



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03DAS083



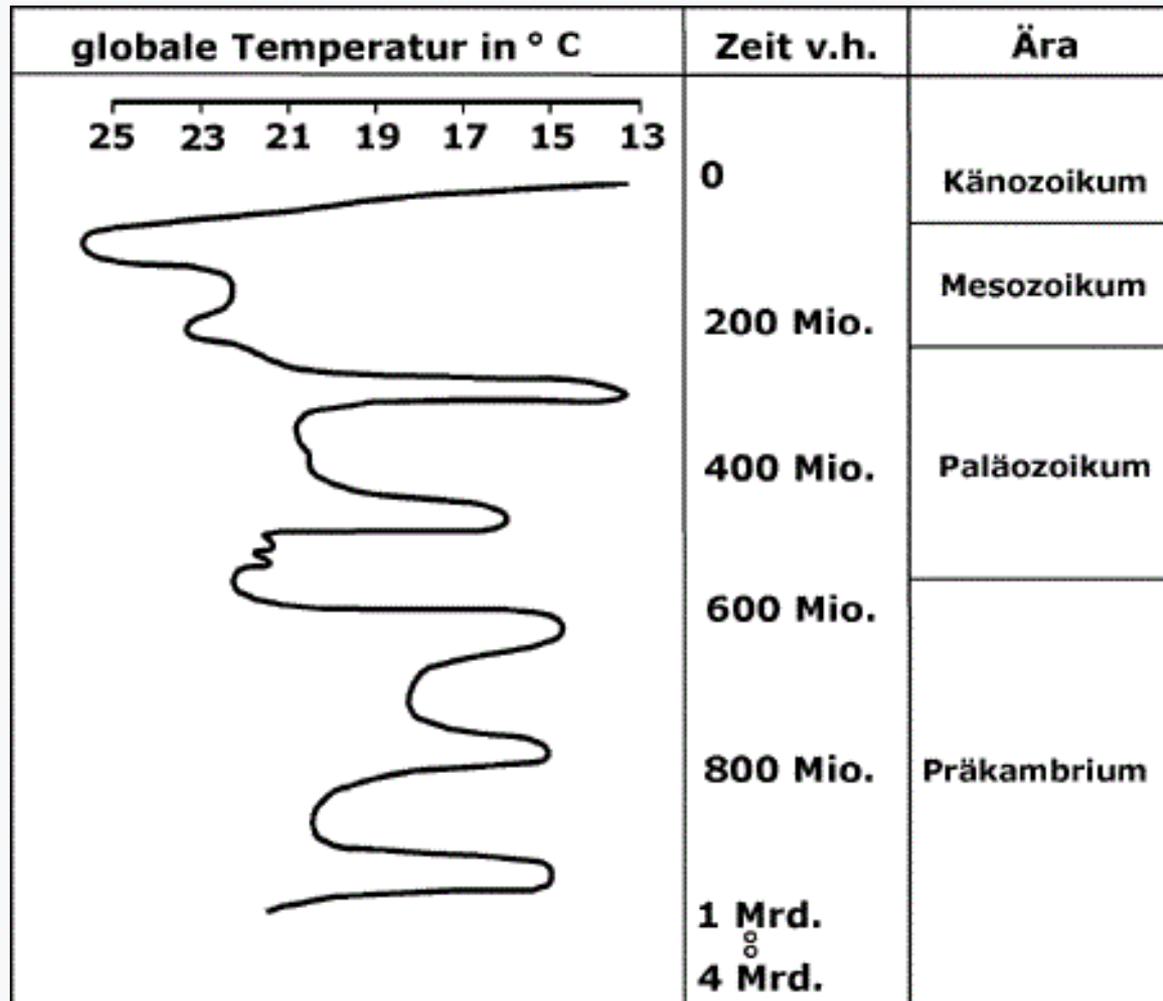
Grundlagen des Klimawandels

Manfred Fink & Jonas Brock
Lehrstuhl für Geoinformatik
Friedrich – Schiller – Universität Jena

Ursachen für natürliche Klimaänderungen im Laufe der Erdgeschichte

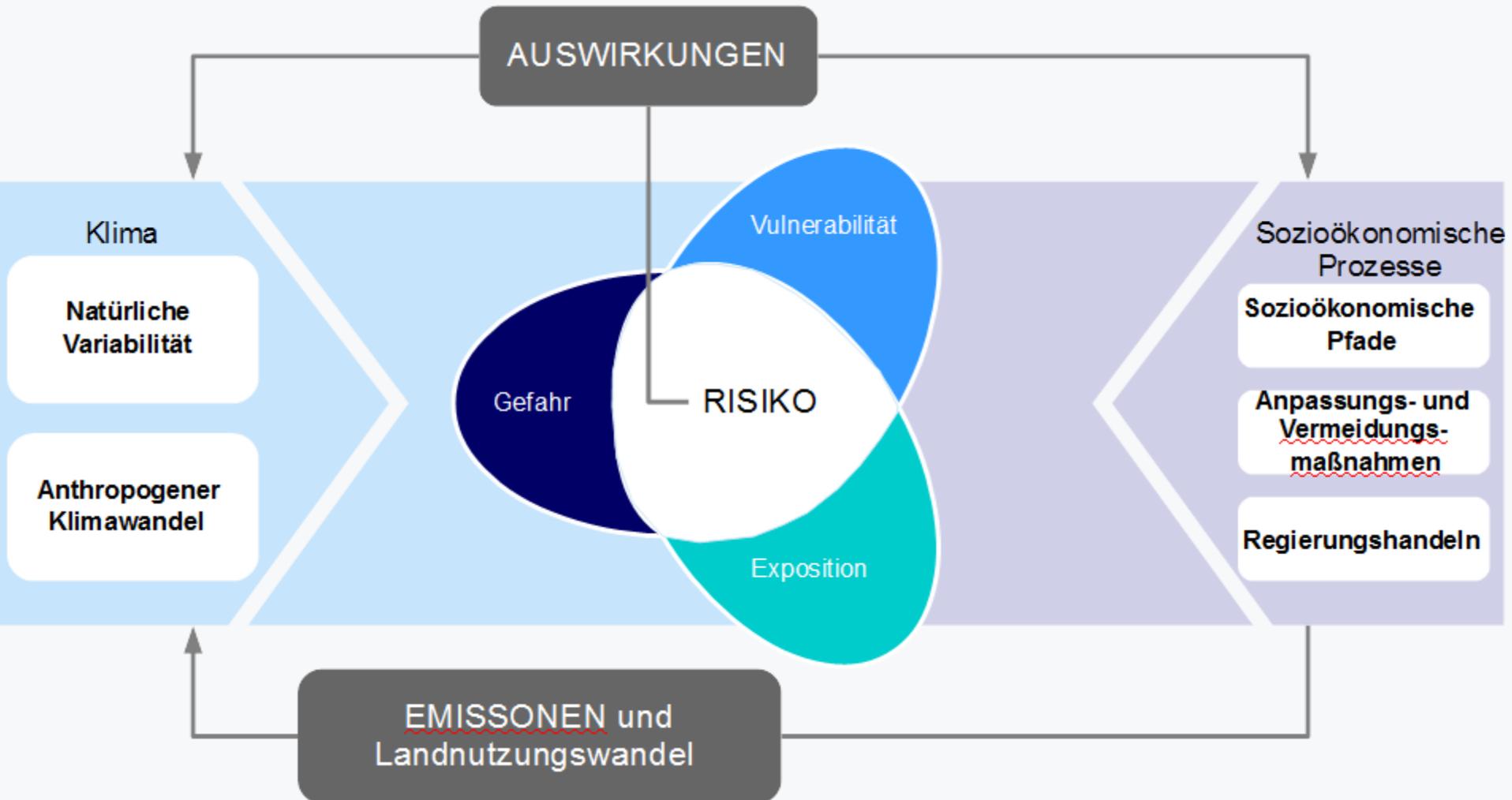
Klimaänderungen in der Erdgeschichte

Klimaänderungen sind kein neues Phänomen:



