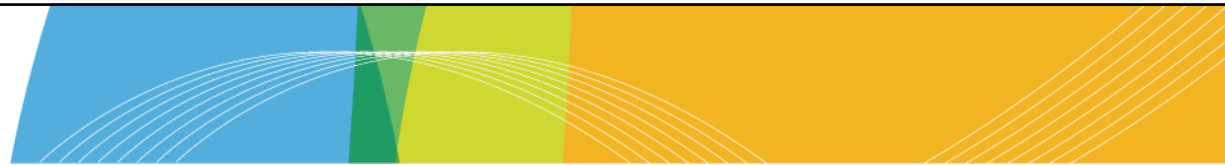
**Ilmatieteen laitos**





## IPCC 4AR SPM: Maapallon keskilämpötila

- Lämpeneminen viimeisten 100 vuoden aikana n. **0.74°C**
- Viimeisten 50 vuoden aikana lämpeneminen on ollut lähes kaksi kertaa nopeampaa, **+0.13 °C/10-vuotta**, kuin sadan vuoden trendi
- Mittausten 1850-2006 **12**:sta lämpimimmästä vuodesta **11** on osunut jaksolle 1995-2006



Dataset	Temperature Trend (°C per decade)		
	1850–2005	1901–2005	1979–2005
<b>Globe</b>			
CRU/UKMO (Brohan et al., 2006)	0.042 ± 0.012 R <sup>2</sup> =57	0.071 ± 0.017 R <sup>2</sup> =74	0.163 ± 0.046 R <sup>2</sup> =67
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.064 ± 0.016 R <sup>2</sup> =71	0.174 ± 0.051 R <sup>2</sup> =72
GISS (Hansen et al., 2001)		0.060 ± 0.014 R <sup>2</sup> =70	0.170 ± 0.047 R <sup>2</sup> =67

**Table 3.3.** Linear trends (°C per decade) in hemispheric and global combined land-surface air temperatures and SST. Annual averages, along with estimates of uncertainties for CRU/UKMO (HadCRUT3), were used to estimate trends. For CRU/UKMO, global annual averages are the simple average of the two hemispheres. For NCDC and GISS the hemispheres are weighted as in Section 3.2.2.1. Trends are estimated and presented as in Table 3.2.  $R^2$  is the squared trend correlation (%). The Durbin Watson D-statistic (not shown) for the residuals, after allowing for first-order serial correlation, never indicated significant positive serial correlation, and plots of the residuals showed virtually no long-range persistence.

## Maapallon keskilämpötila laskeminen (HadCRUT)

- lasketaan asemille poikkeamat 1961-90 keskiarvosta
- hilaruudussa ( $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ ) lasketaan poikkeamista keskiarvo)
- hilaruutujen avulla lasketaan maapallon keskiarvo

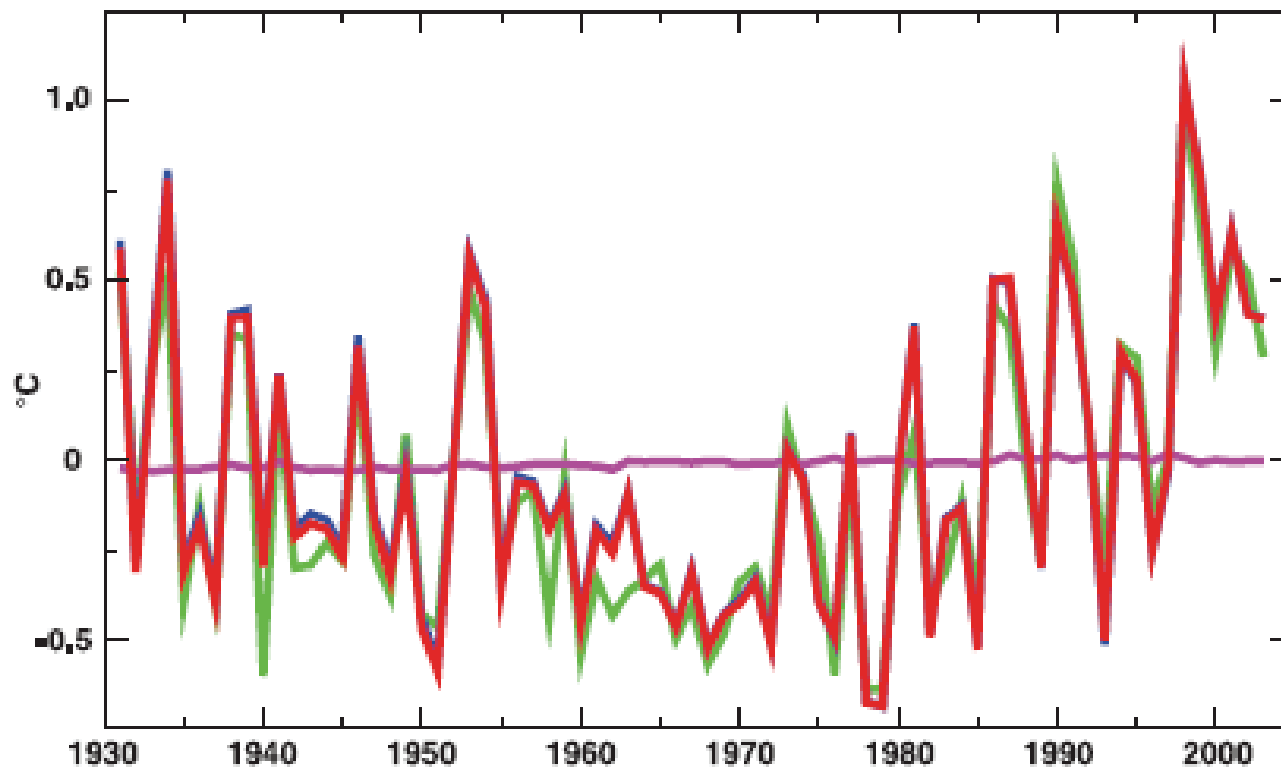
### **mutta entäs...**

- aikasarjat eivät yhtenäisiä
- aineistossa systemaattisia virhelähteitä
- asemien ei ole kaikkialla tasaisesti

