



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI  
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

**MeteoSchweiz**

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 274

# Klimaentwicklung in der Schweiz – Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung

Michael Begert, Reto Stöckli, Mischa Croci-Maspoli





**ISSN: 2296-0058**

**Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 274**

# Klimaentwicklung in der Schweiz – Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung

Michael Begert, Reto Stöckli, Mischa Croci-Maspoli

## **Empfohlene Zitierung:**

Begert M, Stöckli R, Croci-Maspoli M. 2019. Klimaentwicklung in der Schweiz - Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung. *Fachbericht MeteoSchweiz*, **274**, 23 pp.

## **Herausgeber:**

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2019

## **MeteoSchweiz**

Operation Center 1  
CH-8044 Zürich-Flughafen  
T +41 58 460 99 99  
[www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)



## Zusammenfassung

Zur Berechnung der Temperaturveränderung über Jahrzehnte bis Jahrhunderte aus langjährigen Messreihen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Weit verbreitet ist die Verwendung eines linearen Trends oder der Vergleich von Mittelwerten aus Perioden zu Beginn und am Ende des untersuchten Zeitraumes. Die Methoden führen zu unterschiedlichen Resultaten und haben einen bedeutenden Einfluss auf die Kommunikation des Klimawandels.

Der vorliegende Bericht stellt verschiedene Methoden zur Berechnung der Temperaturveränderung in der Schweiz seit Messbeginn um 1864 vor und diskutiert Unterschiede sowie Vor- und Nachteile ihrer Anwendung. Zudem wird untersucht, welche frühe Referenzperiode aus dem 19. Jahrhundert geeignet ist, um die Temperaturzunahme in der Schweiz in den Kontext des globalen 1.5/2°C-Ziels zu stellen. Schliesslich wird evaluiert, welcher der verfügbaren globalen Datensätze an der MeteoSchweiz verwendet werden soll, um die Temperaturentwicklung in der Schweiz in den Kontext der globalen Entwicklung zu stellen.

Die Auswertungen kommen zum Schluss, dass sich der Vergleich von Mittelwerten einer frühen mit einer aktuellen Referenzperiode eignet, um die Temperaturzunahme in der Schweiz im Kontext des globalen 1.5/2°C-Ziels zu berechnen und zu kommunizieren. Zur Beschreibung der Bedingungen ohne Einfluss anthropogen verursachter Treibhausgasemissionen wird die Periode 1871-1900 gewählt. Analog zur Vorgehensweise des Weltklimarats (IPCC) wird der Zeitraum als vorindustrielle Referenzperiode bezeichnet. Je nach Anwendung empfiehlt es sich, für die aktuelle Zeit eher die gültige WMO-Standardperiode (z.B. Vergleich mit Klimaszenarien CH2018) oder die letzten 30 Jahre (z.B. Einbezug der jüngsten Entwicklung) zu verwenden. Der lineare Fit bleibt ebenfalls möglich und ist insbesondere für den Vergleich mit externen Datensätzen und Arbeiten unerlässlich. Wichtig ist in jedem Falle die klare Deklaration der Methode, die zur Berechnung der kommunizierten Werte verwendet wurde. Für den Vergleich mit der globalen Entwicklung wird an der MeteoSchweiz der HadCRUT4-Datensatz verwendet, welcher vom UK Met Office und der Climatic Research Unit der University of East Anglia entwickelt und zur Verfügung gestellt wird. Er stellt den besten Kompromiss aus Datenverfügbarkeit und Vergleichbarkeit mit anderen Datensätzen dar. HadCRUT4 deckt den gesamten, in der Schweiz verfügbaren Messzeitraum ab, wird routinemässig vom UK Met Office bereit gestellt und vergleicht sich gut mit den meisten anderen globalen Datensätzen in Bezug auf die Temperaturzunahme seit der vorindustriellen Zeit.

## Abstract

There are different methods for calculating temperature change over decades or centuries from long-term data series. The most popular are linear trend fitting and the comparison of mean values from periods at the beginning and at the end of the series. These methods lead to differing results and they may have a significant impact on the communication of climate change.

The present study investigates several methods for calculating temperature change in Switzerland since 1864 and discusses the differences as well as the advantages and disadvantages of their use. Furthermore, a pre-industrial reference period is evaluated in order to put temperature change in Switzerland into the context of the global 1.5/2°C target. Finally, the five most widely used global temperature data sets are compared with respect to differences in their long-term evolution and their data coverage. The most suitable data set used to compare Swiss and global temperature evolution is assessed.

The study concludes that the comparison of mean values from an early and a recent reference period is suitable for calculating and communicating climate change in Switzerland in the context of the global 1.5/2°C target. The period 1871 to 1900 is chosen to represent conditions not influenced by anthropogenic greenhouse gas emissions. Following the wording of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) the period is called “the pre-industrial reference period”. Depending on the context, today’s conditions can be characterized either by using the current WMO standard period (e.g. comparison with CH2018 climate scenarios) or the most recent 30 years (e.g. including latest evolution). Linear trend fitting is still possible and is essential for comparison with external data analysis and studies. The exact declaration of the method used is essential in either case. The HadCRUT4 global temperature data set of the UK Met Office and the Climatic Research Unit of the University of East Anglia is chosen as a basis for comparing Swiss temperature evolution in the global context. HadCRUT4 is the most suitable compromise between data availability und comparability with other data sets. HadCRUT4 covers the whole measurement period of Switzerland, is routinely produced by the UK Met Office and is in agreement with most of the other data sets with respect to temperature increase since pre-industrial levels.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Vorindustrielle Referenzperiode</b>	<b>2</b>
2.1 Vergleich verschiedener vorindustrieller Referenzperioden	3
2.2 Diskussion und Wahl der Periode	5
2.2.1 Wahl von 1871-1900 als vorindustrielle Referenzperiode	6
2.2.2 Externe Stellungnahmen	7
<b>3 Berechnung der Temperaturänderung seit 1864</b>	<b>8</b>
3.1 Vergleich verschiedener Methoden	8
3.2 Diskussion und Wahl der Methode	13
<b>4 Temperaturentwicklung in der Schweiz und global im Vergleich</b>	<b>14</b>
4.1 Globale Datensätze der Temperatur	14
4.2 Vergleich der globalen Temperaturdatensätze	15
4.2.1 Vergleich der Temperaturentwicklung	15
4.2.2 Vergleich verschiedener Normperioden in globalen Datensätzen	17
4.3 Diskussion und Wahl des globalen Datensatzes	18
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>



## 1 Einleitung

# 1 Einleitung

Referenzperioden dienen in der Klimatologie zur Beschreibung eines normalen, zu erwartenden Zustandes und als Basis zur Einordnung von aktuellen Messungen und zukünftigen Verhältnissen. In einem stabilen (stationären) Klima ist bei der Wahl der Periode v.a. deren Länge entscheidend, da möglichst die gesamte, natürliche Schwankungsbreite (Variabilität) einer Messgrösse abgedeckt werden soll. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) hat dazu 30-jährige Perioden festgelegt (WMO, 1959, 2011, 2017). In einem sich verändernden (nicht-stationären) Klima, wie dies global und auch in der Schweiz insbesondere bezüglich Temperatur heute feststellbar ist, wird neben der Länge auch die Lage der Referenzperiode in der Zeit sehr wichtig. Je nach Fragestellung ist es sinnvoller, eine möglichst frühe, eine mittlere oder eher aktuelle Periode zu wählen.

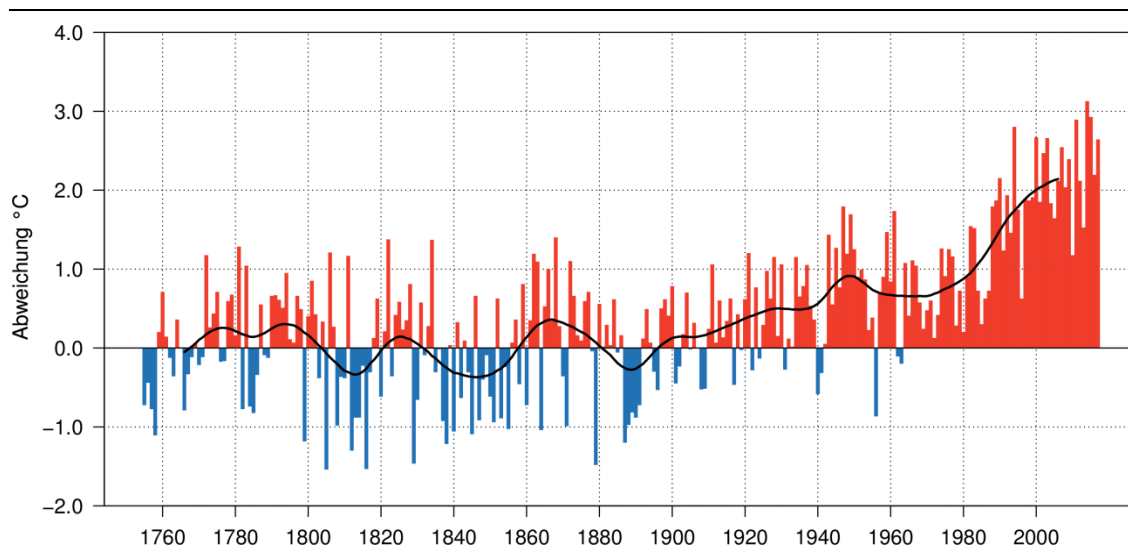
Heute verwendet und kommuniziert MeteoSchweiz die Temperaturabweichung eines Jahres, einer Saison oder eines Monats gemäss Empfehlung der WMO gegenüber den Referenzperioden 1961-1990 oder 1981-2010. Zur Kommunikation und Einordnung der Erwärmung in der Schweiz gegenüber dem globalen 1.5/2°C-Ziel (UNFCCC, 2012; IPCC, 2018), welches die globale Temperaturzunahme aufgrund menschlich (anthropogen) verursachter Treibhausgasemissionen auf maximal 2°C, und zur Vermeidung grösserer Auswirkungen und Risiken sogar auf 1.5°C, beschränken will, sind diese beiden Referenzperioden jedoch nicht ideal. Im globalen Kontext (e.g. IPCC, 2013) wird dazu eine meist „vorindustriell“ genannte Referenzperiode gewählt, von der angenommen wird, dass sie anthropogen weitgehend unbeeinflusste Bedingungen widerspiegelt. MeteoSchweiz möchte mit einer solch zusätzlichen, frühen Referenzperiode für die Schweiz der politischen Diskussion sachbezogene Grundlagen liefern. Da die natürliche Variabilität regional zu grossen Klimaschwankungen führen kann, muss die Wahl der Periode für die Schweiz jedoch genau auf ihre Anwendbarkeit untersucht werden.