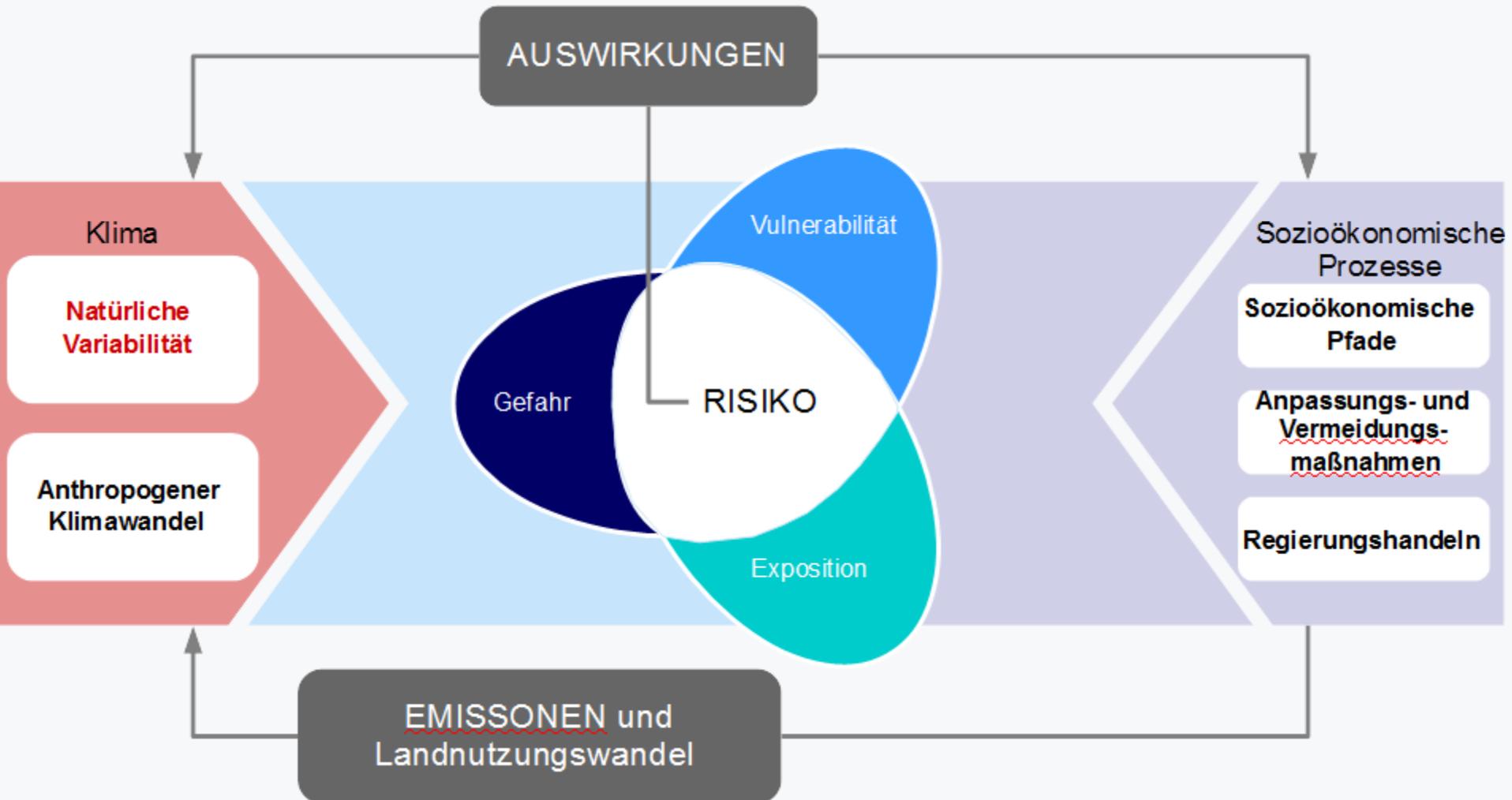
Entwicklung der globalen bodennahen Temperatur im Verlauf der Erdgeschichte
Quelle: PG-Net der FU Berlin nach Schönwiese 2003