# Virhelähteet ja niiden arviointi

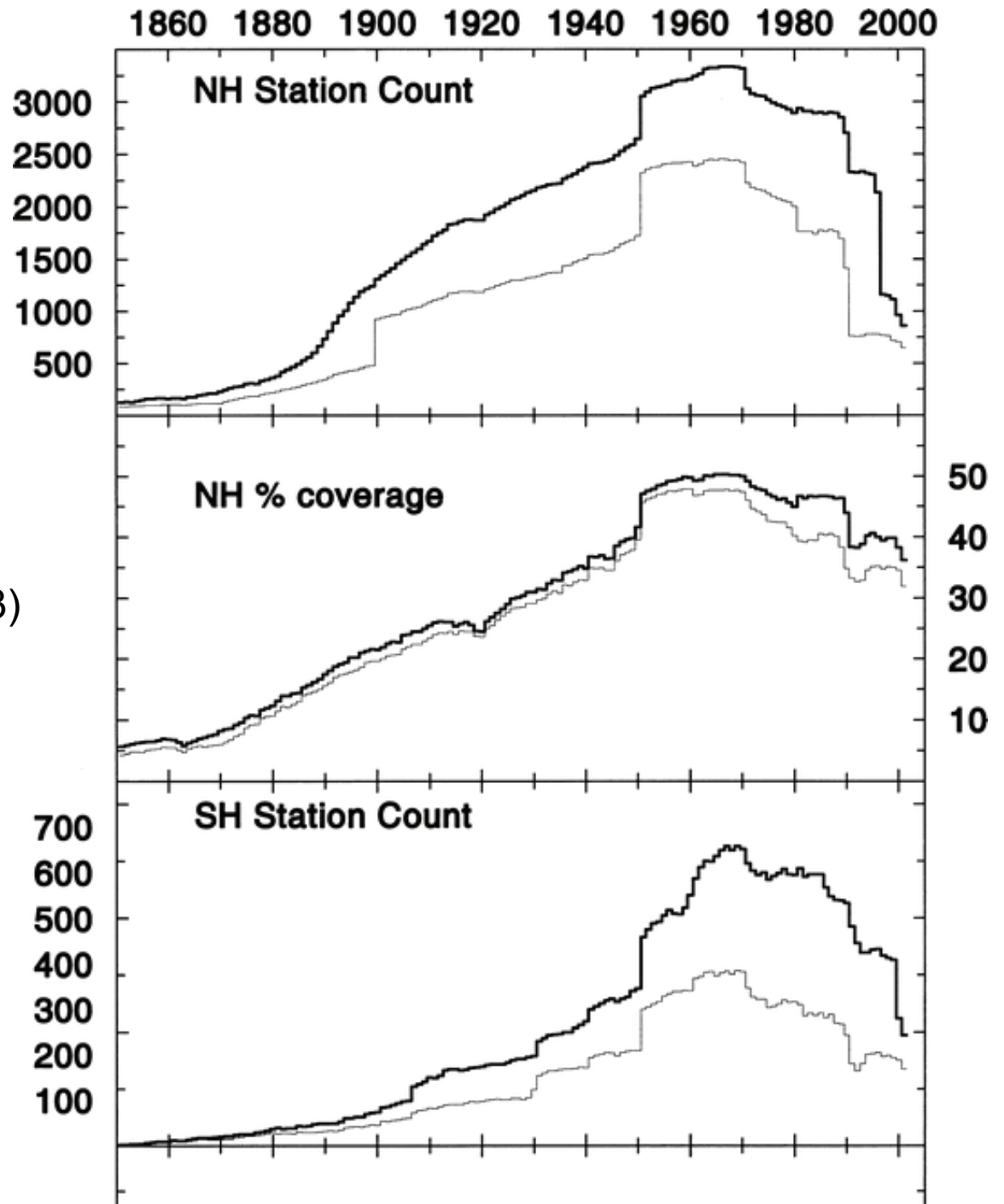
## (Brohan et al. 2006)

- **asemakohtainen virhe**
  - mittausvirhe  $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $0.2/\sqrt{60}=0.03$  uncorrelated)
  - homogeenisuus virhe
  - normaalin virhe (hajonta/  $1/\sqrt{N}$ )
- **sampling error** (otantavirhe?)
  - asemien lkm
  - asemien sijainti hilaruudussa
  - lämpötilan hajonta
- **harha (bias error)**
  - kaupungistuminen ( $0.0055 \text{ } ^\circ\text{C}/10\text{-v.}$ )
  - mittarisuojauksen muutos ( $0.1\text{-}0.2 \text{ } ^\circ\text{C}/10\text{-v.}$ , tropiikki, 1900-1930/50)