Mit der Einführung einer frühen Referenzperiode, welche am Beginn der instrumentellen Messungen liegt, stellt sich die Frage, wie die Zunahme der Temperatur seit Messbeginn kommuniziert werden soll. Aktuell berechnet und verwendet MeteoSchweiz die Temperaturzunahme aus einer linearen Regression, welche durch die Messreihen gelegt wird. Aus der Steigung der Geraden ergibt sich eine Zunahme pro 100 Jahre oder über die gesamte Periode seit Messbeginn. Mit Einführung einer frühen Referenzperiode eröffnet sich die Möglichkeit, die Erwärmung auch als Differenz zwischen der frühen und einer aktuellen Referenzperiode zu berechnen, wie dies z.B. auch vom IPCC (2013, 2018) praktiziert wird. Auch diese Fragestellung ist in der politischen Diskussion von grosser Relevanz und MeteoSchweiz strebt hier eine einheitliche und fachlich gut begründbare Lösung an.

Schliesslich stellt sich im Zusammenhang mit der Temperaturentwicklung in der Schweiz und ihrer Kommunikation auch die Frage, wie sich die Zunahme mit der globalen Erwärmung vergleicht. Da es verschiedene globale Datensätze gibt, welche diese Information liefern können, soll entschieden werden, welcher Datensatz an der MeteoSchweiz für diesen Vergleich verwendet werden soll.

## 2 Vorindustrielle Referenzperiode

Das Klima zeichnet sich sowohl weltweit als auch in der Schweiz durch grosse Temperaturschwankungen aus. Diese Schwankungen waren bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts vorwiegend natürlich bedingt. Die mehr oder weniger kontinuierliche Erwärmung seit diesem Zeitpunkt steht im Zusammenhang mit den weltweit gestiegenen Treibhausgasemissionen (IPCC, 2013; Medhaug et al., 2017) und wird als anthropogener Einfluss auf die Temperaturentwicklung bezeichnet. Die lange Temperatur-Messreihe von Basel / Binningen mit Messbeginn im Jahr 1755 veranschaulicht das Zusammenspiel von natürlichen Schwankungen und Zunahme seit Beginn des 20. Jahrhunderts deutlich (vgl. Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Jahresmittel-Temperatur in Basel / Binningen zwischen 1755 und 2017 als Abweichung in °C zur Periode 1871-1900. In schwarz ist der geglättete Verlauf (Gauss Tiefpassfilter über 30 Jahre) eingezeichnet.

Zur Kommunikation und zur Einordnung aktueller Temperaturmessungen gegenüber dem globalen 1.5/2°C-Ziel, welches vorsieht, die globale Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf 1.5/2°C zu beschränken, ist die von der WMO definierte Referenzperiode 1961-1990 nicht ideal. Mit einer zusätzlichen, weiter in der Vergangenheit gelegenen und von der industriellen Revolution möglichst unbeeinflussten Referenzperiode möchte MeteoSchweiz für die politische Diskussion deshalb weitere Grundlagen liefern.

Der anthropogene Einfluss auf die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre beginnt theoretisch mit der Erfindung der Dampfmaschine durch Thomas Newcomen im Jahre 1712. Allerdings verhalf erst die Effizienzsteigerung durch James Watt in den 1770er Jahren der neuen Technik zum Durchbruch und erst mit der Massenverwendung der Dampfmaschine ab den 1860er Jahre in England begann der massgebliche anthropogene Einfluss auf die globale Treibhausgaskonzentration.

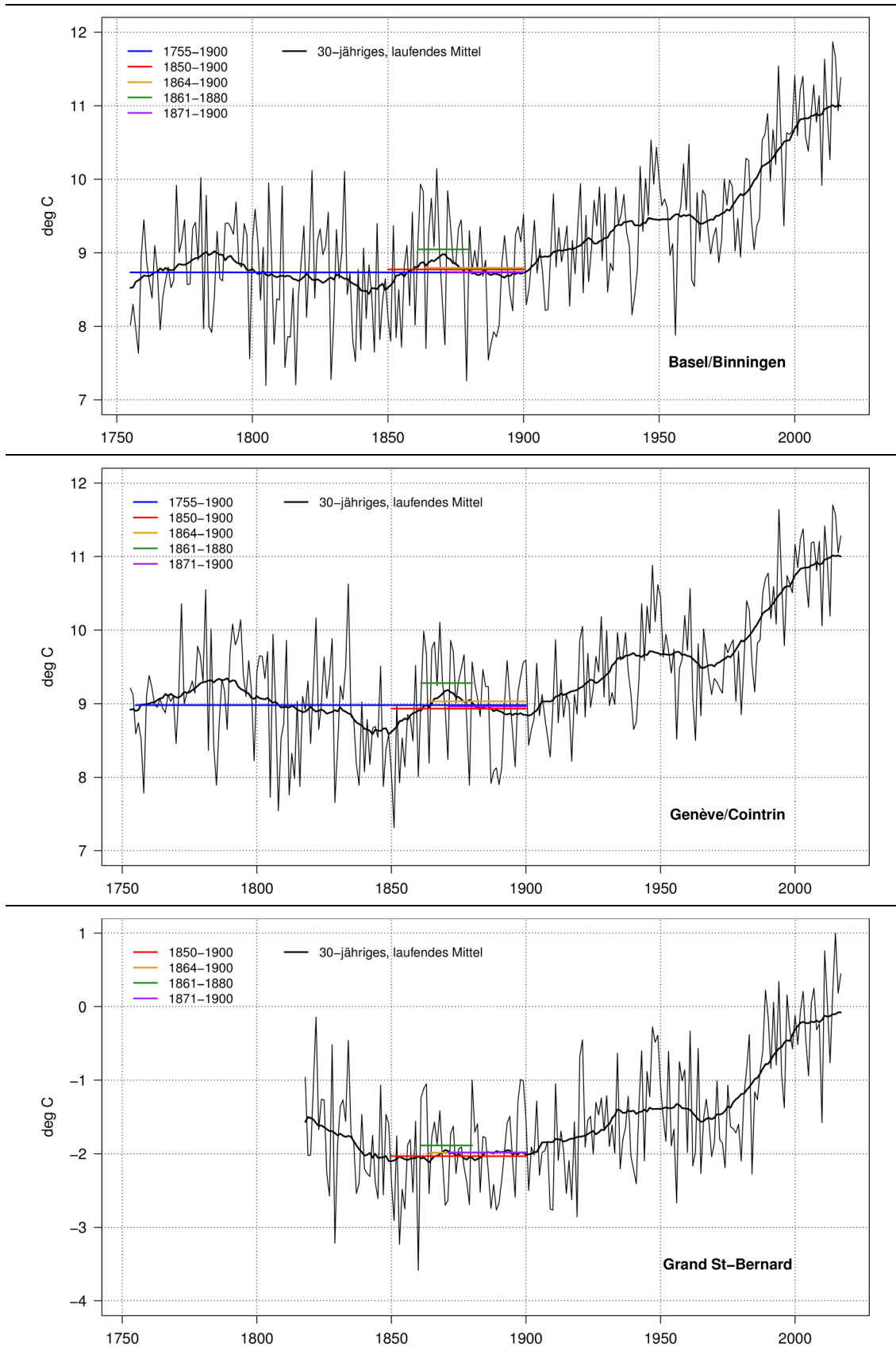
In der Theorie wird die Grenze zwischen vorindustrieller und industriellen Phase also Mitte des 19. Jahrhunderts gezogen. Wissenschaftliche Studien, welche den Beginn des anthropogenen Einflusses auf die Temperatur zu bestimmen versuchten, kommen jedoch zu unterschiedlichen Resultaten, welche von den 1830er (Abram et al., 2016) bis in die 1930er (King et al., 2016) Jahre reichen. Weil vor 1750 zudem kaum meteorologische Messdaten verfügbar sind, wird im Kontext des globalen Klimawandels meist die Periode 1850 bis 1900 verwendet, um die Temperaturbedingungen ohne anthropogenen Einfluss zu charakterisieren (e.g. IPCC, 2013, 2018, Henley et al., 2017). Die Periode beginnt mit dem Ende der kleinen Eiszeit und vergleicht sich gut mit der laut Hawkins et al. (2017) global besten Wahl von 1720-1800. Sie macht wissenschaftlich Sinn (Knutti et al., 2016), da weltweit genügend instrumentelle Messungen vorliegen, um gesicherte Aussagen zu den Temperaturverhältnissen machen zu können und die Entwicklung seit diesem Zeitpunkt global beurteilt werden kann. Auch in der Schweiz drängt sich aufgrund fehlender, älterer Messungen eine Periode in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts als Referenzperiode auf.

Mit der Verwendung einer vorindustriellen Referenzperiode auf regionaler Skala betritt MeteoSchweiz in Europa Neuland, wie eine Umfrage bei Wetterdiensten benachbarter Länder ergab. Und auch die WMO bestätigte auf Anfrage, dass keine Empfehlung von ihrer Seite vorliege. Da natürliche Klimaschwankungen regional zu grossen Unterschieden führen können, ist die Wahl einer einheitlichen und für verschiedene Länder sinnvollen Referenzperiode eventuell auch gar nicht möglich. Die im Folgenden durchgeführte Evaluation hat in diesem Sinne deshalb nur Gültigkeit für die Schweiz.

## **2.1 Vergleich verschiedener vorindustrieller Referenzperioden**

Die systematischen, meteorologischen Messungen begannen in der Schweiz um 1864 mit der Inbetriebnahme eines landesweiten Messnetzes unter der Leitung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Eine für die Schweiz sinnvolle, vorindustrielle Referenzperiode muss demnach in der Zeit von 1864 bis 1900 liegen. MeteoSchweiz verfügt über drei homogene Temperaturmessreihen (Basel / Binningen, Genève / Cointrin und Grand-St-Bernard), welche vor 1864 beginnen und zur Analyse der Unterschiede zwischen verschiedenen, möglichen Referenzperioden verwendet werden können. Im Folgenden sind die jährlichen und saisonalen Unterschiede verschiedener Referenzperioden im Vergleich mit der Temperaturentwicklung seit Mitte des 18. Jhd. im Allgemeinen und der Periode 1850-1900 im Speziellen anhand dieser verfügbaren Messreihen zusammengestellt:

- 1864-1900 entspricht für die meisten Messreihen des Schweizer Klimamessnetzes (Swiss NBCN; Begert, 2007) der längst möglichen Periode innerhalb 1850-1900
- 1861-1880 entspricht einer vom IPCC im fünften Assessment Report on Climate Change verwendeten Referenzperiode zur Illustration der globalen Temperaturzunahme (IPCC, 2013)
- 1871-1900 nimmt das WMO-Konzept der Standardperioden auf



**Abbildung 2:** Jahresmittel-Temperatur in Basel, Genève und auf dem Grand St-Bernard zwischen 1755 und 2017 inkl. verschiedener, vorindustrieller Referenzperioden (farbig) und einem 30-jährigen, laufendes Mittel (schwarz).