Risikomanagement: Klimaänderungen in der Erdgeschichte



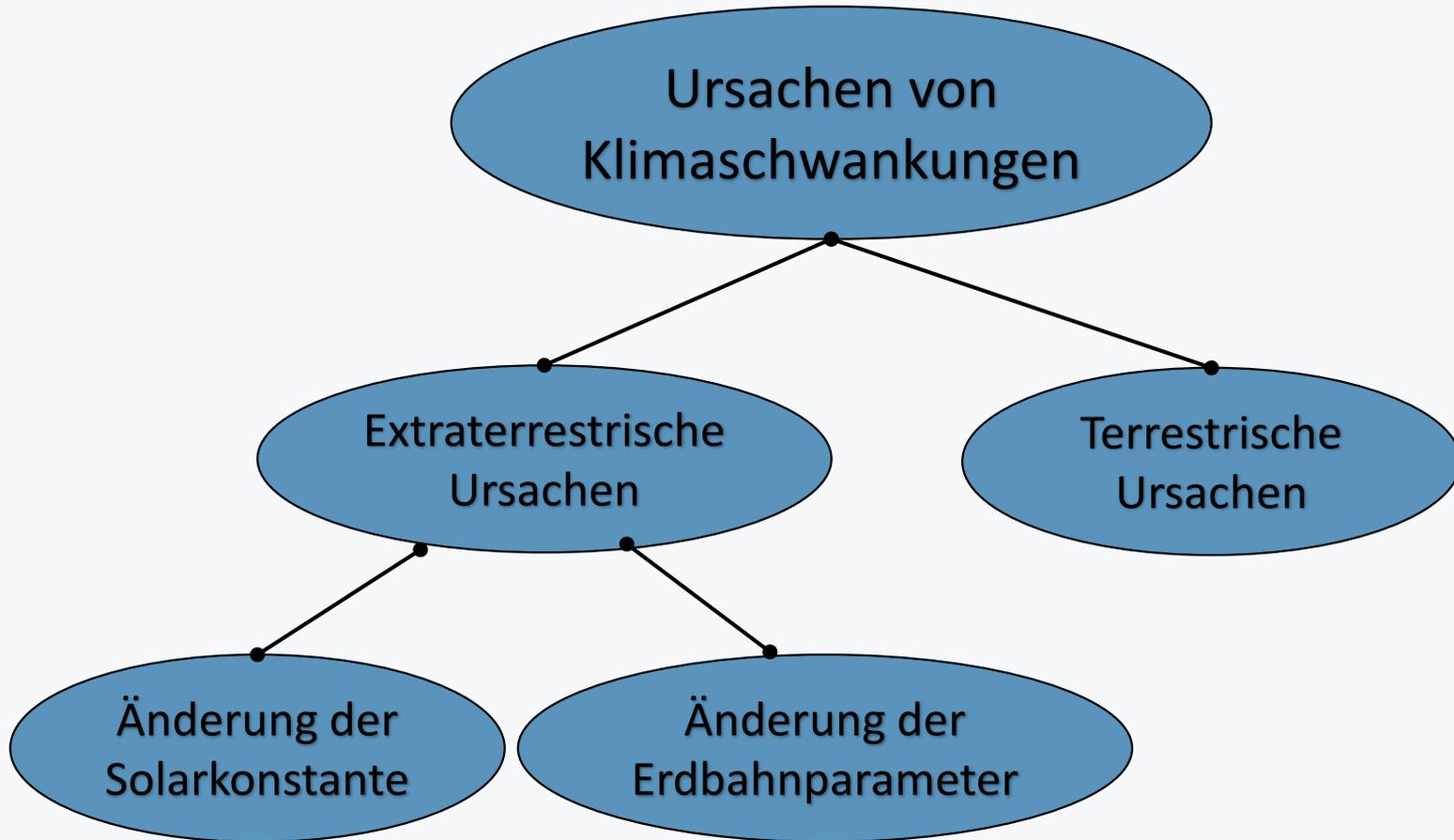
nach IPCC 2014

Risikomanagement: Klimaänderungen in der Erdgeschichte

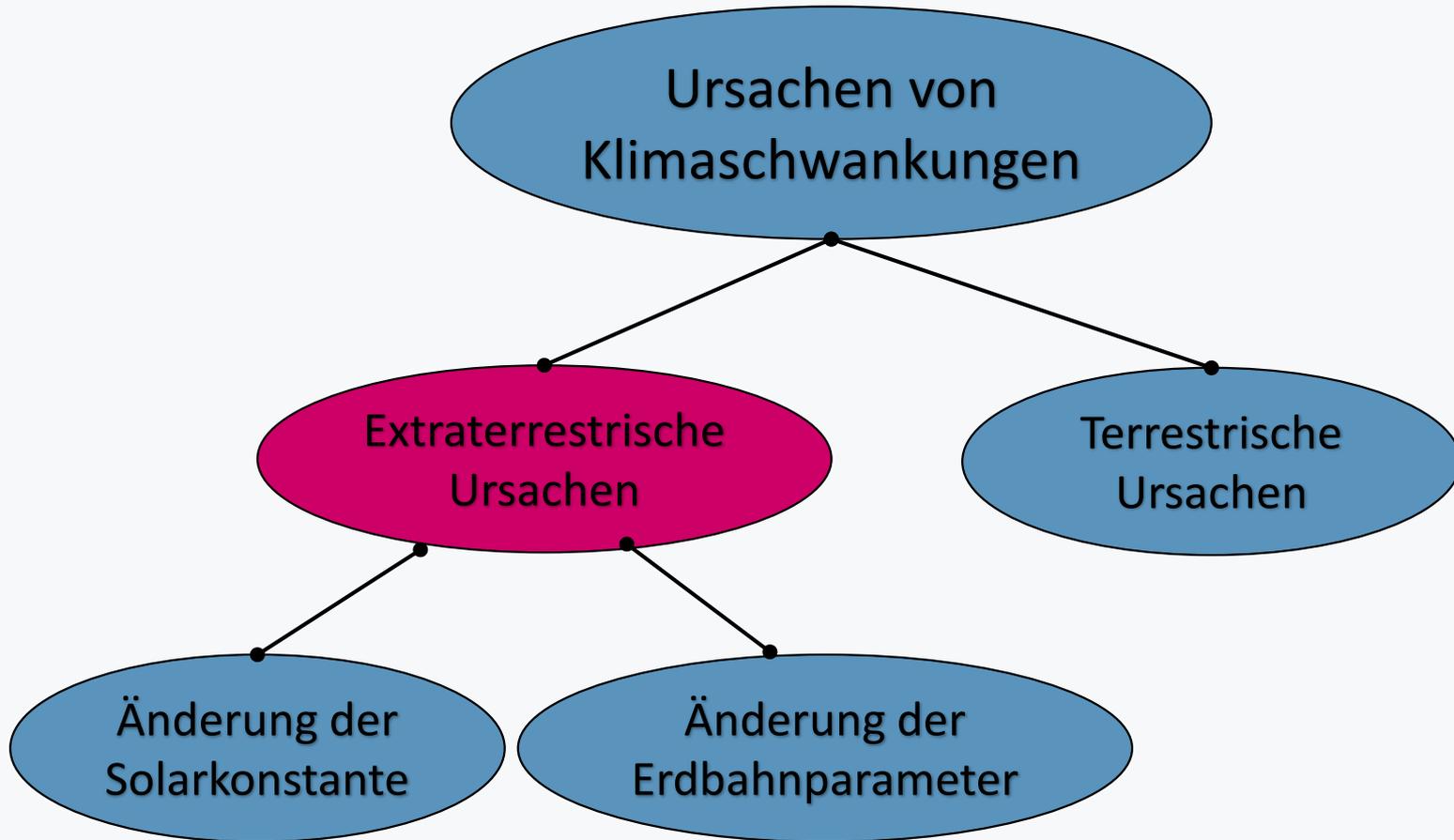


nach IPCC 2014

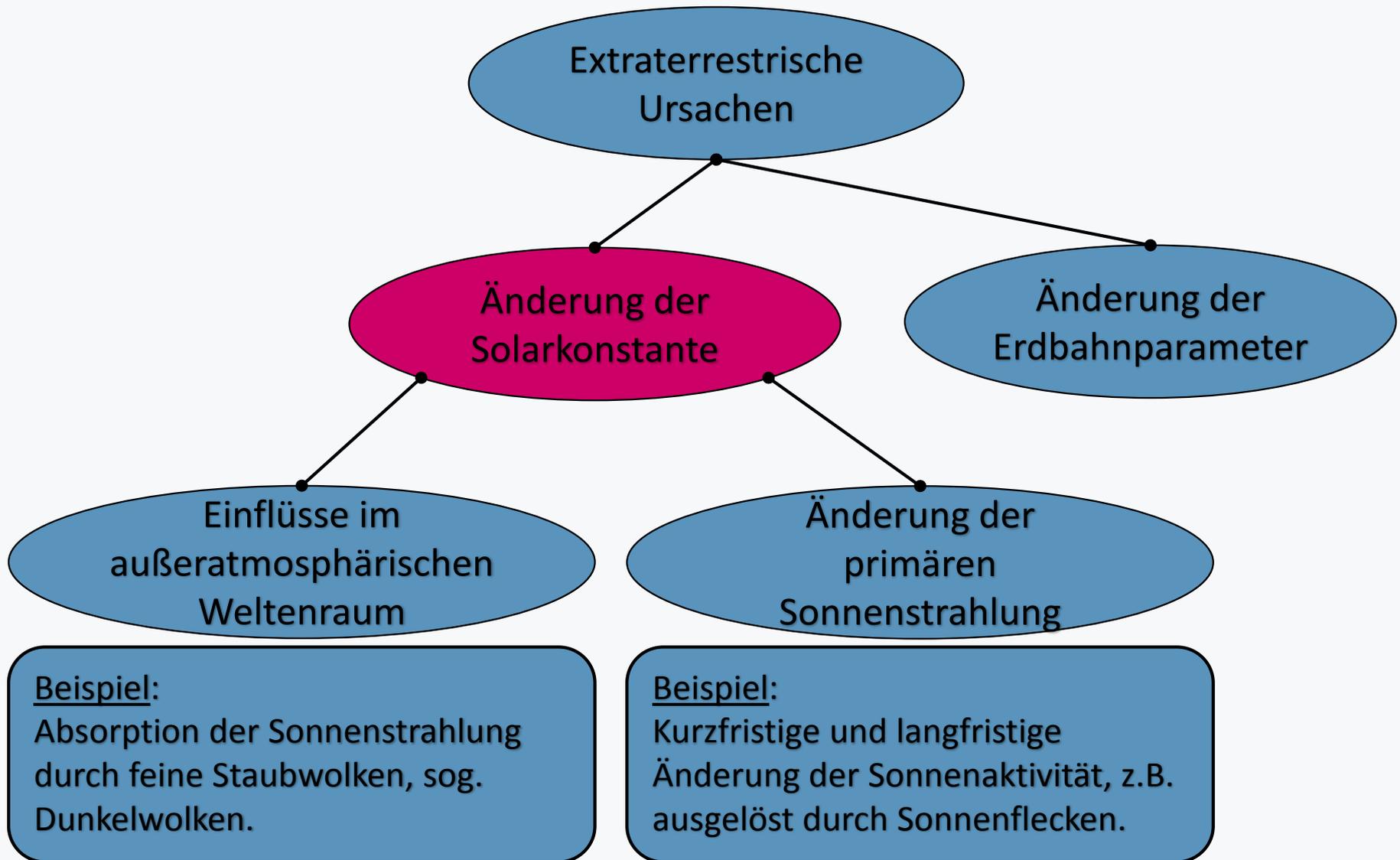
Ursachen von Klimaschwankungen



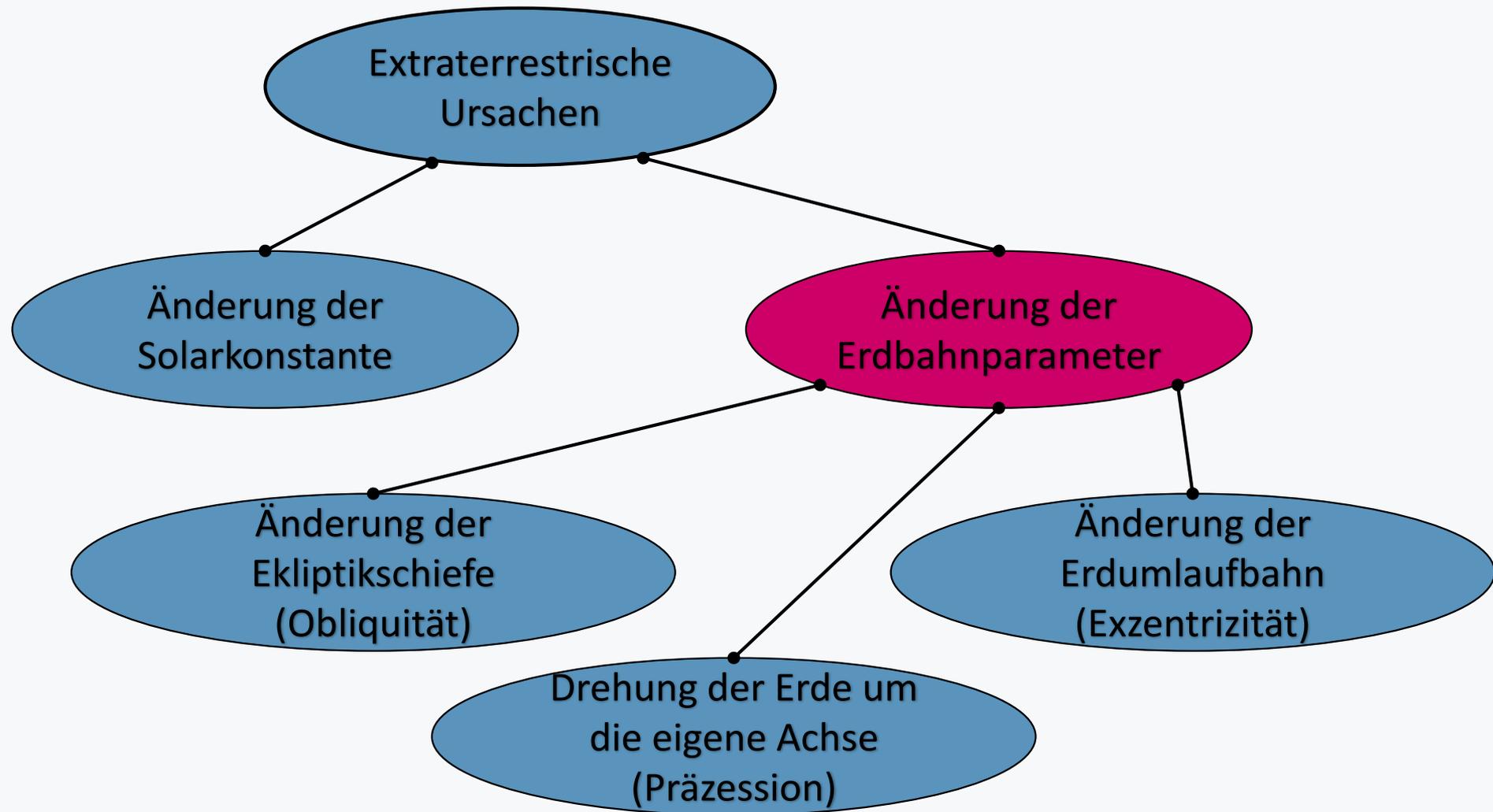