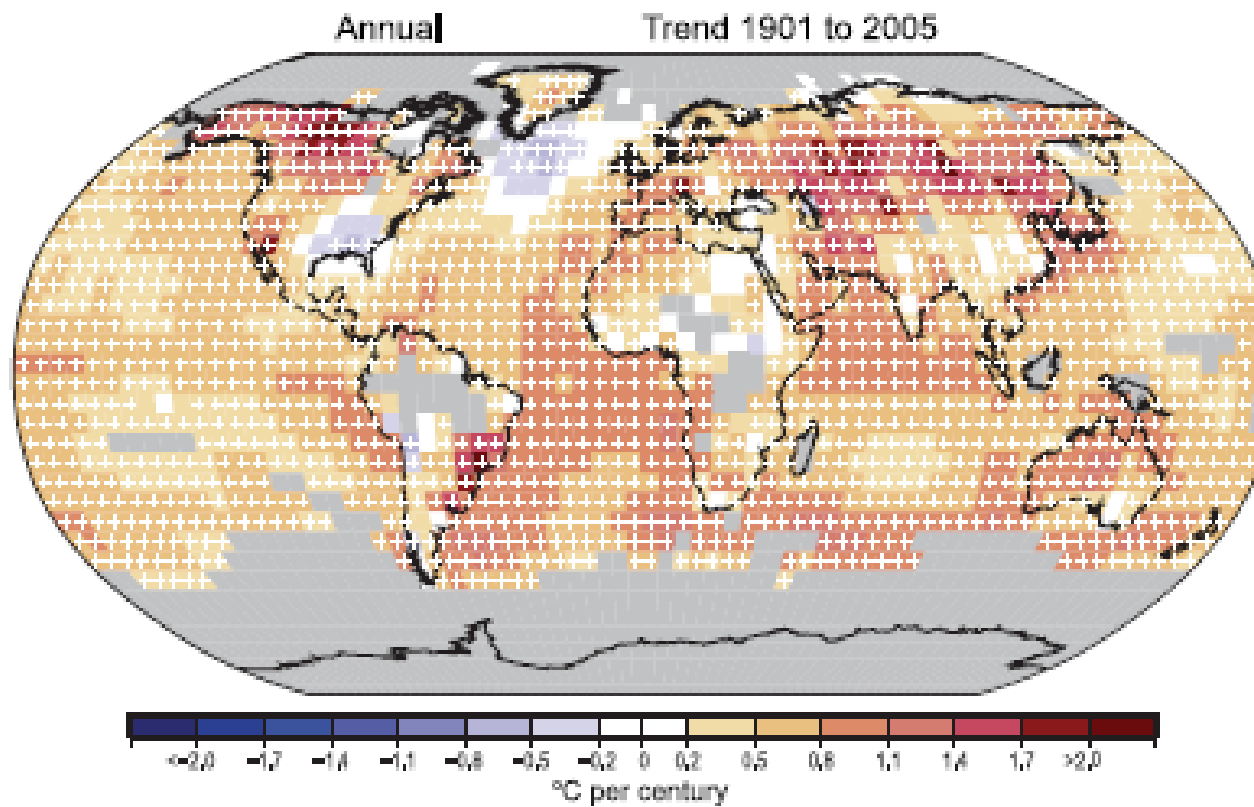
**Figure 3.3.** Anomaly ( $^{\circ}\text{C}$ ) time series relative to the 1961 to 1990 mean of the full US Historical Climatology Network (USHCN) data (red), the USHCN data without the 16% of the stations with populations of over 30,000 within 6 km in the year 2000 (blue), and the 16% of the stations with populations over 30,000 (green). The full USHCN set minus the set without the urban stations is shown in magenta. Both the full data set and the data set without the high-population stations had stations in all of the  $2.5^{\circ}$  latitude by  $3.5^{\circ}$  longitude grid boxes during the entire period plotted, but the subset of high-population stations only had data in 56% of these grid boxes. Adapted from Peterson and Owen (2005).

Jones and Moberg (2003)