2 Vorindustrielle Referenzperiode

**Tabelle 1:** Differenz der Mittelwerte (°C) verschiedener, vorindustrieller Referenzperioden zur Periode 1850-1900 für die vier Jahreszeiten und das gesamte Jahr in Basel (BAS), Genève (GVE) und auf dem Grand St-Bernard (GSB).

Differenz zu 1850-1900	DJF			MAM			JJA			SON			Jahr		
	BAS	GVE	GSB	BAS	GVE	GSB	BAS	GVE	GSB	BAS	GVE	GSB	BAS	GVE	GSB
1755-1900	-0.09	-0.13	-	0.08	0.29	-	-0.07	0.10	-	-0.04	-0.06	-	-0.04	0.05	-
1864-1900	0.04	0.09	0.14	0.09	0.14	0.00	-0.07	0.08	0.01	0.05	0.10	0.06	0.02	0.10	0.05
1861-1880	0.20	0.25	0.07	0.45	0.44	0.26	0.18	0.35	0.20	0.19	0.29	0.00	0.27	0.35	0.15
1871-1900	-0.10	-0.06	0.09	-0.05	0.04	-0.08	-0.08	0.01	0.03	0.05	0.09	0.13	-0.04	0.03	0.05

## 2.2 Diskussion und Wahl der Periode

Die Temperaturentwicklung in der Schweiz in der vorindustriellen Phase von 1755 bis 1900 ist in allen Jahreszeiten geprägt von dekadischen Schwankungen ohne überlagerten Trend. 30-jährige Mittelwerte aus dieser Zeit (vgl. gleitendes Mittel in Abbildung 2) schwanken je nach Zeitraum und gewählter Periode um  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Der Beginn der instrumentellen Messungen Mitte des 18. Jahrhunderts, welcher mit dem theoretischen Beginn des anthropogenen Einflusses zusammenfällt, liegt (zumindest im Schweizerischen Mittelland) im Mittel der Periode 1755 bis 1900. Die untersuchten Mittelwerte aus der Periode 1850 bis 1900 liegen mit Ausnahme von 1861-1880 ebenfalls relativ nahe beim Mittel aus 1755 bis 1900.

Aus der in der Schweiz instrumentell verbreitet verfügbaren Periode 1864-1900 sind die Perioden 1864-1900 und 1871-1900 gut vergleichbar mit der häufig im Kontext des Klimawandels verwendeten vorindustriellen Referenzperiode 1850-1900. Die Differenzen betragen in den meisten Jahreszeiten  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  oder weniger. Keine sinnvolle Wahl für die Schweiz ist hingegen die Periode 1861-1880: Sie liegt in allen Jahreszeiten meist  $0.2\text{-}0.4^\circ\text{C}$  höher als die Periode 1850-1900.

Die Periode 1864-1900 kann als guter Kompromiss aus Datenverfügbarkeit und Repräsentativität für eine vorindustrielle Periode in der Schweiz bezeichnet werden. Eine sinnvolle, im Mittel leicht kältere Wahl wäre aber auch die Periode 1871-1900, welche gleichzeitig dem Konzept der 30-jährigen WMO-Standardperioden entspricht. Tabelle 2 enthält die Differenz der Mittelwerte von 1864-1900 zu 1871-1900 für die verschiedenen Jahreszeiten im Schweizer Temperaturmittel (Begert et al., 2018) und Tabelle 3 zeigt für die gleichen Daten die Unterschiede zwischen den Mittelwerten der beiden Referenzperioden und der aktuell gültigen Referenzperiode 1981-2010.

**Tabelle 2:** Differenz der Mittelwerte (°C) von 1864-1900 zur Periode 1871-1900 für die vier Jahreszeiten und das gesamte Jahr im Schweizer Temperaturmittel.

Diff zu 1871-1900	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
1864-1900	0.15	0.10	-0.01	-0.02	0.04

**Tabelle 3:** Differenzen der Mittelwerte (°C) von 1864-1900 und 1871-1900 zur aktuell gültigen Normperiode 1981-2010 für die vier Jahreszeiten und das gesamte Jahr im Schweizer Temperaturmittel.

Differenz zu 1981-2010	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
1864-1900	1.47	1.47	1.54	1.40	1.47
1871-1900	1.62	1.57	1.53	1.38	1.51

Eine vorindustrielle Referenzperiode eignet sich neben der Kommunikation von Abweichungen auch gut zur grafischen Darstellung der Temperaturentwicklung in der Schweiz und zeigt eindrücklich die Überlagerung von allgemeiner Temperaturzunahme und dekadischen, natürlichen Schwankungen (vgl. Abbildung 1 am Beispiel von 1871-1900).

### 2.2.1 Wahl von 1871-1900 als vorindustrielle Referenzperiode

Sowohl 1871-1900 als auch 1864-1900 würden sich als vorindustrielle Referenzperiode für die Schweiz eignen. Die Unterschiede sind klein und Aussagen zum Klimawandel bzw. zur Erwärmung seit der vorindustriellen Epoche unterscheiden sich kaum. Aus diesem Grund können oder müssen andere Argumente für oder gegen die Wahl der einen oder anderen Periode in Betracht gezogen werden:

#### Pro 1864-1900

- Wahl der Referenzperiode möglichst nahe an 1850-1900.
- Obwohl „näher“ bei der kleinen Eiszeit, ist die Periode 1864-1900 insbesondere im Winter und Frühling rund 0.1 Grad wärmer als 1871-1900. Die Wahl von 1864-1900 ist in diesem Sinne die konservativere Wahl zur Beurteilung der Veränderung seit der vorindustriellen Zeit.
- Die Länge der WMO-Periode von 30 Jahren ist ein Kompromiss aus verfügbaren Daten, Abdeckung der natürlichen Variabilität und den Anforderungen verschiedener Messparameter. Eine längere Periode ist wissenschaftlich gesehen in der vorindustriellen Phase kein Nachteil.

#### Pro 1871-1900

- Deutlicher nach der kleinen Eiszeit, was für die Kommunikation ein Vorteil sein kann. Bezüglich tatsächlicher Temperatur v.a. im Winter und Frühling jedoch rund 0.1 Grad kälter als 1864-1900.
- Die Periode nimmt das Konzept der 30-jährigen WMO-Standardperiode auf, was kommunikativ ein Vorteil sein kann.
- Die Wahl von 1871-1900 könnte eher zur Übereinstimmung mit anderen Ländern / Institutionen führen. 1864-1900 wird kaum von einem anderen (Nachbar-) Land gewählt werden, weil es den Schweiz-spezifischen Messbeginn als Startzeitpunkt beinhaltet.
- Für die Kommunikation wäre die Wahl einer 30-jährigen Periode evtl. besser, da sie bezüglich Länge mit der aktuell gültigen Normperiode 1981-2010 und den in CH2018 (NCCS, 2018) verwendeten 30-jährigen Szenarien-Perioden vergleichbar ist.

## Unentschieden

- Bezüglich der Aussagen zur Erwärmung seit vorindustriell spielt die Wahl praktisch keine Rolle.
- Es gibt keine zusätzlichen Messgrößen, die in der Schweiz mit der später beginnenden Referenzperiode besser bedient wären. Interessante Parameter wie die Sonnenscheindauer oder lange Messreihen des dichteren Niederschlagsmessnetzes beginnen meist nach 1880.

### Fazit:

**Die Periode 1871-1900 wird als vorindustrielle Referenzperiode dazu verwendet, die Klimaentwicklung in der Schweiz im Kontext des globalen 1.5/2°C-Ziels zu berechnen und zu dokumentieren. MeteoSchweiz gewichtet die Argumente für die Periode 1871-1900 (Konzept der WMO-Standardperioden und potentiell bessere Vergleichbarkeit mit Nachbarländern) stärker als die anderen Argumente.**

### 2.2.2 Externe Stellungnahmen

Um die Wahl einer vorindustriellen Referenzperiode für die Schweiz breit abzustützen, wurden via ProClim elf Expertinnen und Experten aus der wissenschaftlichen Community der Schweiz um eine Stellungnahme gebeten. Die Idee zur Einführung einer vorindustriellen Referenzperiode wurde dabei grundsätzlich positiv beurteilt und es kamen viele wertvolle Hinweise zum Beispiel zur Terminologie oder zur Kommunikation zusammen. Die wichtigsten Punkte lauten zusammenfassend wie folgt:

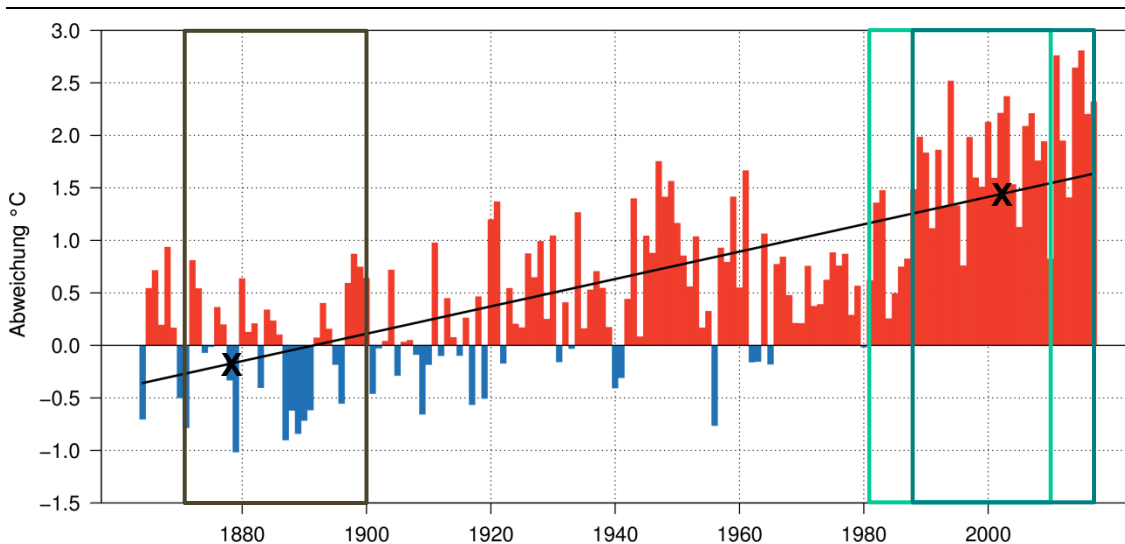
- Die Initiative zur Einführung einer Referenzperiode, welche zur Definition des vorindustriellen Temperaturniveaus in der Schweiz dient, wird begrüsst und unterstützt. Sowohl die Wahl von 1864-1900 als auch von 1871-1900 werden als mögliche Lösung angesehen.
- Die klare Definition und Angabe der verwendeten Periode sowie die Diskussion der Folgen für die Aussagen zur Temperaturentwicklung werden als wichtig erachtet. Da „vorindustriell“ zudem unterschiedlich definiert ist, wurde angeregt, allenfalls einen anderen Namen für die Periode zu wählen.
- Problematisch beurteilt wird im Kontext der Einführung einer vorindustriellen Referenzperiode für die Schweiz die mögliche Vermischung von nationaler und globaler Skala. Konkret ist das globale 1.5/2-Grad Ziel noch nicht überschritten, wenn die Temperaturzunahme in der Schweiz dieses Limit erreicht hat. In der Kommunikation ist dieser Zusammenhang deshalb deutlich zu erwähnen und zu diskutieren.

Bei der Umsetzung und Einführung einer frühen Referenzperiode an der MeteoSchweiz wird versucht, möglichst vielen Experten-Vorschlägen gerecht zu werden. Aus praktischen Gründen und aufgrund sich widersprechender Anliegen ist es allerdings nicht möglich, alle Vorschläge in einem Kompromiss zu berücksichtigen. Insbesondere kann dem Wunsch nach der Verwendung von 1850-1900 wegen fehlender Daten nicht entsprochen werden. Es kann jedoch aufgezeigt werden, dass die gewählte Periode 1871-1900 in ihrer Verwendung zu keinen wesentlichen Unterschieden im Vergleich mit den meisten anderen Vorschlägen führt. Auf die Einführung einer anderen Bezeichnung anstelle von "vorindustriell" wird verzichtet, um keine Verwirrung im Vergleich mit dem vom IPCC verwendeten Namen zu schaffen. 1871-1900 wird ja gerade so gewählt, dass die Periode mit der vorindustriellen Referenz des IPCC vergleichbar ist. Einen anderen Namen zu verwenden wäre nicht sinnvoll.

## 3 Berechnung der Temperaturänderung seit 1864

### 3.1 Vergleich verschiedener Methoden

Zur Berechnung der Temperaturzunahme in der instrumentellen Messperiode verwendet MeteoSchweiz aktuell ausschliesslich den Wert aus einer linearen Regression, welche durch die Messwerte ab Messbeginn bis zum aktuellsten Datum gelegt wird. Die kommunizierte Zunahme der Jahresmitteltemperatur in der Schweiz seit 1864 betrug Ende 2017 in diesem Sinne 1.30 °C / 100 Jahren bzw. 2.01 °C über die gesamten 154 Jahre (vgl. Abbildung 3). Das Vorgehen geht von der Annahme aus, dass sich die beobachtete Temperaturentwicklung aus einer linearen Zunahme, ausgelöst durch ein sich kontinuierlich veränderndes externes Forcing, und einer überlagerten dekadischen Variabilität zusammensetzt.



**Abbildung 3:** Jahresmittel-Temperatur der Schweiz 1864-2017 als Abweichung von der vorindustriellen Referenzperiode 1871-1900 mit linearem Trend (schwarz) und verschiedenen Referenzperioden (schwarz: 1871-1900; hellgrün: 1981-2010; dunkelgrün: 1988-2017). Die schwarzen Kreuze markieren die Mittelpunkte einer 30-jährigen Periode zu Beginn (1864-1893) und am Ende (1988-2017) der gesamten Periode.

Im Zusammenhang mit der Einführung einer vorindustriellen Referenzperiode wird die Methode des linearen Trends als Mass für die Temperaturzunahme in der instrumentellen Messperiode aus verschiedenen Gründen in Frage gestellt. Auf Basis des linearen Modells beginnt die errechnete Tem-

peraturzunahme in der Schweizer Jahresmittel-Temperatur erstens rund 0.4 °C unterhalb der vorindustriellen Referenzperiode (vgl. Abbildung 3). Zweitens steigt die erwartete, aktuelle Temperatur in diesem Modell Jahr für Jahr, obwohl in so kurzer Zeit kaum von einer Klimaänderung gesprochen werden kann. Drittens hat der Anfangszeitpunkt der Berechnung einen Einfluss auf die errechnete Temperaturzunahme und ist mit dem Jahr 1864 zufällig und Schweiz-spezifisch.

Gemäss der Weltorganisation für Meteorologie WMO werden zur Beschreibung des Klimas Mittelwerte aus 30-jährigen Messperioden (Normperioden) verwendet (WMO, 2017). Die Perioden werden jeweils am Ende einer Dekade um 10 Jahre verschoben, um in der gültigen Periode die jüngsten Veränderungen im Klima berücksichtigt zu haben. Bis zum Jahr 2020 beschreibt nach der WMO-Definition demnach die Periode 1981-2010 das aktuelle Klima. Analog zu IPCC (2013, 2018) bestünde also die Möglichkeit, anstelle des linearen Trends auch die Differenz zwischen der vorindustriellen Referenzperiode und einer aktuellen Periode (z.B. 1981-2010) zu verwenden, um die Temperaturveränderung zu dokumentieren. Mit diesem Ansatz könnten zudem zukünftige Veränderungen aus Klimaszenarien, wie sie für die Schweiz zur Verfügung stehen (NCCS, 2018), einfacher und konsistenter mit der vergangenen Entwicklung verglichen werden, denn die Szenarien beschreiben die erwarteten Veränderungen als Differenz zum Mittelwert einer aktuellen Periode.

Auf der Basis des linearen Trends und der Differenz von Mittelwerten aus Referenzperioden lassen sich verschiedene Möglichkeiten herleiten, wie eine Temperaturveränderung bestimmt werden kann. Folgende Ansätze werden im Weiteren genauer analysiert (vgl. auch Abbildung 3):

- Linearer Trend (least squares fit), wobei die Veränderung als Differenz zwischen dem ersten und letzten Wert der Geraden bestimmt wird (**LinTrend1**).
- Linearer Trend (least squares fit), wobei die Veränderung als Differenz zweier Punkte auf der Geraden bestimmt wird, welche je 15 Jahre vom Anfang und Ende der gesamten Messperiode entfernt liegen (**LinTrend2**).
- Differenz der Mittelwerte aus der vorindustriellen Referenzperiode und der aktuellen WMO-Standardperiode (**DiffPer1**).
- Differenz der Mittelwerte aus der vorindustriellen Referenzperiode und den letzten 30 Jahren (**DiffPer2**).

Sowohl beim linearen Trend als auch bei der Differenz von Mittelwerten aus verschiedenen Perioden sind zusätzliche, alternative Varianten denkbar. Folgende Methoden wurden in Betracht gezogen, aber aus den angegebenen Gründen nicht weiter verfolgt:

- Nicht-parametrischer, robuster, linearer Trend (Bsp. Theil-Senn / Mann-Kendall): Ansatz, der weniger stark auf Ausreisser zu Beginn oder am Ende der Periode reagiert. Bei Tests zeigten sich jedoch nur sehr wenige grössere Unterschiede im Vergleich mit den Resultaten von LinTrend1.
- Differenz aus gewichteten Mittelwerten am Anfang und Ende der untersuchten Periode (Bsp. 30-jähriger Gauss Tiefpassfilter): Auch hier zeigten sich bei Tests nur geringe Unterschiede im Vergleich mit DiffPer1. Zudem vergäbe man sich die Möglichkeit, die Signifikanz der Unterschiede durch einen statistischen Hypothesentest zu beurteilen. Auch lässt sich nur schwer begründen, warum das klimatologische Mittel einer 30-Jährigen Periode ein gewichtetes Mittel sein sollte.

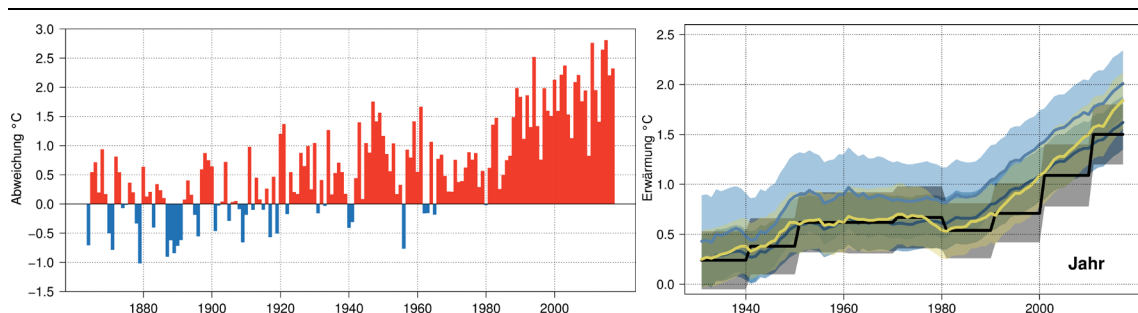
- Differenz der vorindustriellen Referenzperiode zu einem aktuellen Mittelwert aus einer Periode, die Messdaten und dekadische Vorhersagen kombiniert (Bsp. je 15 Jahre): Ein Vorteil wäre, damit einen realistischeren Erwartungswert für die Gegenwart zu erhalten. Hier fehlen allerdings im Moment die nötigen Grundlagen und der Ansatz wäre noch weiter entfernt von den Vorgaben der WMO.

In Tabelle 4 sind die vier nachfolgend genauer untersuchten Methoden zusammen mit ihren Vor- und Nachteilen sowie der errechneten Veränderung inkl. Unsicherheit vergleichend dargestellt. Die Unsicherheiten entsprechen beim linearen Trend dem 95%-Konfidenzintervall für den Koeffizienten der linearen Regression, bei der Mittelwert-Differenz dem 95%-Konfidenzintervall aus dem Zweistichproben-t-Test. Die Vor- und Nachteile sind nach der Tabelle im Text detaillierter hergeleitet und beschrieben.