Ursachen von Klimaschwankungen



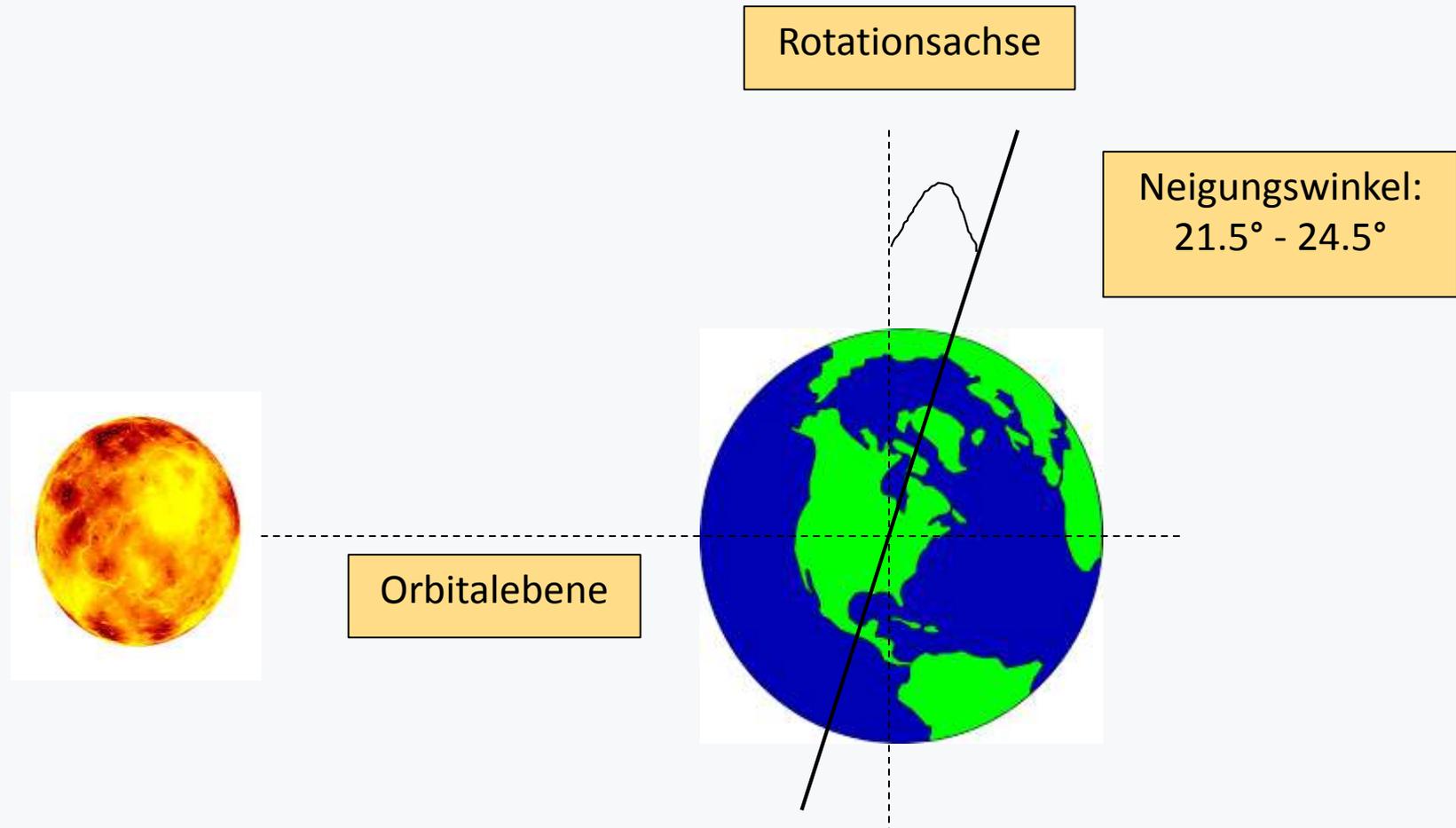
Extraterrestrische Ursachen



Extraterrestrische Ursachen

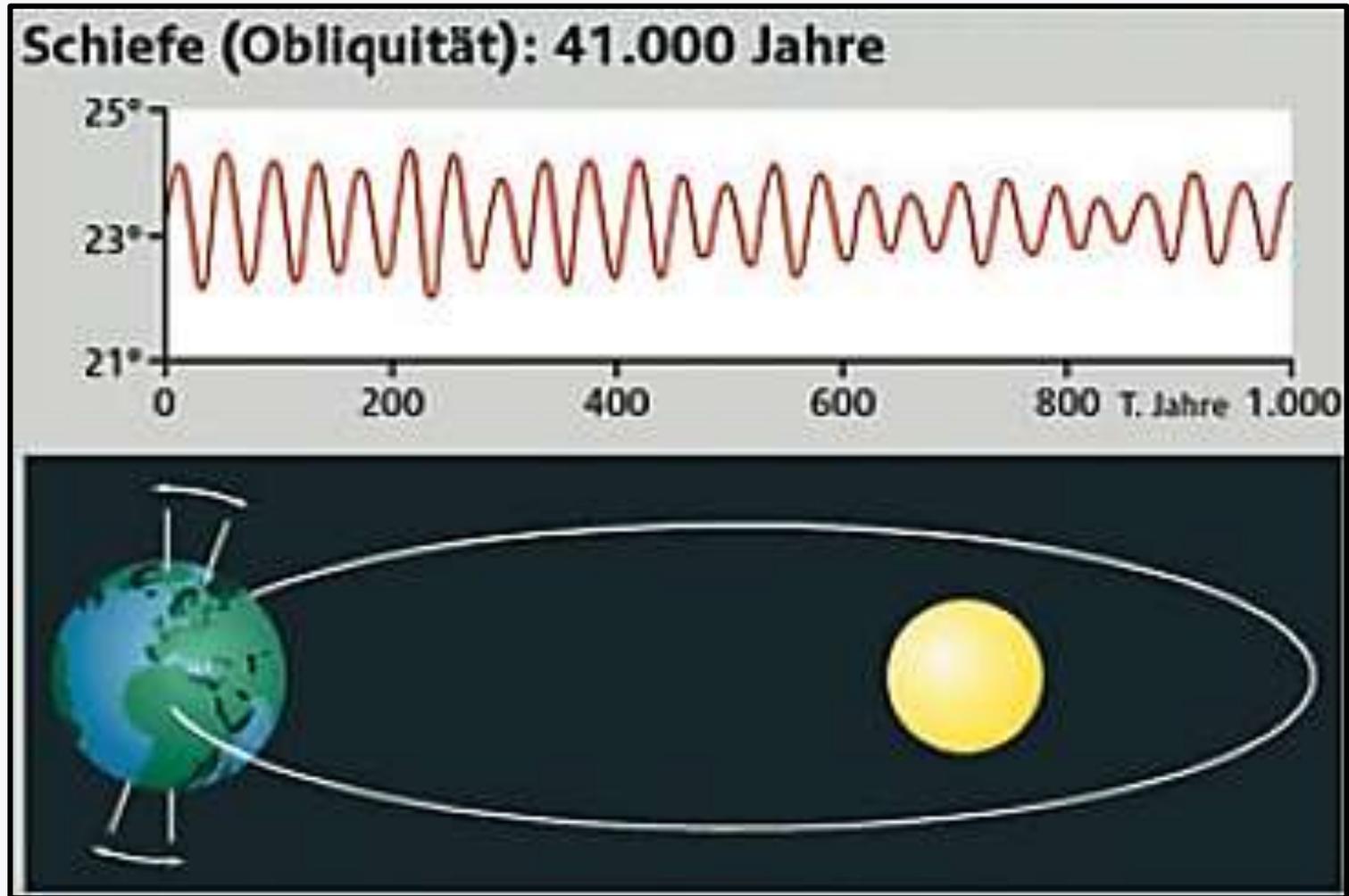


Änderung der Ekliptikschiefe



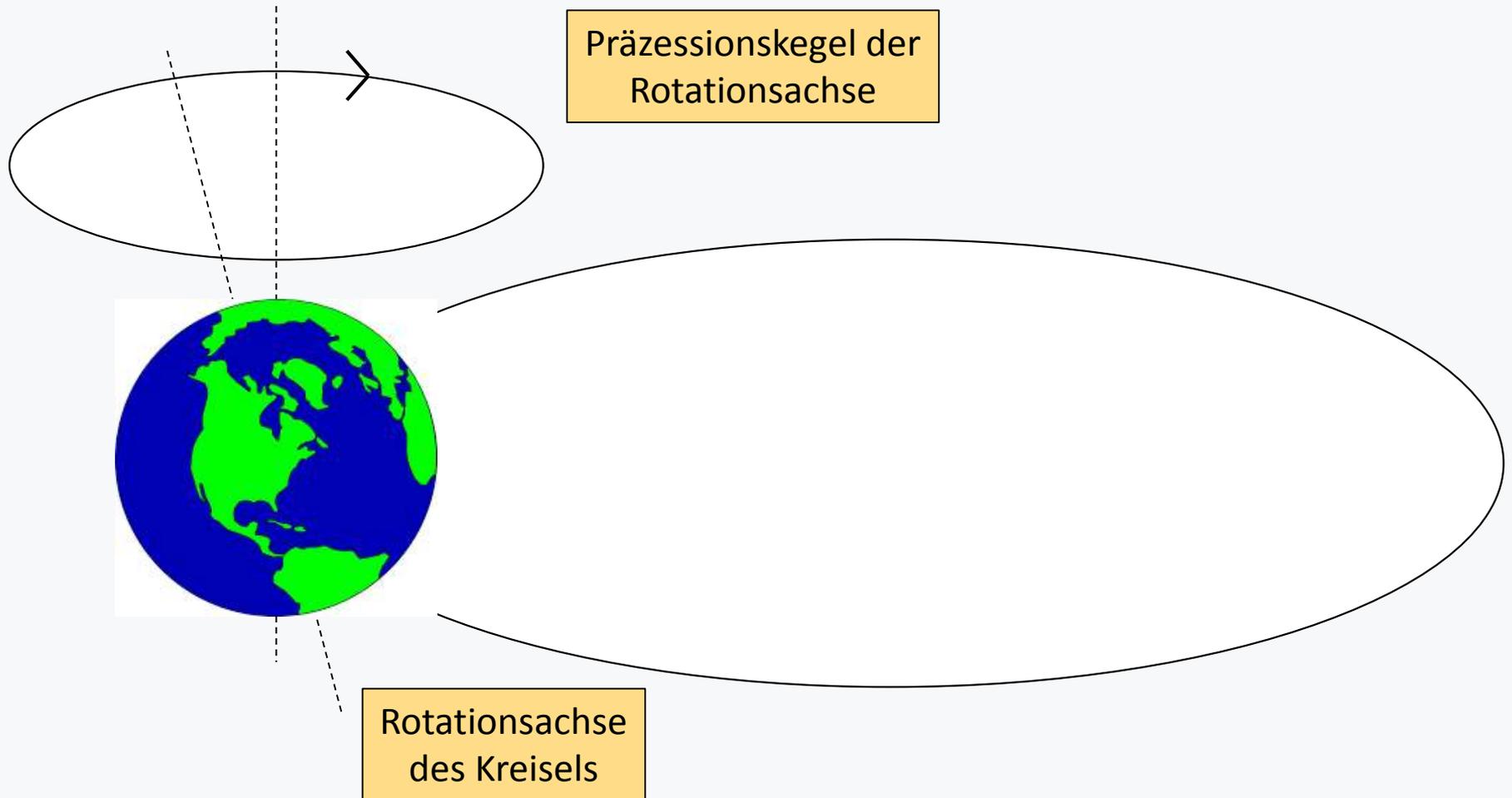
Änderung der Ekliptikschiefe. Eigene Darstellung nach [Brunotte et al. \(2002\)](#)