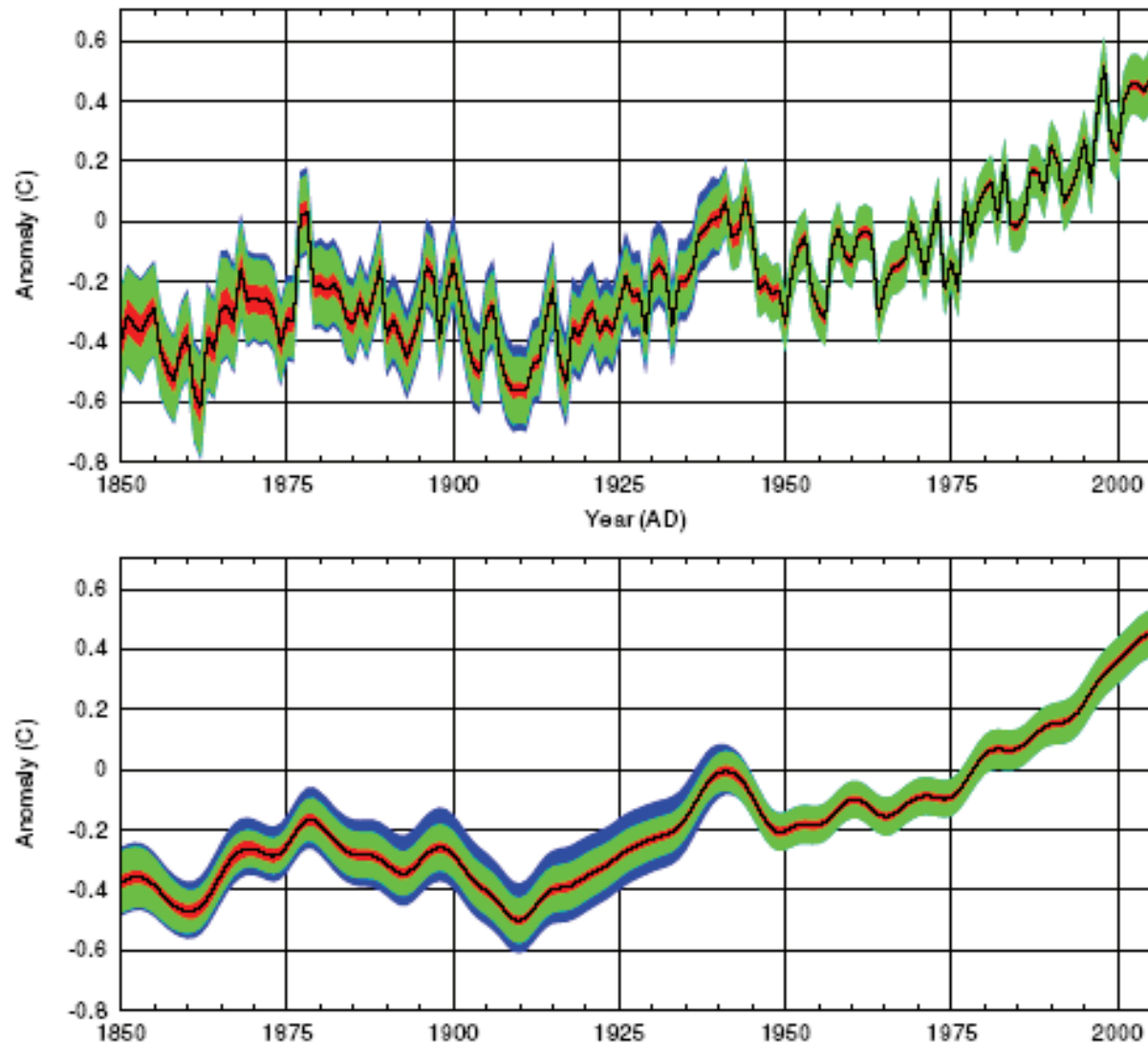


## Yhdistäminen merialueisiin (Brohan et al. 2006)

- **SST** sea surface temperature
  - ei asemia
  - poijuja, laivoja (GISS: lisäksi satelliitit)
- **samantapainen virhearvio kuin maa-alueille**
- **maa ja merialueet yhdistetään**
  - minimoidaan epätarkuus hilaruuduissa joissa maata ja merta
- **varianssin korjaus** (vaihteleva määrä havaintoja/asemia)



**Mittauksia ei kaikkialta (error due to limited coverage)**



**HadCRUT3 global temperature anomaly time-series (C) annual (top), and smoothed annual (bottom) resolutions. The solid black line is the best estimate value, the red band gives the 95% uncertainty range caused by station, sampling and measurement errors; the green band adds the 95% error range due to limited coverage; and the blue band adds the 95% error range due to bias errors.**



# Suomalaisten keskilämpötilan sarjojen homogeenisuuden testaustulokset



# Luotettavia, homogeenisia ilmasto- sarjoja tarvitaan muun muassa ...

**ilmaston vaihteluiden ja muutoksen tutkimukseen**  
(Maapallon keskilämpötila, seuranta, mallien kehitys, ym.)

**erilaisten fysikaalisten ja biologisten prosessien  
ymmärtämiseen ja mallittamiseen**  
(roudan jakauma, metsän kasvu, ym.)

**paleoaineistojen ilmastolliseen tulkintaan**  
(kerrostuneet järvisedimentit, puulustot, ym.)

**suunnittelun tukena (ääritilanteet)**  
(rakentaminen, liikenneväylät, energian jakelu, ym.)

# Ongelmia mittaussarjojen yhtenäisyydessä ...

- Havaintopaikan ympäristön muutokset
- Havaintopaikan sijainnin muutokset
- Havaintomenetelmien muutokset
- Havainnontekijän vaihdokset
- Havaintoaineiston käsittelyn muutokset

**METADATA**  
= havaintoaineistoa koskeva tieto, mittareista, mittauspaikasta, mittausmenetelmästä, havaintoaineiston käsittelystä jne.

# Standard Normal Homogeneity Test

(Alexandersson 1986; Alexandersson & Moberg 1997)

SNHT:n lähtöoletus on, että testattavan aseman ja referenssiaseman välinen suhde/erotus,  $Q$ , säilyy lähes vakiona. Testattavan ja referenssiaseman välinen korrelaatio täytyy olla erittäin merkittävä. Epähomogeenisuus ilmenee systemaattisena muutoksena suhteessa/erotuksessa,  $Q$ .

SNHT käyttää suhteiden/erotusten normalisoitua sarjaa,  $Z_i$

$$Z_i = (Q_i - \bar{Q}) / \sigma_Q$$

AIKA-ASKEL

OTOKSEN KESKIARVO

OTOKSEN KESKIHAJONTA

Oletetaan, että  $Z$  seuraa normaalijakumaa,  $N$ . SNHT:n nollahypoteesi on

$$H_0 : Z_i \in N(0,1) \quad i \in \{1, \dots, n\}$$

# SNHT

(Alexandersson 1986; Alexandersson & Moberg 1997)

Vaihtoehtoinen hypoteesi on, että sarja on epähomogeeninen. Esimerkiksi testataan hypoteesi, että sarja sisältää yhden äkillisen muutoksen (single shift)

KESKIVARVO AIKA-ASKELEESEEN  $a$

$$H_1 : \begin{cases} Z_i \in N(\mu_1, 1) & i \in \{1, \dots, a\} \\ Z_i \in N(\mu_2, 1) & i \in \{a+1, \dots, n\} \end{cases}$$

SARJAN LOPPUOSAN KESKIVARVO  $(a+1, n)$

Etsitään testisuureen  $T$  maksimiarvo. Testistä ilmenee epäjatkuuuden ajankohta, suuruus ja sen tilastollinen merkitsevyys.