**Tabelle 4:** Ansätze zur Berechnung der Temperaturänderung in der Schweiz seit dem systematischen, instrumentellen Messbeginn um 1864, inkl. Vor- und Nachteile der Methoden und der errechneten Änderung in der Schweizer Jahresmittel-Temperatur.

Vorgehen	Vorteile	Nachteile	$\Delta$ aus Periode 1864-2017
<b>LinTrend1</b> Differenz vom ersten zum letzten Wert des linearen Fits (1864-2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuelles und bewährtes Vorgehen von MeteoSchweiz</li> <li>• Vorgehen ist weit verbreitet und etabliert</li> <li>• Jüngste gemessene Veränderung wird in Berechnung einbezogen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Annahme einer linearen Zunahme</li> <li>• Erwartungswert am Anfang / Ende der Reihe eher tief / hoch, wenn Annahme verletzt</li> <li>• Klima ändert von Jahr zu Jahr</li> </ul>	$+2.01 \pm 0.34 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>LinTrend2</b> Differenz von der Mitte einer 30-jährigen Periode am Anfang und Ende des linearen Fits (1879-2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwartungswerte am Anfang und Ende zentriert in einer 30-jährigen Periode</li> <li>• Ähnlicher dem Vergleich zweier Perioden am Anfang und Ende, aber unter Berücksichtigung der Veränderung innerhalb der Normperiode</li> <li>• Jüngste gemessene Veränderung wird in Berechnung einbezogen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Annahme einer linearen Zunahme</li> <li>• Klima ändert von Jahr zu Jahr</li> <li>• Neues, kaum verwendetes Vorgehen</li> <li>• Erschwerte Kommunikation</li> </ul>	$+1.62 \pm 0.27 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>DiffPer1</b> Vergleich der Mittelwerte von zwei über längere Zeit fixen Perioden am Anfang und Ende (Bsp. 1871-1900 zu 1981-2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung der WMO-Standardperioden</li> <li>• Periode entspricht derjenigen, welche zur Einordnung der einzelnen Jahre verwendet wird (Bsp. Klimabulletin)</li> <li>• Anwendbar im Vergleich mit Resultaten aus Szenarien (Bsp. CH2018)</li> <li>• Vereinfachte Kommunikation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderung seit Periodenende (Bsp. 2010) wird nicht berücksichtigt</li> <li>• Kommunizierte Erwärmung bleibt während 10 Jahren die gleiche</li> </ul>	$+1.51 \pm 0.30 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>DiffPer2</b> Vergleich der Mittelwerte von zwei Perioden am Anfang und Ende, wobei die Endperiode jedes Jahr nachgeschoben wird (Bsp. 1871-1900 zu 1988-2017)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jüngste gemessene Veränderung wird in Berechnung einbezogen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klima ändert jedes Jahr (z.T. sogar stärker als beim linearen Trend)</li> <li>• Länge der Periode unklar (IPCC verwendet am Ende z.T. nur 20 Jahre)</li> <li>• Schwierige Kommunikation, weil zusätzlich zu zwei WMO-Perioden und einer vorindustriellen Periode noch eine zusätzliche Periode verwendet wird</li> </ul>	$+1.85 \pm 0.28 \text{ }^\circ\text{C}$

Aus Tabelle 4 wird deutlich, dass es keine einfache Antwort auf die Frage gibt, wie sich die Temperatur in der Schweiz in den letzten rund 150 Jahren verändert hat. Je nach Methode ergeben sich unterschiedliche Aussagen, die je nach Ausgangslage (v.a. Zeitpunkt innerhalb einer WMO-Standardperiode) zudem weiter oder weniger weit auseinanderliegen können. In Abbildung 4 und Abbildung 5 ist die Entwicklung des Schweizer Temperaturmittels (Jahr, Saison) und die Veränderung seit Messbeginn / vorindustriell, berechnet mit vier verschiedenen Methoden, vergleichend dargestellt. Der Vergleich zeigt die generellen Unterschiede der Aussagen und ihre zeitliche Entwicklung.



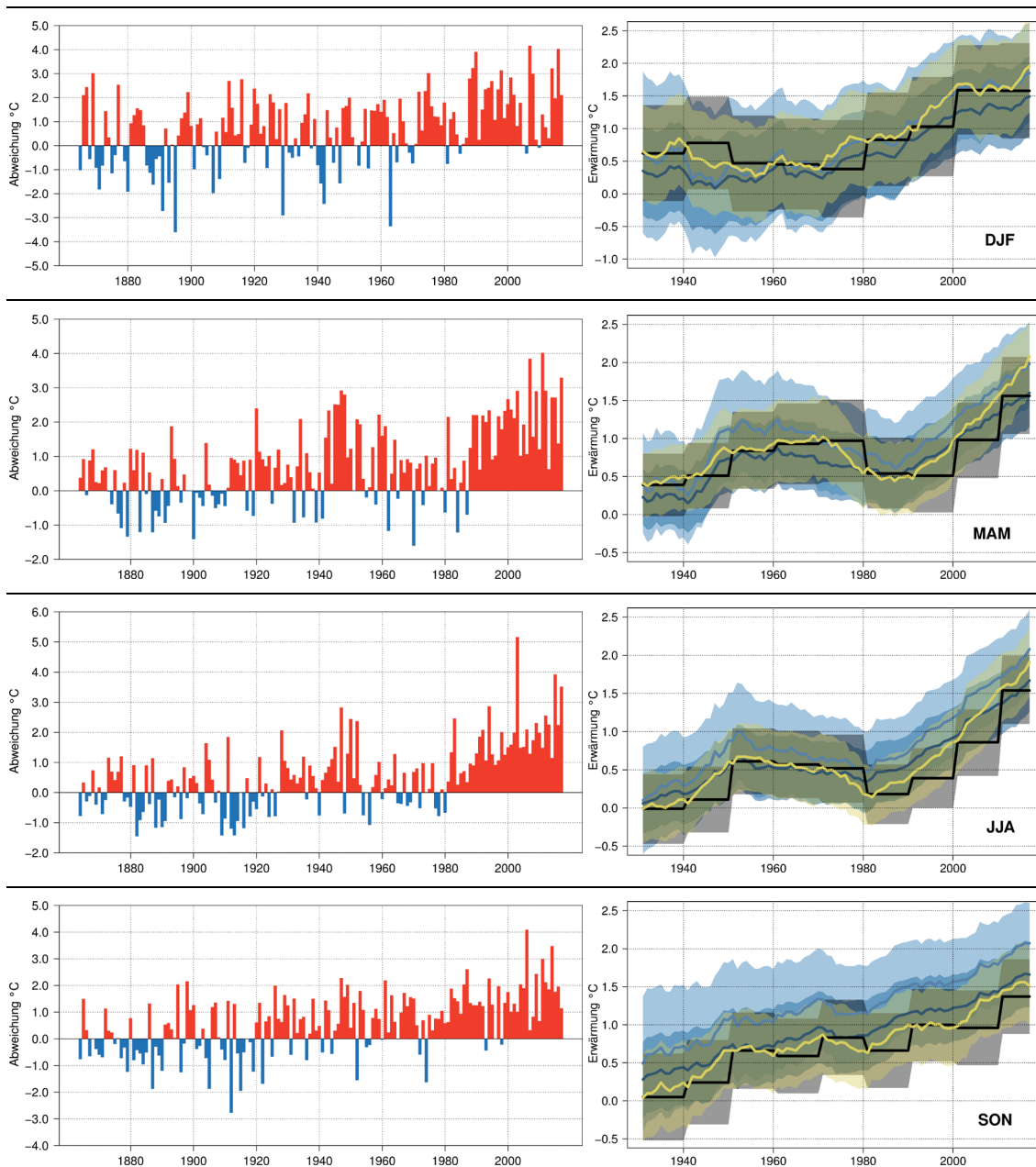
**Abbildung 4:** Jahresmitteltemperatur in der Schweiz von 1864 bis 2017 als Abweichung von der vorindustriellen Referenzperiode 1871-1900 (links) und Entwicklung der mit verschiedenen Methoden bestimmten Temperaturveränderung seit Messbeginn in der Periode 1931 bis 2017 (rechts). Die errechneten Differenzen sind zusammen mit ihren 95%-Konfidenzintervallen dargestellt (hellblau: LinTrend1; dunkelblau: LinTrend2; schwarz: DiffPer1; gelb; DiffPer2).

Generell zeigt sich, dass LinTrend1 häufig über den gesamten Zeitraum zum höchsten Wert bezüglich Temperaturzunahme seit 1864 führt. Dies insbesondere dann, wenn die Temperatur seit Messbeginn mehr oder weniger kontinuierlich angestiegen ist (Bsp. Jahr, Herbst) oder wenn zeitlich beschränkte, grössere Temperaturzunahmen auftraten (Bsp. Frühling, Sommer). In extremen Fällen liegt LinTrend1 kurzzeitig oder über längere Zeit fast 0.5 Grad über den anderen Masszahlen und häufig auch ausserhalb der Konfidenzintervalle der anderen Methoden. Grund dafür ist einerseits die Tatsache, dass LinTrend1 im Gegensatz zu den anderen Ansätzen die Differenz zwischen dem ersten und dem letzten Wert des Datensatzes berücksichtigt, andererseits aber auch stärker auf Veränderungen am Ende der Periode reagiert. Beispiele dafür sind die 1940er Jahre (Frühling, Sommer) oder das Jahr 2003 (Sommer), nach welchem der Wert um 0.2 °C hochschnellt. Der Einfluss einzelner Ausreisser könnte durch die Verwendung einer robusteren, linearen Trendschätzung eingeschränkt werden. In allen übrigen Fällen hat dies aber keinen Einfluss auf die Tatsache, dass LinTrend1 zu den höchsten Werten führt.

LinTrend2 und DiffPer2 zeigen meist relativ ähnliche Werte, wobei DiffPer2 stärker auf die dekadische Variabilität der jährlichen und saisonalen Temperaturmittel reagiert. DiffPer2 weist deshalb die etwas stärkeren Schwankungen auf und geht bei abnehmender Temperatur auch deutlicher zurück. Auffällig ist zudem, dass sich DiffPer2 im Jahr sowie im Frühling und im Sommer seit 2000 immer mehr an LinTrend1 annähert. Ursache dafür ist der ausgeprägte Temperatursprung Ende der 1980er Jahre in diesen Jahreszeiten, auf den die Methoden unterschiedlich reagieren.