Änderung der Ekliptikschiefe



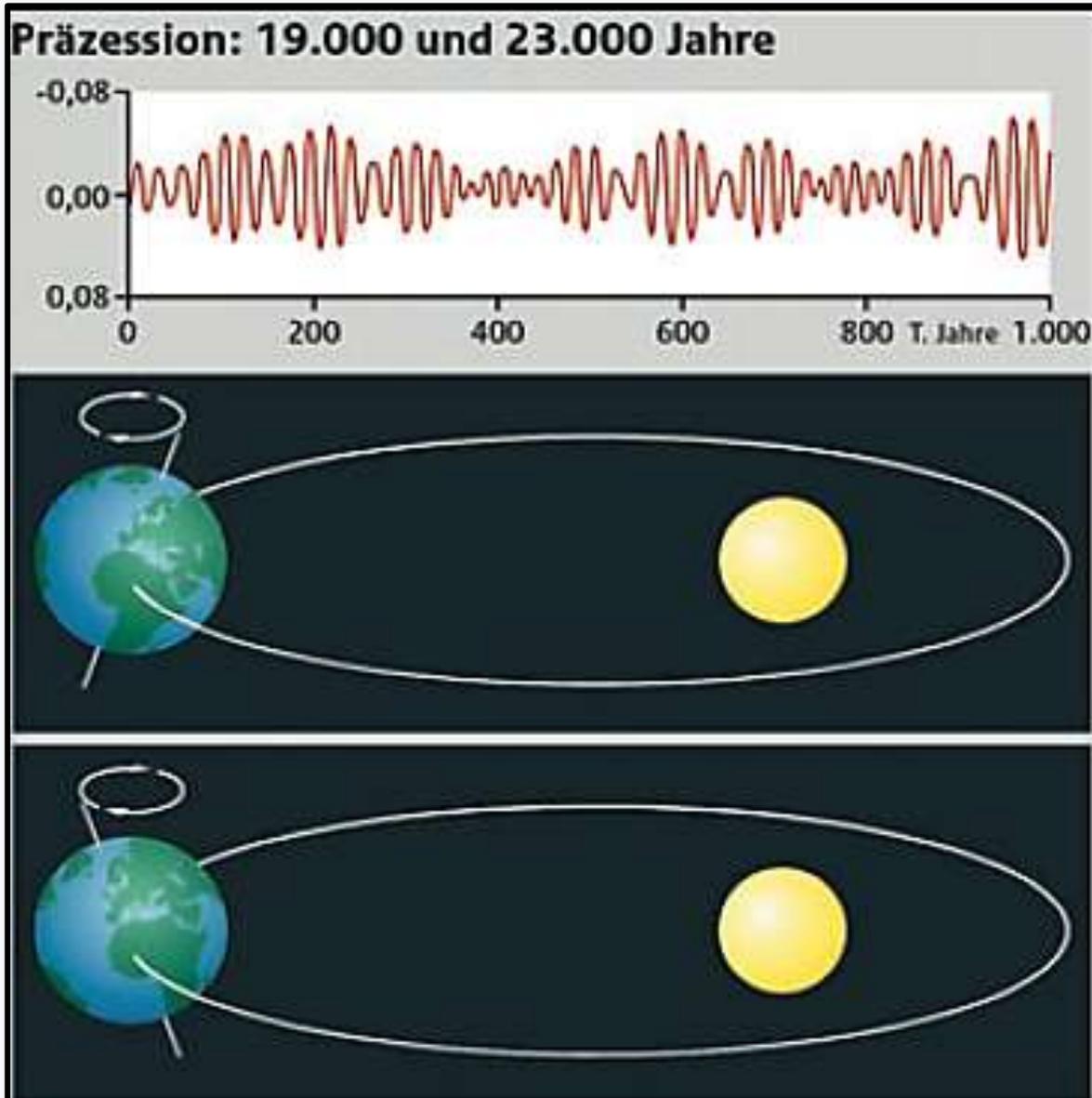
Historische Änderungen der Ekliptikschiefe.
Bubenzler & Radke (2007)

Drehung der Erde um eigene Achse



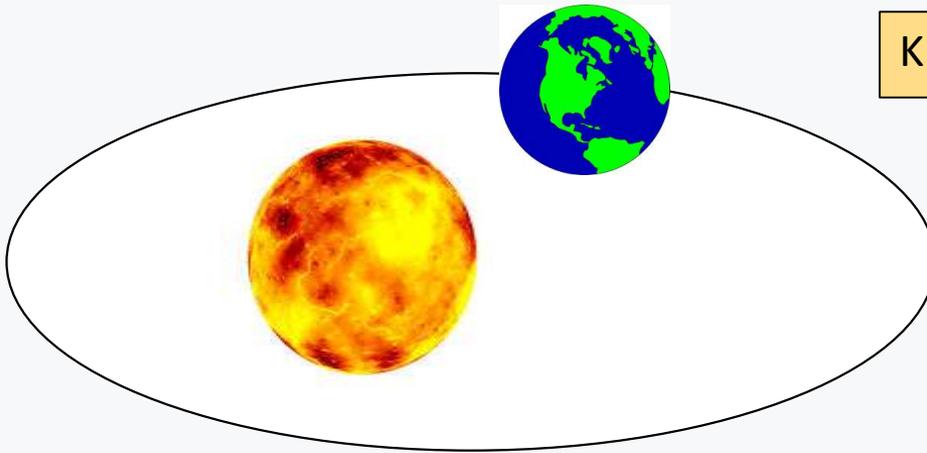
Präzessionsbewegung der Erde. Eigene Darstellung nach Schönwiese (1995)

Änderung der Ekliptikschiefe

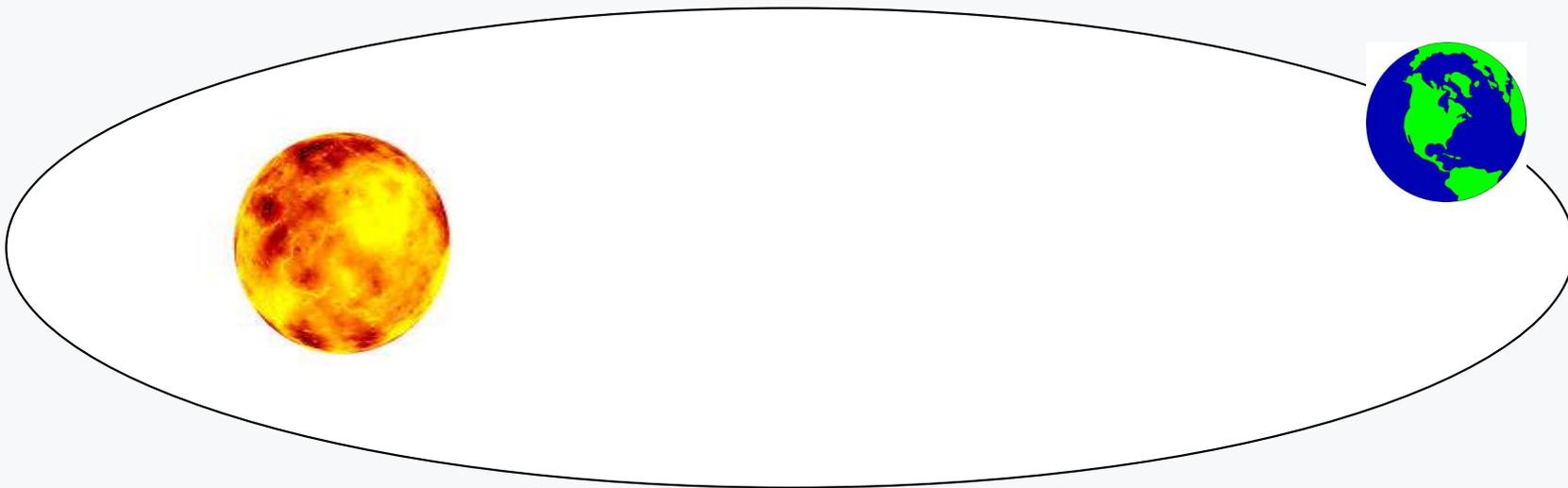


Historische Änderungen der Präzessionsbewegung.
Bubenzer & Radke (2007)