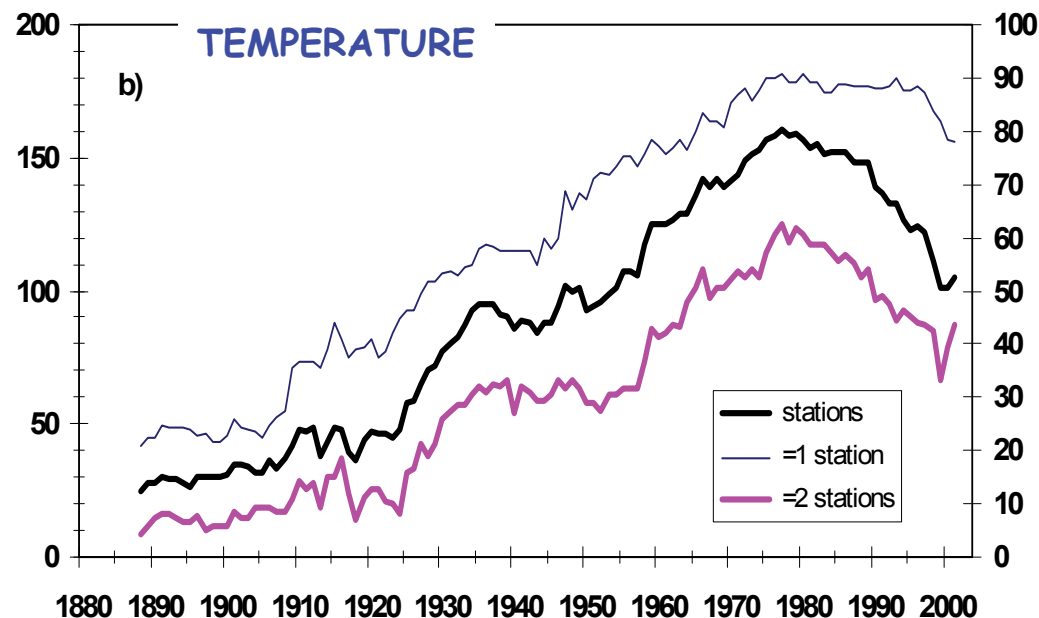
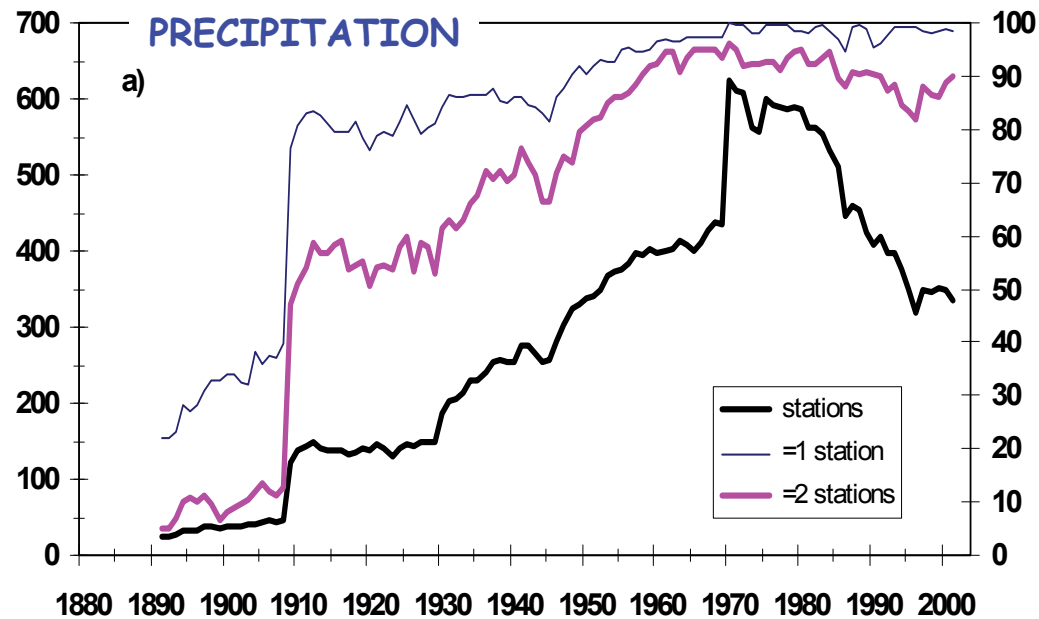
## RELATIVE HOMOGENEITY



# Kaava- ja mittarimuutokset Suomen mittausverkostossa (Heino 1994)

Vuorokauden keskilämpötilan laskukaava vaihdokset mm.

VUOSI	VUODEN KESKILÄMPÖTILAN KORJAUS
1880	(+0.05 ... +0.07 °C)
1900	(-0.19 ... -0.37 °C)
1926	(-0.14 ... -0.21 °C)



Suomen keskiarvon laskennassa käytettyjen asemien lukumäärä (paksu musta viiva, vasen akseli), LPNN-hilan peittävyys prosenteissa hilaruudut joissa vähintään 1 asema (thin black line, oikea akseli) ja vähintään 2 asemaa (paksu lila viiva, oikea akseli):