DiffPer1 führt in den meisten Fällen zur kleinsten Masszahl und kann in diesem Sinne, insbesondere seit 1980, als konservativster Ansatz bezeichnet werden. Die Methode hinkt laufend hinter den ande-

ren Ansätzen her, was je nach Jahreszeit am Ende einer WMO-Standardperiode zu einer Differenz von bis zu 0.8 Grad C im Vergleich mit LinTrend1 führte. Aber auch im Vergleich mit DiffPer2 ergeben sich Differenzen bis zu 0.5 °C. Im Verhältnis zur gesamten Temperaturzunahme seit Messbeginn / vorindustriell ist dies ein Unterschied in der Grössenordnung von bis zu 50%.



**Abbildung 5:** Saison-Mitteltemperatur in der Schweiz von 1864 bis 2017 als Abweichung von der vorindustriellen Referenzperiode 1871-1900 (links) und Entwicklung der mit verschiedenen Methoden bestimmten Temperaturveränderung seit Messbeginn in der Periode 1931 bis 2017 (rechts). Die errechneten Differenzen sind zusammen mit ihren 95%-Konfidenzintervallen dargestellt (hellblau: LinTrend1; dunkelblau: LinTrend2; schwarz: DiffPer1; gelb: DiffPer2).

## 3.2 Diskussion und Wahl der Methode

Alle vorgestellten Methoden weisen Vor- und Nachteile auf und es gibt keinen Ansatz, der sich klar stärker als die anderen empfiehlt. Folgende Überlegungen führten zur Priorisierung der Methoden:

1. Das Klima kann als statistische Beschreibung der relevanten Klimaelemente bezeichnet werden, die für eine nicht zu kleine zeitliche Grössenordnung die Gegebenheiten und Variationen der Erdatmosphäre charakterisieren (Hantel, 1987). Einzelne Jahre oder Saisons können deutlich von diesen Zuständen abweichen und sind auch in einem sich verändernden Klima Ausdruck der natürlichen Variabilität. Sie sollten in diesem Sinne nicht dazu führen, dass sich die Bezugsgrösse (Klima) zur Bestimmung der Temperaturveränderung ändert.
2. Die Annahme einer durch dekadische Variabilität überlagerten, linearen Temperaturentwicklung seit 1864 ist problematisch. Eine sichtbare, generelle Erwärmung setzte erst ab Mitte des 20. Jahrhunderts ein und kann statistisch vorher in der Schweiz auch nicht nachgewiesen werden. Der lineare Fit führt dazu, dass der Erwartungswert am Anfang und am Ende der Reihen zu tief bzw. zu hoch geschätzt wird (vgl. Abbildung 3), woraus sich eine verhältnismässig hohen Temperaturveränderung errechnet. Die Anwendbarkeit eines linearen Modells ab 1864 ist schwierig zu rechtfertigen.
3. MeteoSchweiz verwendet die gültige 30-jährige Standardperiode der WMO als Grundlage zur Einordnung der aktuellen Witterung (Bsp. Klimabulletin, Klimareport). Die Mittelwerte dieser Periode entsprechen den Erwartungswerten und beschreiben in diesem Sinne das aktuell herrschende Klima. Im Sinne einer konsistenten Argumentation wäre es angebracht, dieselbe Definition bezüglich aktuellem Klima auch für die Veränderung des Klimas gegenüber früher zu verwenden. Allerdings kann dies am Ende einer Standardperiode dazu führen, dass Aussagen zur Erwärmung seit der vorindustriellen Zeit im Vergleich mit den jüngsten 30 Jahren bereits deutlich voneinander abweichen.

### Fazit:

**Zur Berechnung der Temperaturzunahme im Kontext des globalen 1.5/2°C-Ziels wird an der MeteoSchweiz neu bevorzugt der Vergleich von vorindustrieller Referenzperiode 1871-1900 mit einer aktuellen 30-jährigen Periode (DiffPer1 oder DiffPer2) verwendet werden. Je nach Anwendung empfehlen sich eher die gültige WMO-Standardperiode (z.B. Vergleich mit Klimaszenarien CH2018) oder die letzten 30 Jahre (z.B. Einbezug der jüngsten Entwicklung). Der linearen Fit (LinTrend1) bleibt ebenfalls möglich und ist insbesondere für den Vergleich mit externen Datensätzen und Arbeiten unerlässlich. Wichtig ist in jedem Fall die klare Deklaration der Methode, die zur Berechnung der kommunizierten Werte verwendet wurde.**

## 4 Temperaturentwicklung in der Schweiz und global im Vergleich

Im Zusammenhang mit der langjährigen Temperaturentwicklung in der Schweiz und ihrer Kommunikation stellt sich auch die Frage, wie sich die Veränderung mit der globalen Erwärmung vergleicht. Mit dem gleichen Ansatz aus Differenz zwischen der festgelegten vorindustriellen Referenzperiode und der jüngsten WMO-Standardperiode kann die Temperaturzunahme auf globaler Ebene bestimmt und mit den Schweizerwerten für diesen Zweck verglichen werden. Da verschiedene globale Datensätze zur Verfügung stehen, um diesen Vergleich vorzunehmen, sollte geklärt sein, welcher globale Datensatz als Standard dazu verwendet werden soll und welche Konsequenzen die Wahl für den Vergleich mit der Schweiz hat. Im Folgenden werden die fünf wichtigsten globalen Datensätze kurz vorgestellt und Unterschiede bezüglich vorindustrieller Referenzperiode, linearem Trend seit 1864 und Aussagen im Vergleich mit der Schweiz aufgezeigt.

### 4.1 Globale Datensätze der Temperatur

Globale gegitterte Temperatur-Datensätze sind die Grundlage des Klima-Monitorings auf globaler und kontinentaler Ebene. Es existieren heute verschiedene solcher Datensätze, die auf der Basis von langen Messreihen über Land und Meer von verschiedenen Arbeitsgruppen bereitgestellt werden. Die wichtigsten und am häufigsten verwendeten Datensätze sind:

- **HadCRUT4:** UK Met Office und Climatic Research Unit der University of East Anglia (Morice et al., 2012), Daten ab 1850; <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/>
- **Cowtan-Way:** University of York (Cowtan and Way, 2014), Daten ab 1850; <http://www-users.york.ac.uk/~kdc3/papers/coverage2013/>
- **NOAAGlobalTemp:** National Center for Environmental Information der NOAA (Vose et al., 2012), Daten ab 1880; <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/noaa-global-surface-temperature-noaaglobaltemp>
- **GISTEMP:** Goddard Institute for Space Studies der NASA (Hansen et al., 2010), Daten ab 1880; <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- **BEST:** University of Berkeley (Rohde et al., 2013), Daten ab 1850; <http://berkeleyearth.org/data/>

Unterschiede in den Datensätzen bestehen bezüglich vieler Aspekte (e.g. Datengrundlage, Homogenisierung der Messreihen, Umgang mit fehlenden Werten in Raum und Zeit, Methodik der Gitterung/Interpolation, Einbezug der Arktis/Antarktis, usw.). Die Hauptunterschiede lassen sich wie folgt zusammenfassen: HadCRUT4 und Cowtan-Way sowie NOAAGlobalTemp und GISTEMP basieren

#### 4 Temperaturentwicklung in der Schweiz und global im Vergleich

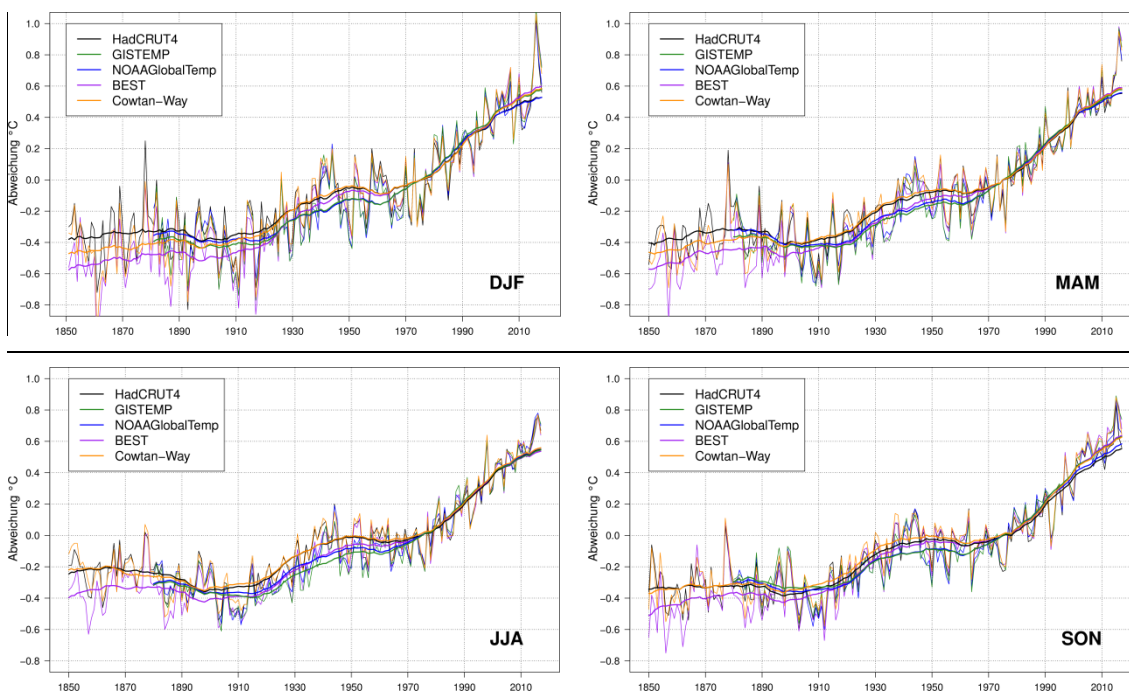
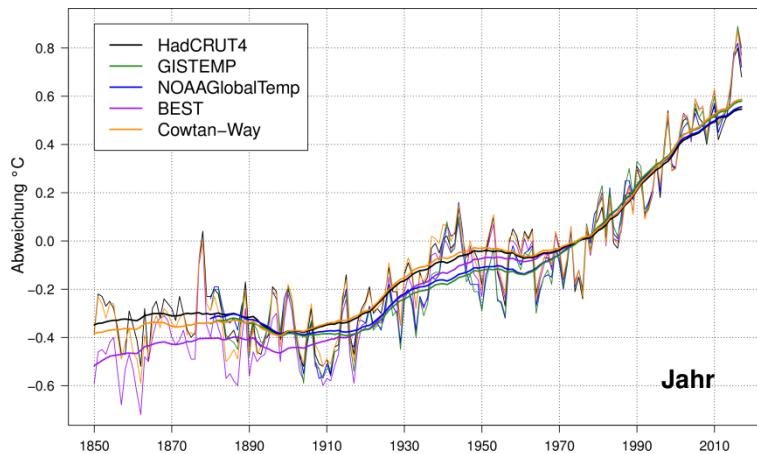
je auf der gleichen Datengrundlage, unterscheiden sich aber bezüglich Einbezug von Regionen mit schlechter oder ohne Abdeckung durch Stationsmessungen. Während sich HadCRUT4 und NOAA-GlobalTemp zur Bildung eines globalen Mittels auf Gitterzellen mit genügend Stationsinformationen beschränken, wird von Cowtan-Way und GISTEMP jederzeit eine Interpolation auf alle Gitterzellen vorgenommen. Zahlreiche Vergleiche der globalen Mitteltemperatur, gerechnet aus den verschiedenen Datensätzen, haben jedoch eine grosse Konsistenz bezüglich Variabilität und Langzeit-Trend gezeigt (e.g. Wen et al., 2011; Jones, 2016) und Differenzen liegen meist innerhalb der Unsicherheit. Im Folgenden werden diese Unterschiede zwischen den Datensätzen aufgezeigt und ihre Auswirkungen auf den Vergleich mit der Schweiz diskutiert.