Drehung der Erde um eigene Achse



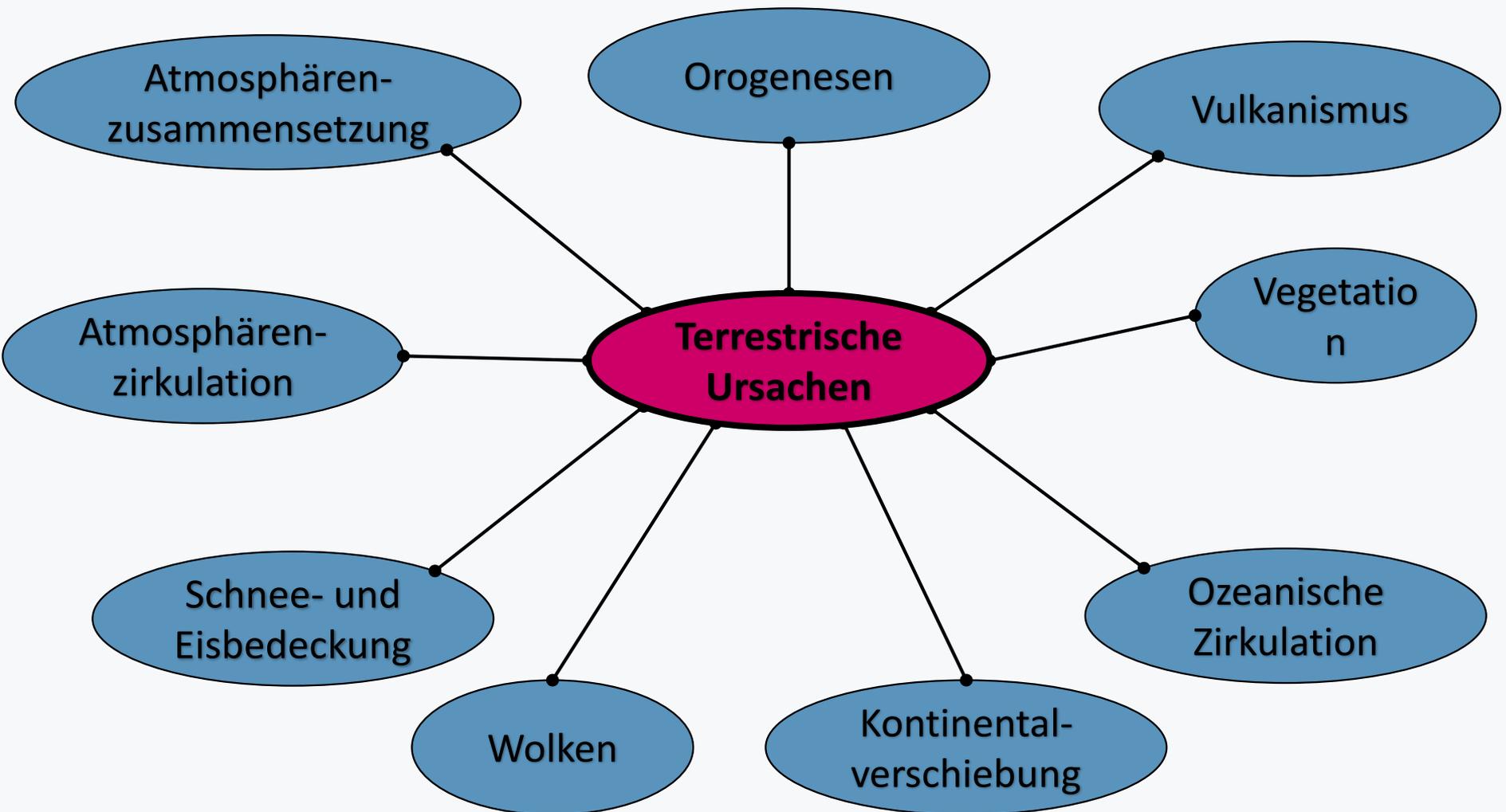
Kleine Exzentrizität



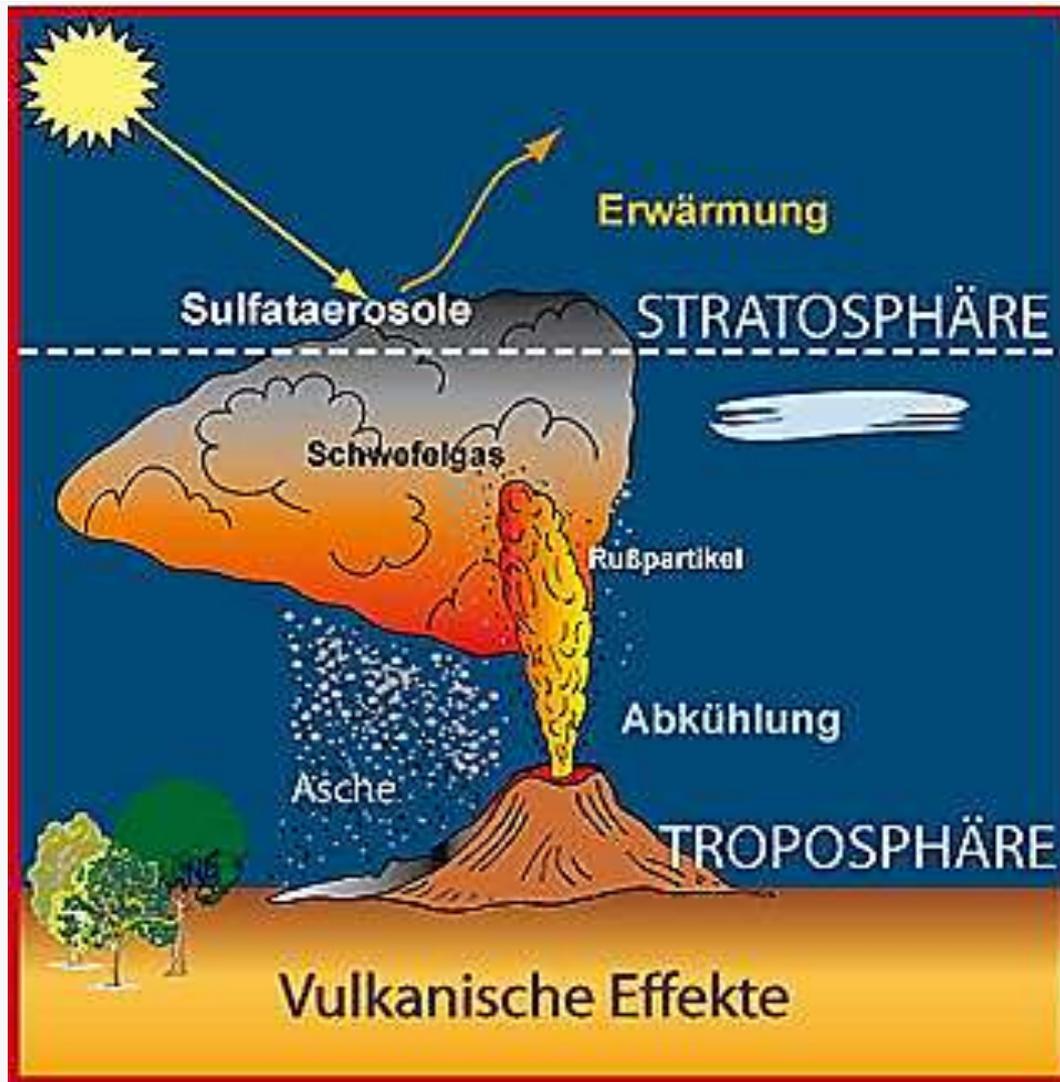
Große Exzentrizität

Exzentrizität der Erde. Eigene Darstellung nach
Brunotte (2002)

Terrestrische Ursachen



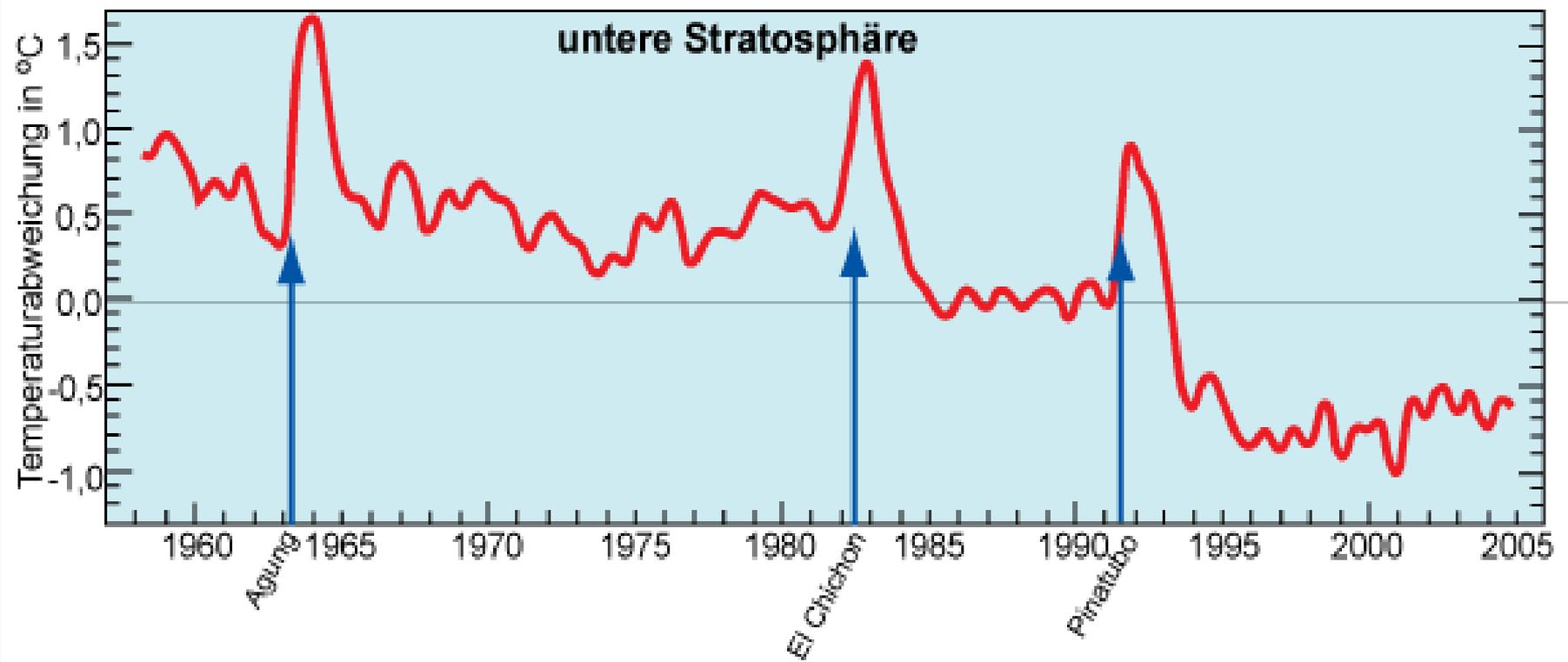
Vulkanismus



Wirkung von explosiven Vulkanausbrüchen auf die Stratosphäre nach
[Climate Service Center Germany \(2014\)](#)

Vulkanismus

Die Klimawirksamkeit der Vulkane besteht darin, dass der Aschestaub ihrer Ausbrüche einen Teil der Sonnenstrahlung absorbiert, wobei sich die Partikel erwärmen.