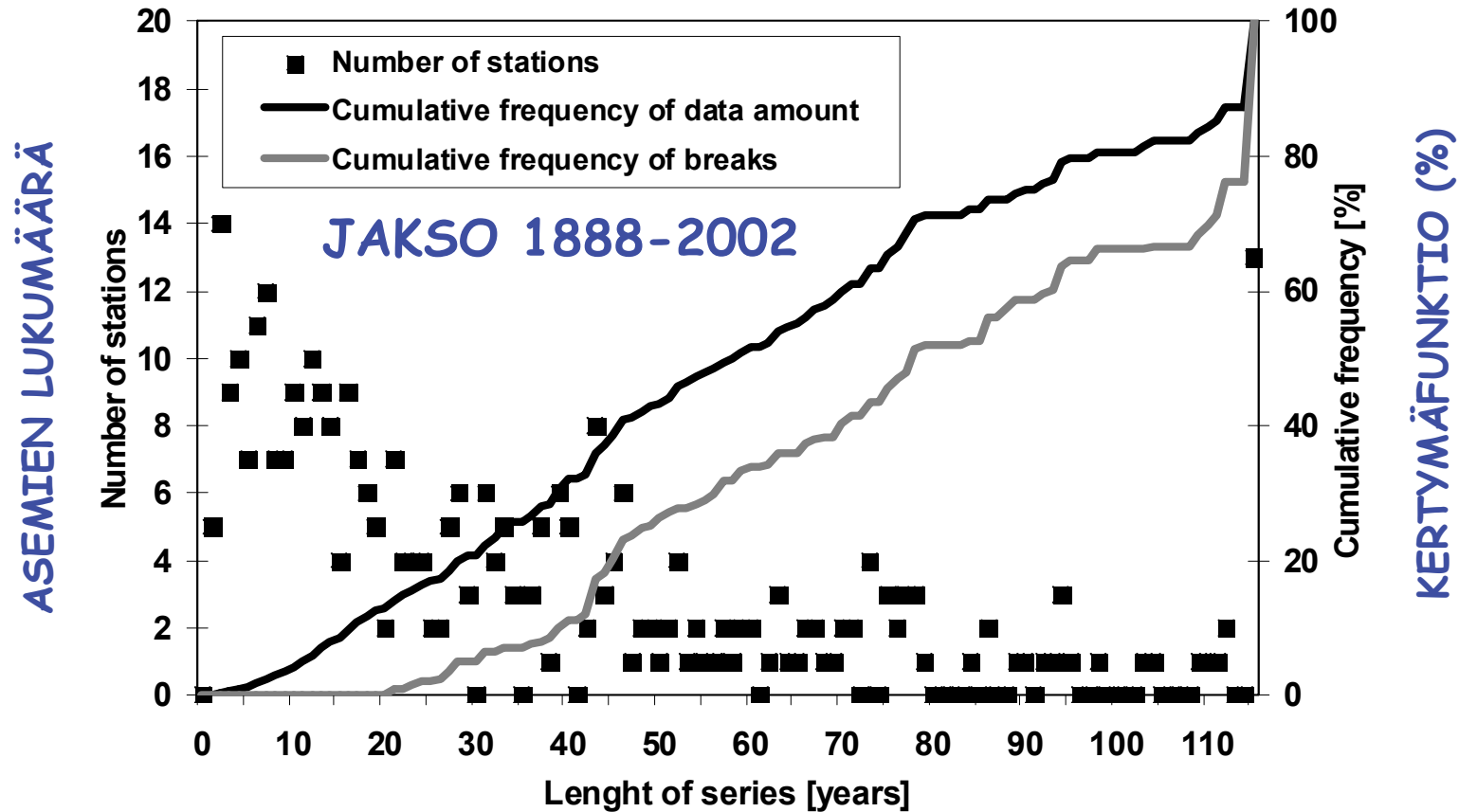
a) vuoden sadesumma, 1894-2001

b) vuoden keskilämpötila, 1888-2001.

# Suomen keskilämpötilasarjojen homogeenisuuden testaus ja korjaukset

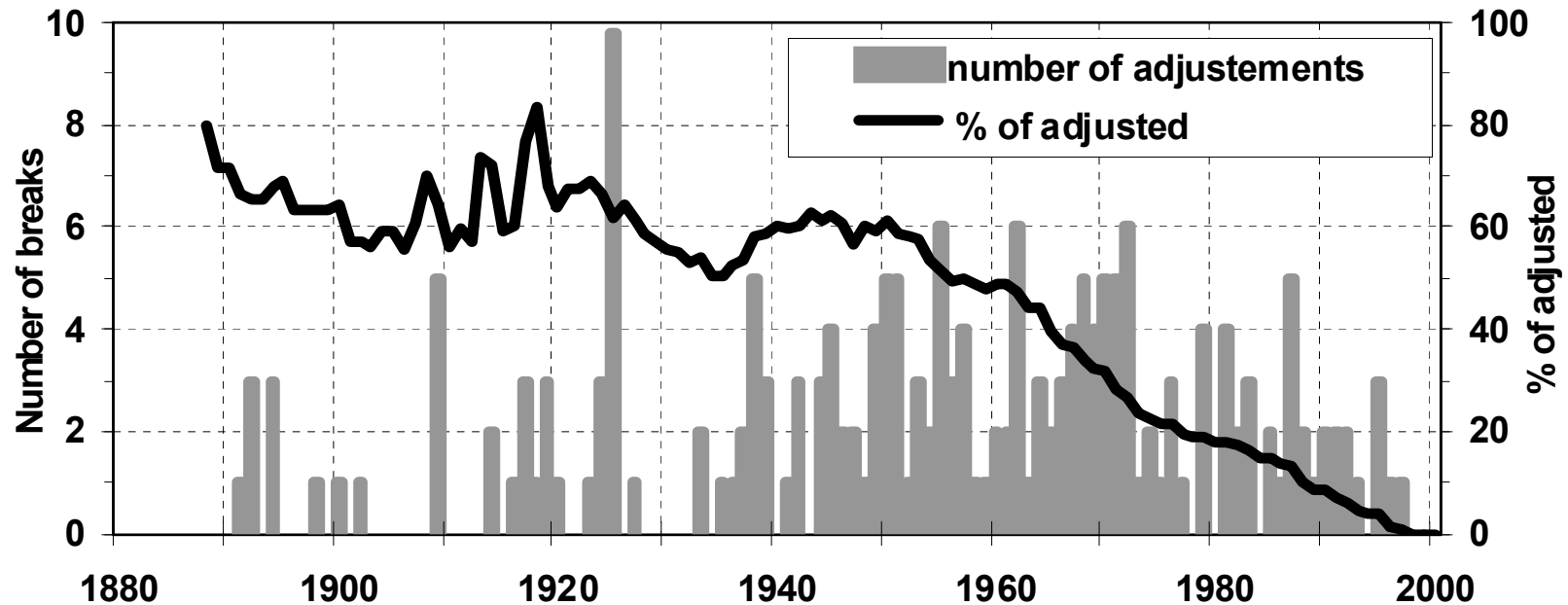
## Käytettiin SNHT menetelmää

- testattiin vuodenaikojen lämpötiloja (3-kk ka.)
- korjaukset kk-lämpötiloihin
- epäjatkuvuuksien syitä ei etsitty
- aikajakso 1847-2001
- lähes 300 asemaa (=sarjaa) vrt. **n.10-30 glob**
- >200 epäjatkuvuutta hieman yli 100 asemalla