### 4.2 Vergleich der globalen Temperaturdatensätze

Die fünf verfügbaren Datensätze decken unterschiedliche Zeiträume ab: Während HadCRUT4, Cowtan-Way und BEST um 1850 beginnen, stehen für NOAAGlobalTemp und GISTEMP erst Daten ab 1880 zur Verfügung. Dies schränkt die Wahl des Datensatzes für den Vergleich mit der Schweiz bereits ein, weil die vorindustrielle Referenzperiode nur für drei Datensätze anwendbar ist. Im Folgenden werden trotzdem zuerst alle fünf Datensätze in den Vergleich einbezogen, um eine bessere Grundlage für die Entscheidung zwischen HadCRUT4, Cowtan-Way und BEST zu erhalten.

#### 4.2.1 Vergleich der Temperaturentwicklung

Variabilität und Trends der globalen Mitteltemperatur sind in allen untersuchten Datensätzen zu allen Jahreszeiten grundsätzlich ähnlich. Innerhalb der Periode, welche von allen Datensätzen abgedeckt wird, zeigen sich in den geglätteten Verläufen Unterschiede von 0.1 bis 0.2 °C. HadCRUT4, GISTEMP, NOAAGlobalTemp und Cowtan-Way beginnen auf sehr ähnlichem Niveau und driften in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts etwas auseinander. HadCRUT4 und Cowtan-Way zeigen hier eine stärkere Zunahme als die anderen Zeitreihen und liegen im Mittel bis 0.1 Grad höher als die anderen Datensätze. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts kommen alle Kurven wieder zusammen. Die auffälligsten Abweichungen zeigt BEST: Einerseits liegt die geglättete Kurve im 19. Jahrhundert in allen Jahreszeiten 0.1 bis 0.2 Grad unterhalb der anderen vier Datenreihen. Andererseits zeigt BEST in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts die stärkste Zunahme, „überholt“ GISTEMP und NOAAGlobalTemp und nähert sich HadCRUT4 und Cowtan-Way an. HadCRUT4 zeigt über den gesamten, vorhandenen Zeitraum die geringste Zunahme. Der beschriebene Verlauf widerspiegelt sich auch in den linearen Trends (vgl. Tabelle 5). HadCRUT4 zeigt in allen Jahreszeiten die kleinsten, BEST die grössten Werte. Mit Ausnahme von BEST sind die Unterschiede in den Trends  $\leq 0.1$  Grad und die Rangierung der wärmsten 4 Jahre ist identisch.



**Abbildung 6:** Globale Mitteltemperatur (Jahr, Saison) in der Periode 1850-2017 als Abweichung zur Periode 1961-1990 gerechnet aus fünf verschiedenen Datensätzen. Zusätzlich zu den einzelnen Werten ist ein 30-jähriges, laufendes Mittel eingezeichnet.

**Tabelle 5:** Saisonale und jährliche globale Temperaturzunahme in °C pro 100 Jahren in der Periode 1880 bis 2017 gerechnet mit linearer Regression aus fünf verschiedenen globalen Datensätzen.

	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
<b>HadCRUT4</b>	0.69	0.70	0.65	0.66	0.67
<b>Cowtan-Way</b>	0.76	0.73	0.66	0.68	0.71
<b>GISTEMP</b>	0.77	0.75	0.69	0.67	0.72
<b>NOAAGlobalTemp</b>	0.71	0.72	0.68	0.66	0.69
<b>BEST</b>	0.85	0.82	0.73	0.76	0.79

#### 4 Temperaturentwicklung in der Schweiz und global im Vergleich

Die Ursachen für die Differenzen zwischen den Datensätzen sind eine Kombination von Unterschieden in der Datengrundlage (z.B. Anzahl verwendeter Stationen), in der Datenbearbeitung (z.B. Homogenisierung) und in der räumlicher Interpolation (v.a in Regionen ohne Messdaten), die letztlich nur schwer auseinander zu halten sind. Eine wichtige Rolle dürfte aber die unterschiedliche Art und Weise spielen, wie mit der ungleichen Verteilung von Messstationen auf der Welt und der damit verbundenen unterschiedlichen Interpolation der Temperatur in nicht repräsentierte Regionen, insbesondere auch in die Pol-Regionen (Arktis / Antarktis), umgegangen wird (UK MetOffice, 2018). Während in BEST, Cowtan-Way und GISTEMP regionsspezifische Interpolationen vorgenommen werden, verwenden NOAA GlobalTemp und HadCRUT4 das Mittel der restlichen Welt für nicht repräsentierte Gebiete. In Jahren mit überdurchschnittlich warmen Temperaturen in den Pol-Regionen (e.g. 2016 und 2017) führt dies zu deutlichen Unterschieden in der globalen Mitteltemperatur und unterschiedliche Langzeitentwicklungen in den Regionen können zu unterschiedlichen Trends führen. Aber auch der unterschiedliche Umgang mit Inhomogenitäten in den Messreihen trägt zu den Unterschieden bei. Während HadCRUT4 und Cowtan-Way v.a. bereits homogenisierte Messreihen verwendet, wird diese Arbeit für die anderen Datensätze zentral gemacht, wobei Metainformationen mehrheitlich nicht in die Bearbeitung einfließen können.

#### 4.2.2 Vergleich verschiedener Normperioden in globalen Datensätzen

Aufgrund der verfügbaren Zeitperiode können nur HadCRUT4, Cowtan-Way und BEST für den Vergleich der verschiedenen vorindustriellen Referenzperioden verwendet werden. Tabelle 6 zeigt die entsprechenden Jahres- und Saisonwerte gerechnet aus den Anomalien 1961-1990.

**Tabelle 6:** Mittelwerte (als Anomalien zu 1961-1990 in °C) verschiedener vorindustrieller Referenzperioden für die vier Jahreszeiten und das gesamte Jahr in der globalen Mitteltemperatur von HadCRUT4, Cowtan-Way und BEST.

Periode	DJF			MAM			JJA			SON			Jahr		
	CRU	COW	BES	CRU	COW	BES	CRU	COW	BES	CRU	COW	BES	CRU	COW	BES
1850-1900	-0.34	-0.42	-0.50	-0.35	-0.40	-0.48	-0.24	-0.24	-0.35	-0.32	-0.32	-0.40	-0.31	-0.35	-0.43
1861-1880	-0.35	-0.45	-0.52	-0.32	-0.39	-0.45	-0.19	-0.20	-0.28	-0.32	-0.30	-0.35	-0.29	-0.33	-0.40
1864-1900	-0.33	-0.41	-0.47	-0.33	-0.38	-0.44	-0.24	-0.25	-0.32	-0.32	-0.30	-0.36	-0.30	-0.33	-0.40
1871-1900	-0.33	-0.40	-0.48	-0.32	-0.37	-0.44	-0.25	-0.27	-0.34	-0.32	-0.30	-0.37	-0.30	-0.33	-0.40

Die Differenzen zwischen den Mittelwerten verschiedener vorindustrieller Referenzperioden sind innerhalb eines Datensatzes sehr klein und liegen in allen Jahreszeiten unter 0.1 °C. Grösste Abweichung zeigt die Periode 1861-1880 im Sommer (JJA). Die Wahl der vorindustriellen Referenzperiode spielt keine entscheidende Rolle für die Kommunikation der Temperaturzunahme auf globaler Skala. Die Periode 1871-1900 kann gut als vorindustrielle Referenz verwendet werden. Die Unterschiede zu 1850-1900 liegen bei HadCRUT4 zwischen 0.00 und 0.03 °C, bei Cowtan-Way zwischen 0.02 und 0.03 °C und bei BEST zwischen 0.01 und 0.04 °C.