Reaktion der Temperatur der unteren Stratosphäre auf ausgewählte Vulkanausbrüche [Climate Service Center Germany \(2014\)](#)

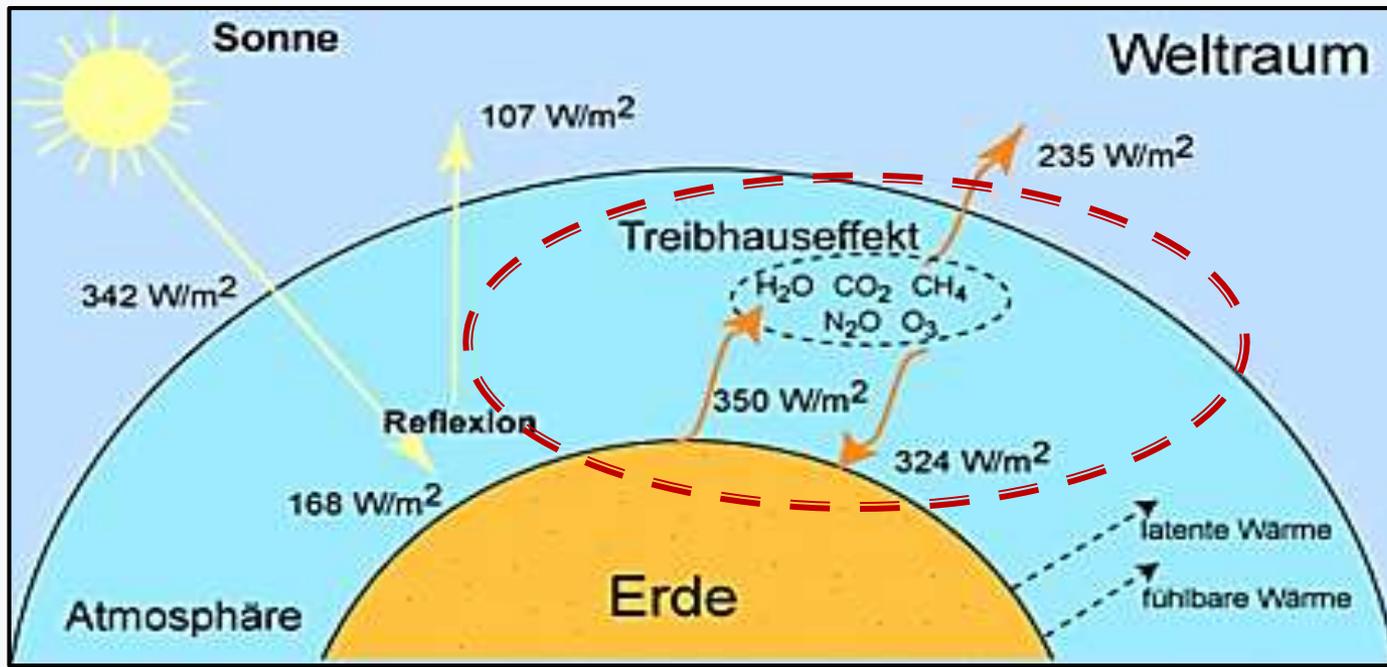
Atmosphärenzusammensetzung

Charakteristika wichtiger Treibhausgase und deren Beitrag zum Treibhauseffekt nach [Lauer \(1995\)](#)

Treibhausgas	Chem. Formel	Beitrag zum Treibhauseffekt (°C)	Beitrag zum Treibhauseffekt (%)
Wasserdampf	H ₂ O	20.6	62.4
Kohlenstoff	CO ₂	7	21.2
Bodennahes Ozon	O ₃	2.4	7.4
Distickstoff	N ₂ O	1.4	4
Methan	CH ₄	0.8	2.4
weitere		0.6	1.9
Summe		33.0	100.0

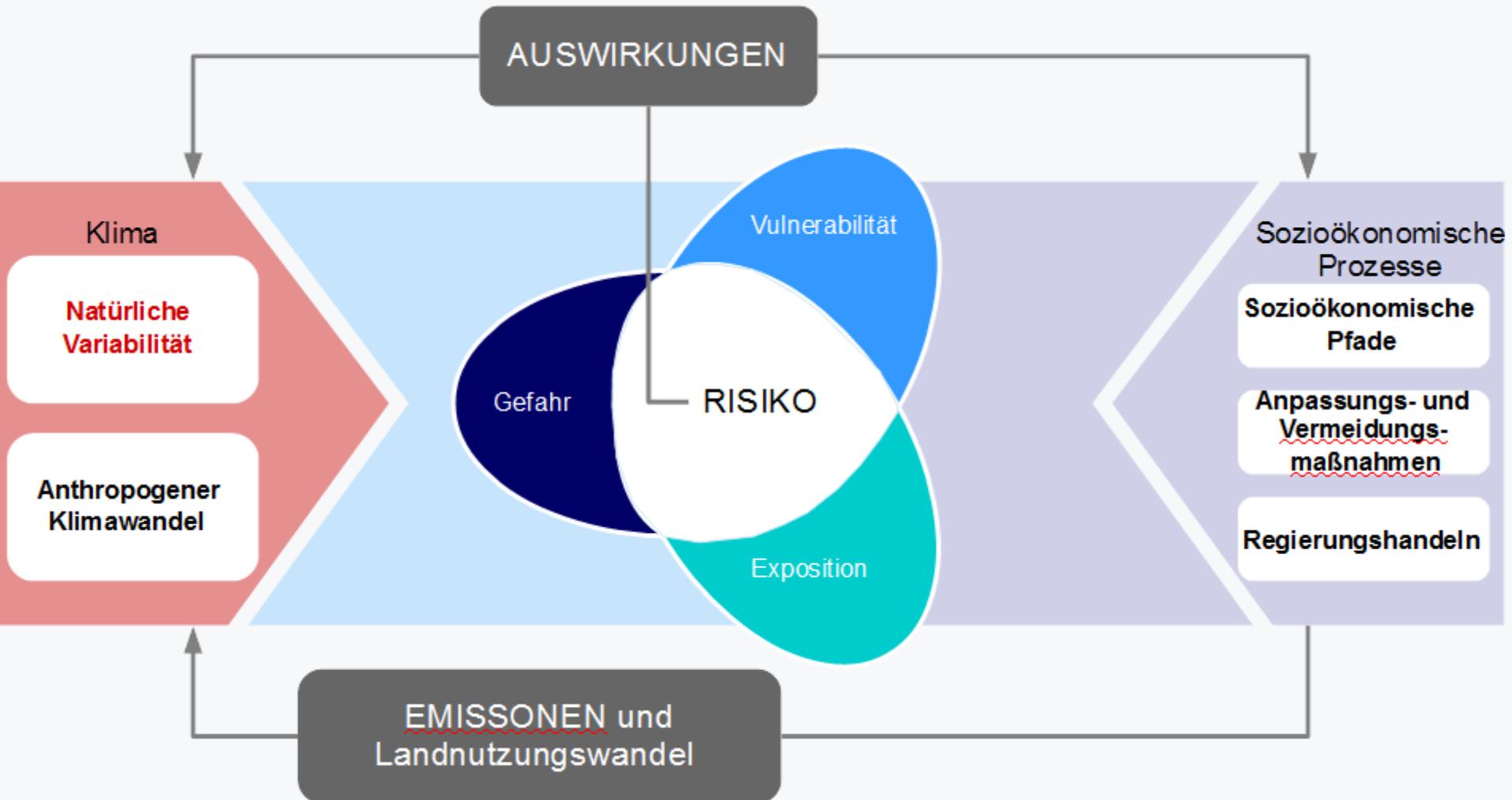
Treibhauseffekt

Die **Hälfte** der Solareinstrahlung wird von der Erdoberfläche absorbiert, **30%** werden von der Erdoberfläche und der Atmosphäre reflektiert und **20%** von der Atmosphäre absorbiert. Die erwärmte Erdoberfläche sendet langwellige Wärmestrahlen aus, von denen ein großer Teil von Bestandteilen der Atmosphäre (Treibhausgase und Wolken) absorbiert und in alle Richtungen abgestrahlt wird.



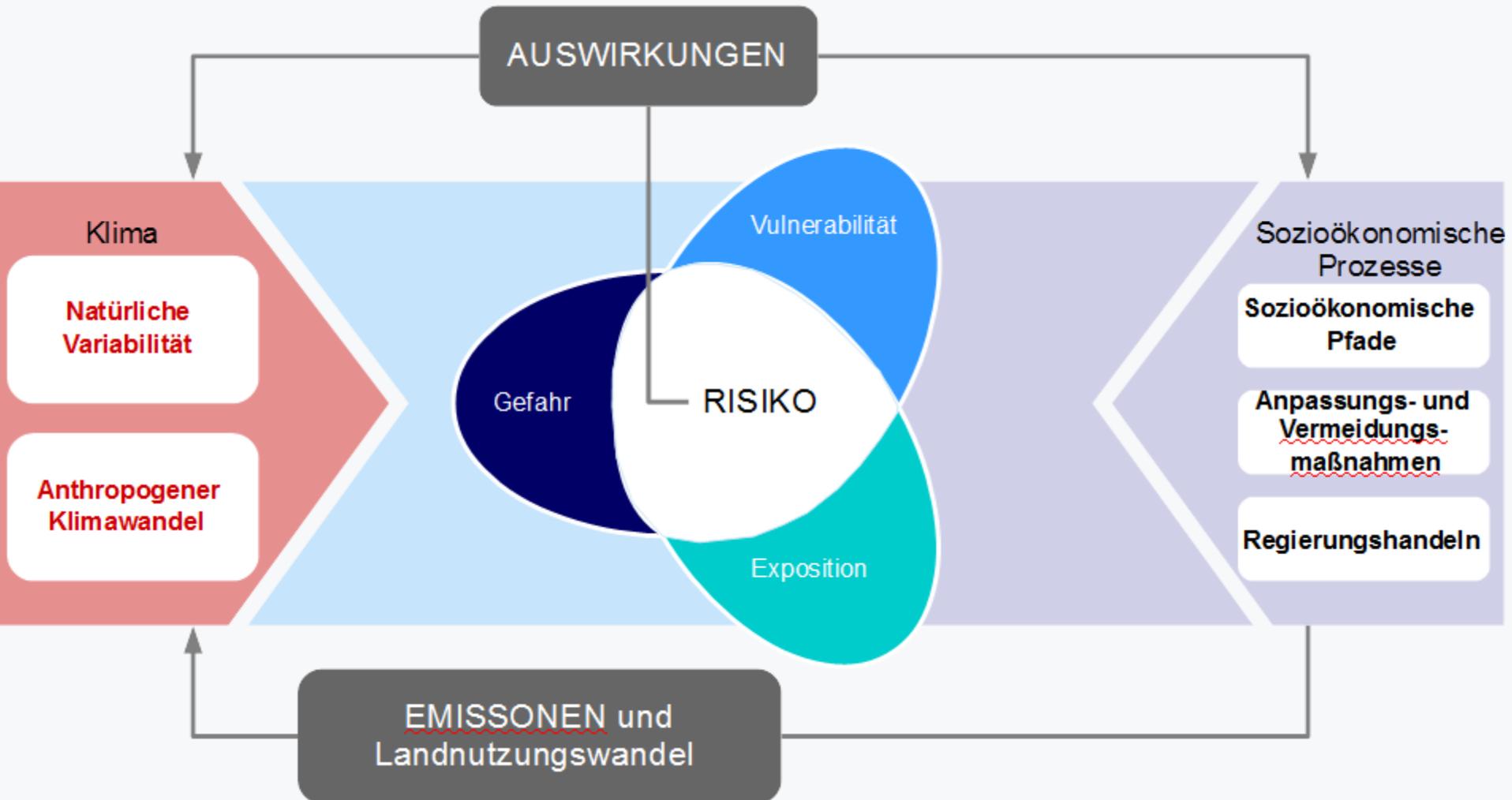
Der Treibhauseffekt [Climate Service Center Germany \(2016\)](#)