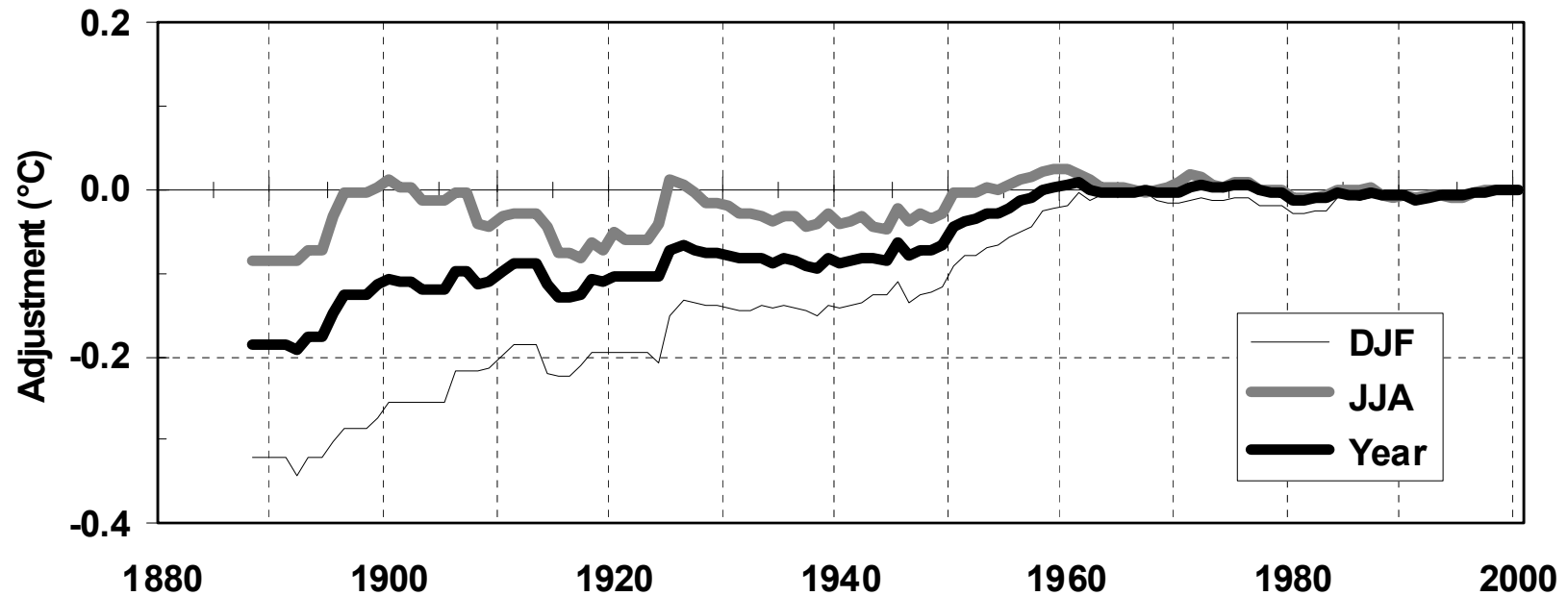
Lämpötilasarjojen lukumäärä sarjan pituuden funktiona (vasen akseli). Käyrät ovat kertymäfunktioita (oikea akseli): mustalla datan määrä (eli asemien lkm kertaa sarjan pituus) ja harmaalla epäjatkuvuudet. Data on jaksolta 1888-2002.

EPÄJATKUVUUKSIEN LKM



KORJATTUJEN OSUUS (%)

Löydettyjen homogeenisuuden epäjatkuuksien lukumäärä vuosittain (pylväät, vasen akseli). Käyrä (oikea akseli) näyttää, kuinka monta prosenttia sarjoista on korjattu. Data on jaksolta 1888-2000.

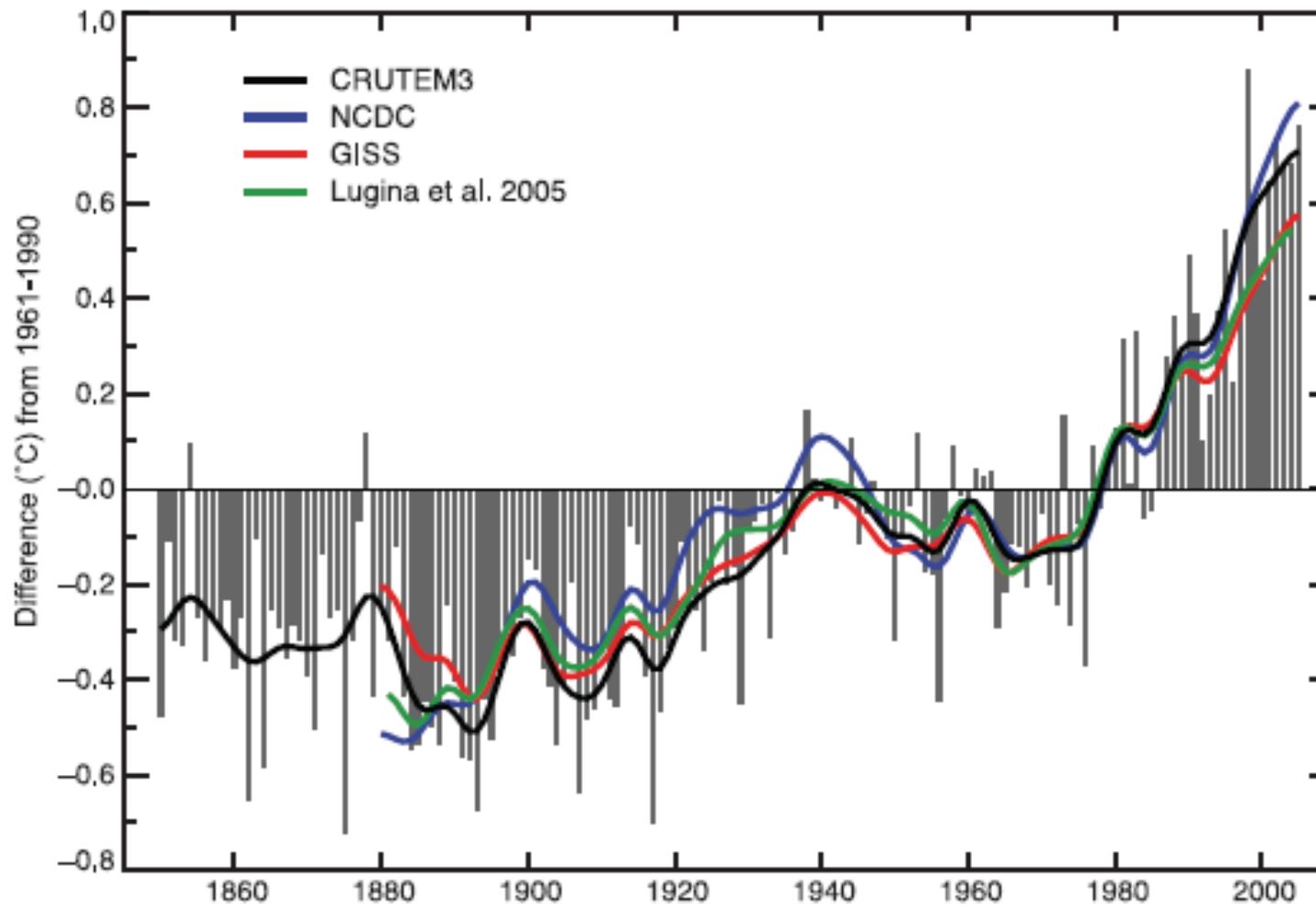


Vuosikeskilämpötilan, talven (DJF) ja kesän (JJA) keskilämpötilan keskimääräiset korjaukset suomalaisissa sarjoissa vuosina 1888-2000.