### 4.3 Diskussion und Wahl des globalen Datensatzes

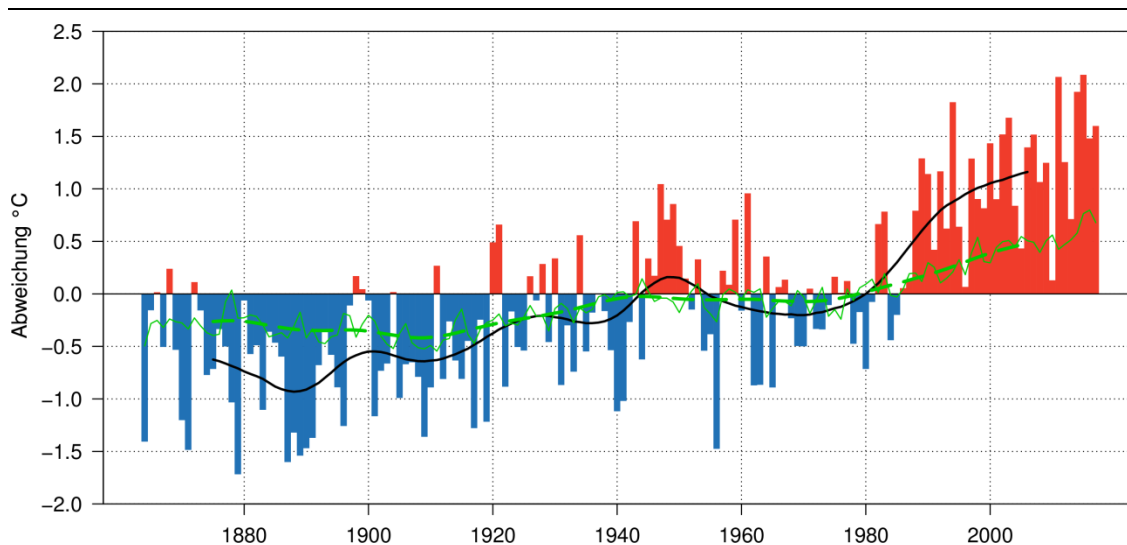
Soll die im vorliegenden Bericht evaluierte vorindustrielle Referenzperiode 1871-1900 als Referenz zur Berechnung der Temperaturzunahme auch auf globale Temperaturmittelwerte angewandt werden, stehen aufgrund der verfügbaren Daten nur HadCRUT4, Cowtan-Way und BEST zur Verfügung. Die Datenreihen von GISTEMP und NOAAGlobalTemp beginnen erst 1880 und sind somit zu kurz für diese Anwendung. GISTEMP und NOAAGlobalTemp geben allerdings nützliche Hinweise für die Wahl des globalen Datensatzes. Beide beginnen um 1880 im Gegensatz zu BEST auf sehr ähnlichem Niveau wie HadCRUT4 und Cowtan-Way. Vergleiche von frühen Referenzperioden mit einer aktuellen Periode ergeben mit HadCRUT4, Cowtan-Way, GISTEMP und NOAAGlobalTemp demnach sehr ähnliche Werte, während mit BEST in allen Jahreszeiten eine leicht stärkere Zunahme errechnet wird. Die Datensätze von HadCRUT4 und Cowtan-Way unterscheiden sich primär im Winter und Frühling, wo die Referenzperiode 1871-1900 um 0.05 bis 0.07°C auseinander liegt. Grund für die Differenzen sind die methodischen Unterschiede bei der Berücksichtigung von Gebieten auf der Welt, welche in den Messungen nicht repräsentiert sind. Dieses Problem ist in früheren Perioden mit geringerer Stationsdichte ausgeprägter als in der Neuzeit.

Da die Entscheidung, welcher Datensatz der Wahrheit näher kommt, letztlich nicht getroffen werden kann, wird vom IPCC (2018) ein Mittel mehrerer Datensätze zur Berechnung der globalen Temperaturzunahme seit der vorindustriellen Zeit verwendet. Das gleiche Vorgehen wird von Cowtan-Way (University of York) vorgeschlagen, da sie aufgrund beschränkter Ressourcen ihren Datensatz nur nach dem Prinzip des best efforts unterhalten können. Unter Berücksichtigung der sehr kleinen Differenzen zwischen HadCRUT4 und Cowtan-Way lohnt sich der Aufwand, laufend mehrere globale Datensätze auszuwerten, für die Anwendung bei MeteoSchweiz jedoch kaum.

#### Fazit:

**Für den Vergleich der Temperaturzunahme in der Schweiz mit der globalen Entwicklung wird der HadCRUT4-Datensatz als Standard verwendet. Er deckt den benötigten Zeitraum ab, vergleicht sich besser als BEST mit den anderen Datensätzen und wird vom Met Office Hadley Centre mit hoher Zuverlässigkeit unterhalten und aufdatiert.**

4 Temperaturentwicklung in der Schweiz und global im Vergleich



**Abbildung 7:** Jahresmittel-Temperatur der Schweiz 1864-2017 im Vergleich mit der globalen Temperaturentwicklung gerechnet aus dem HadCRUT4-Datensatz. Dargestellt sind die Abweichungen zur Referenzperiode 1961-1990 (Schweiz: rot-blaue Säulen; HadCRUT4: grüne Linie) zusammen mit einem 30-jährigen Gauss-Tiefpassfilter (Schweiz: schwarze Linie; HadCRUT4: grün gestrichelte Linie).

**Tabelle 7:** Veränderungen im Schweizer Temperaturmittel (°C) in der Periode 1864 bis 2017 im Vergleich mit der globalen Mitteltemperatur aus HadCRUT4 berechnet mit drei verschiedenen diskutierten Methoden.

Methode	DJF		MAM		JJA		SON		Jahr	
	CH	global	CH	global	CH	global	CH	global	CH	global
DiffPer1 1871-1900 zu 1981-2010	1.65	0.63	1.57	0.62	1.53	0.54	1.38	0.59	1.51	0.60
DiffPer2 1871-1900 zu 1988-2017	1.91	0.74	2.08	0.75	1.90	0.67	1.52	0.72	1.85	0.72
LinTrend1 1864-2017	1.88	0.90	1.98	0.92	2.05	0.76	2.08	0.85	2.01	0.86

## Literaturverzeichnis

- Abram NJ, McGregor HV, Tierney JE, Evans MN, McKay NP, Kaufman DS & the PAGES 2k Consortium, 2016:** Early onset of industrial-era warming across the oceans and continents. *Nature* 536, 411-418. [doi:10.1038/nature19082](https://doi.org/10.1038/nature19082)
- 
- Begert M, 2007:** Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN), Arbeitsbericht der MeteoSchweiz, 215, 43p.
- 
- Begert M, Frei C, 2018:** Long-term area-mean temperature series for Switzerland – Combining homogenized station data and high resolution grid data. *Int. J. Climatol.* 1-16. [doi:10.1002/joc.5460](https://doi.org/10.1002/joc.5460)
- 
- Cowan K, Way RG, 2014:** Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends. *Quarterly Journal of the Royal Meteorol. Soc.* 140: 1935-1944. [doi:10.1002/qj.2297](https://doi.org/10.1002/qj.2297)
- 
- Hansen J, Ruedy R, Sato M, Lo K, 2010:** Global surface temperature change, *Reviews of Geophysics* 48, RG4004. [doi:10.1029/2010RG000345](https://doi.org/10.1029/2010RG000345)
- 
- Hantel M, Kraus C, Schönwiese CD, 1987:** *Climate definition*. Springer Verlag, Berlin. ISBN 3-540-17473-7
- 
- Henley BJ, King AD, 2017:** Trajectories towards the 1.5°C Paris target: modulation by the Interdecadal Pacific Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 4256-4262. [doi:10.1002/2017GL073480](https://doi.org/10.1002/2017GL073480)
- 
- IPCC, 2013:** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (eds Stocker TF et al.). Cambridge Univ. Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- 
- IPCC, 2018:** Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- 
- Jones P, 2016:** The reliability of global and hemispheric surface temperature records. *Adv. Atmos. Sci.*, 33(3), 1-14. [doi:10.1007/s00376-015-5194-4](https://doi.org/10.1007/s00376-015-5194-4)
- 
- King AD, Black MT, Min S-K, Fischer EM, Mitchell DM, Harrington LJ, Perkins-Kirkpatrick SE, 2016:** Emergence of heat extremes attributable to anthropogenic influences. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 3438-3443. [doi:10.1002/2015GL067448](https://doi.org/10.1002/2015GL067448)
- 
- Knutti R, Rogelj J, Sedláček J, Fischer EM, 2016:** A scientific critique of the two-degree climate change target. *Nature Geoscience* 9, 13-18. [doi:10.1038/ngeo2595](https://doi.org/10.1038/ngeo2595)
-

**Medhaug I, Stolpe MB, Fischer EM, Knutti R, 2017:** Reconciling controversies about the 'global warming hiatus'. *Nature* 545, 41-47. [doi:10.1038/nature22315](https://doi.org/10.1038/nature22315)

---

**Morice CP, Kennedy JJ, Rayner NA, Jones PD, 2012:** Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 dataset. *J. Geophys. Res.*, 117. [doi:10.1029/2011JD017187](https://doi.org/10.1029/2011JD017187)

---

**NCCS (Hrsg.), 2018:** CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2.

---

**Rohde R, Muller R, Jacobsen R, Perlmutter S, Rosenfeld A, Wurtele J, Curry J, Wickham C, Mosher S, 2013:** Berkeley Earth Temperature Averaging Process. *Geoinformatics and Geostatistics: An Overview* 1:2. [doi:10.4172/2327-4581.1000103](https://doi.org/10.4172/2327-4581.1000103)

---

**UNFCCC, 2012:** Report of the Conference of the Parties on its Eighteenth Session, Held in Doha from 26 November to 8 December 2012 - Addendum - Part Two: Action Taken by the Conference of the Parties at its Eighteenth Session FCCC/CP/2012/8/Add.1.

---

**UK MetOffice, 2018:** An overview of global surface temperatures in 2017. <https://www.metoffice.gov.uk/research/news/2018/global-surface-temperatures-in-2017>

---

**Vose RS, Arndt D, Banzon VF, Easterling DR, Gleason B, Huang B, Kearns E, Lawrimore JH, Menne MJ, Peterson TC, Reynolds RW, Smith TM, Williams CN, Wuertz DL, 2012:** NOAA's merged land-ocean surface temperature analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1677-1685. [doi:10.1175/BAMS-D-11-00241.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00241.1)

---

**Wen X, Tang G, Wang S, Huang J, 2011:** Comparison of global mean temperature series. *Adv. Clim. Change Res.*, 2(4). [doi:10.3724/SP.J.1248.2011.00187](https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2011.00187)

---

**WMO, 1959:** Technical Regulations No49, Vol. 1 (Bd. 2), 2nd edn. WMO, Geneva, Switzerland.

---

**WMO, 2011:** Guide to Climatological Practices. WMO-No. 100, 2011 edn. WMO, Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-63-10100-6.

---

**WMO, 2017:** WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals, 2017 edition, WMO-No. 1203, Geneva, Switzerland. ISBN 978-92-63-11203-3.

---



**MeteoSchweiz**  
Operation Center 1  
CH-8044 Zürich-Flughafen  
T +41 58 460 99 99  
[www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)

**MeteoSvizzera**  
Via ai Monti 146  
CH-6605 Locarno Monti  
T +41 58 460 97 77  
[www.meteosvizzera.ch](http://www.meteosvizzera.ch)

**MétéoSuisse**  
7bis, av. de la Paix  
CH-1211 Genève 2  
T +41 58 460 98 88  
[www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch)

**MétéoSuisse**  
Chemin de l'Aérogologie  
CH-1530 Payerne  
T +41 58 460 94 44  
[www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch)