HUOM! Kaavamuutosten korjauksia ei ole huomioitu.

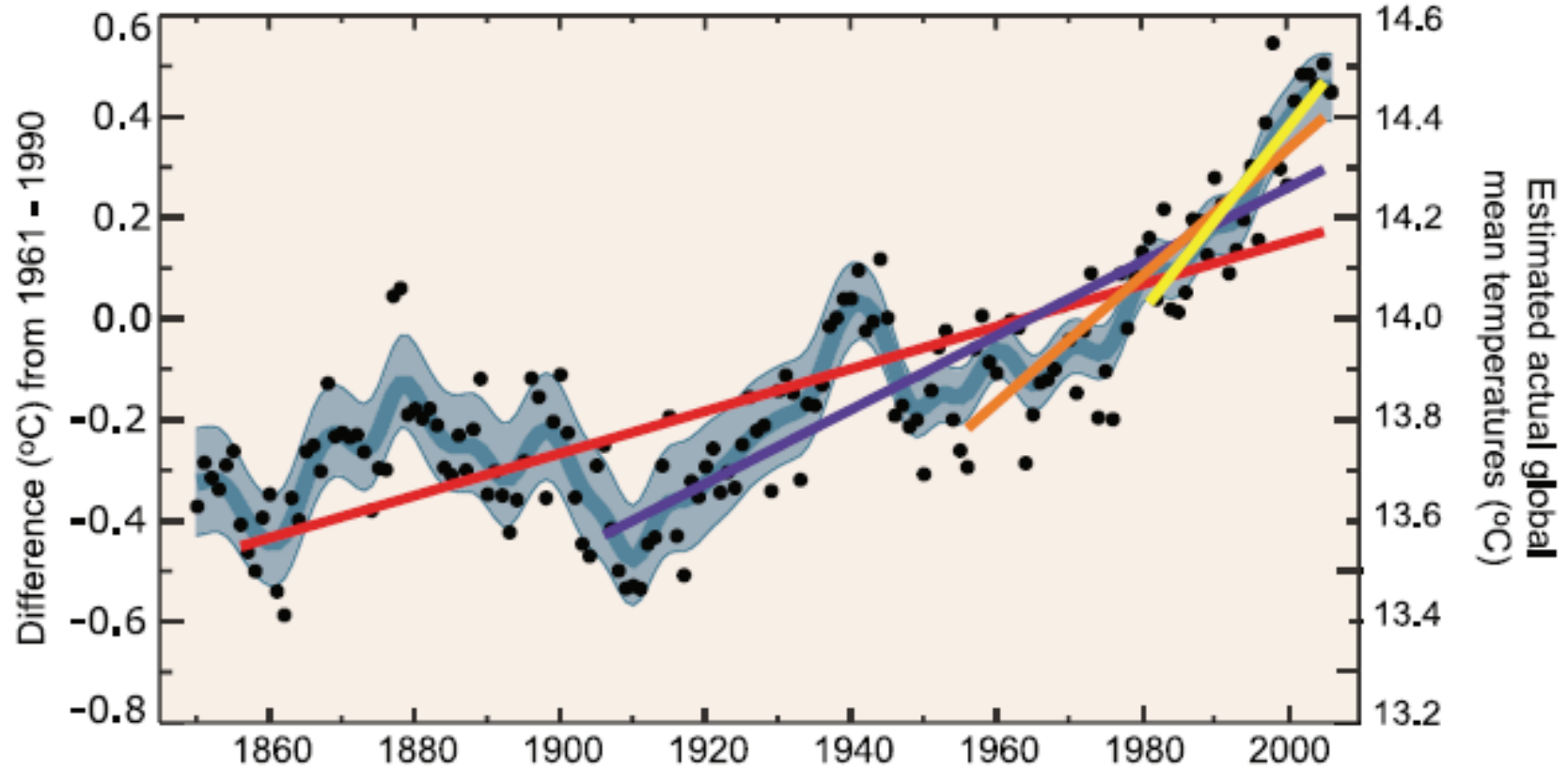
**Asemakohtaiset epäjatkuvuudet eivät ole satunnaisia Suomessa**

## MAA-ALUEIDEN KESKILÄMPÖTILA (IPCC AR4 WG1)



**Figure 3.1.** Annual anomalies of global land-surface air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), 1850 to 2005, relative to the 1961 to 1990 mean for CRUTEM3 updated from Brohan et al. (2006). The smooth curves show decadal variations (see Appendix 3.A). The black curve from CRUTEM3 is compared with those from NCDC (Smith and Reynolds, 2005; blue), GISS (Hansen et al., 2001; red) and Lugina et al. (2005; green).

# Global Mean Temperature



Legend Item	Period (Years)	Rate (°C per decade)
● Annual mean		
— Smoothed series		
■ 5-95% decadal error bars		
	25	$0.177 \pm 0.052$
	50	$0.128 \pm 0.026$
	100	$0.074 \pm 0.018$
	150	$0.045 \pm 0.012$



## YHTEENVETO

- Pitkissä lämpötilan aikasarjoissa on useita virhelähteitä
- Virhelähteet täytyy tuntea ja korjata ennen kuin aineistoa käyttää ilmastonmuutoksen analyyseissä
- Suomesta on olemassa kk-lämpötilan yhtenäistetyt aikasarjat
- Koko maapallon lämpötila-aikasarjojen virheet osataan arvioida