Risikomanagement: Klimaänderungen in der Erdgeschichte



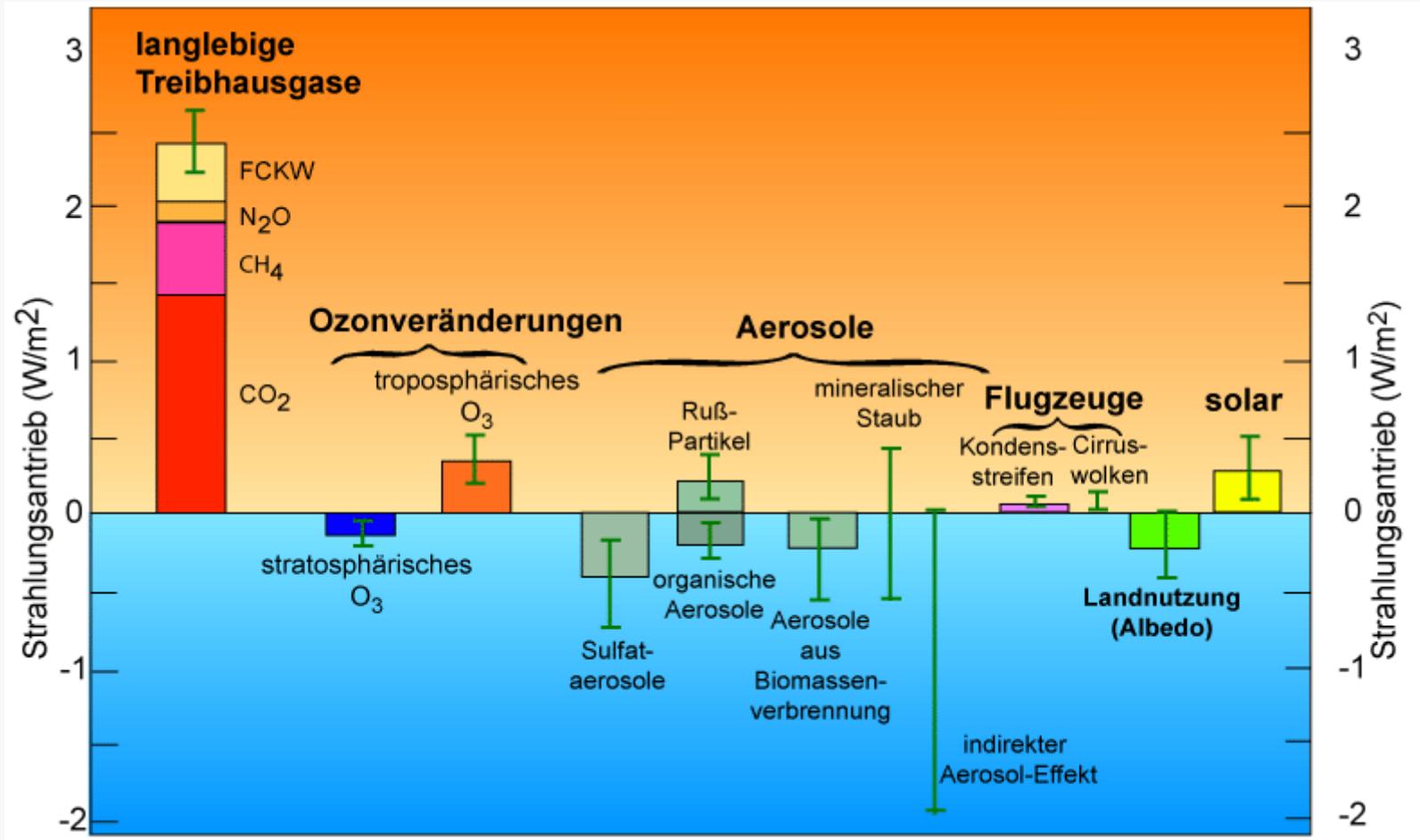
nach IPCC 2014

Risikomanagement: Anthropogener Klimawandel



nach IPCC 2014

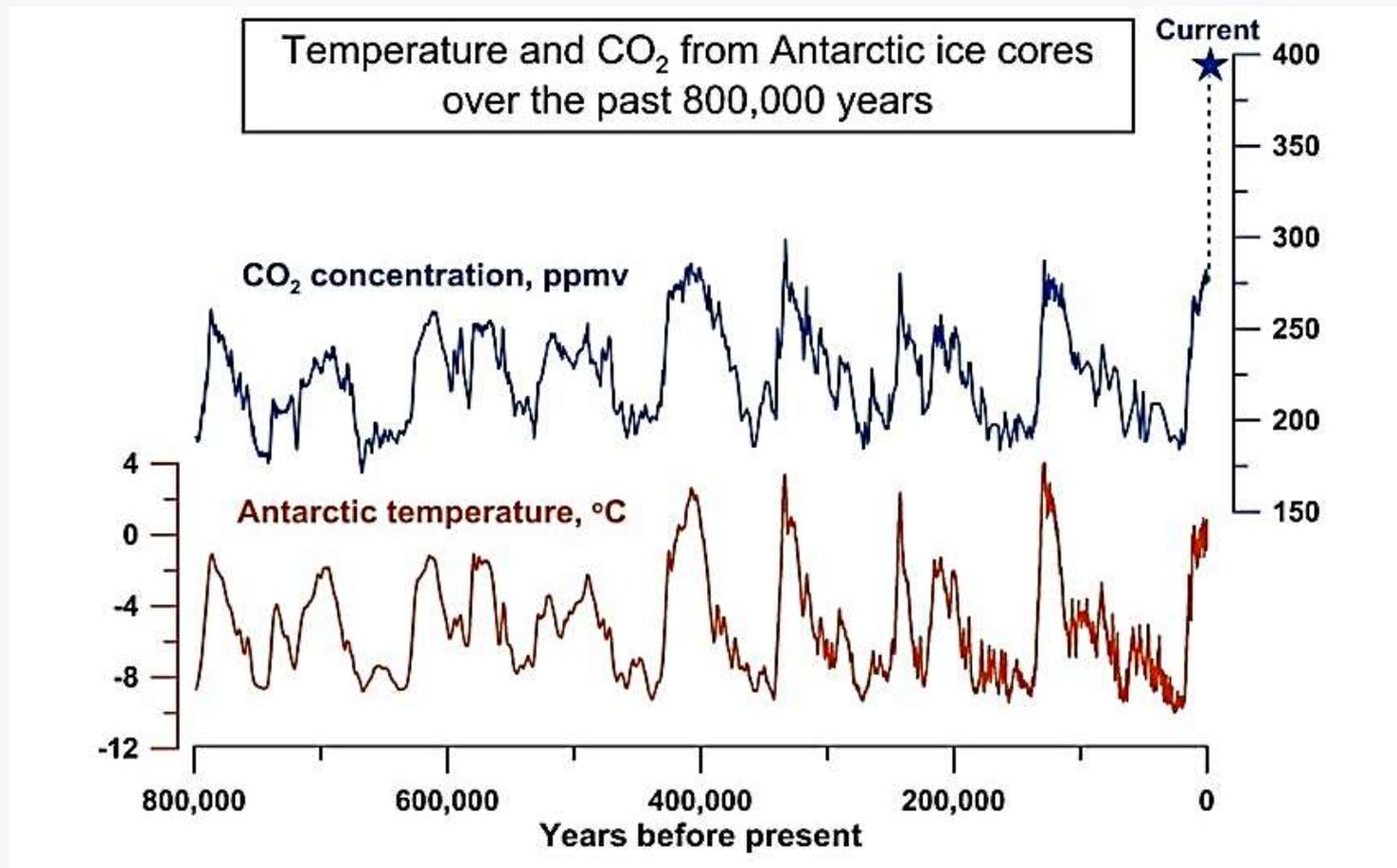
Anthropogener Treibhauseffekt



Quellen und jeweiliger Antrieb der anthropogen erzeugten Treibhausgase [Climate Service Center Germany \(2016\)](#)

Atmosphärenzusammensetzung

Wärmegewinn der Erde ist umso größer, je höher der Anteil klimawirksamer Gase an der Zusammensetzung der Atmosphäre



Historische Veränderung der Temperatur und der CO₂ Konzentration nach [Petit et al. \(1999\)](#)

Anthropogene Ursachen für Klimaänderungen

Veränderungen der
Erdoberfläche
Umwandlung von Natur- in
Kulturlandschaften

Eingriffe in den
Wasserhaushalt
Wassernutzung für gewerbliche,
industrielle und persönliche
Zwecke

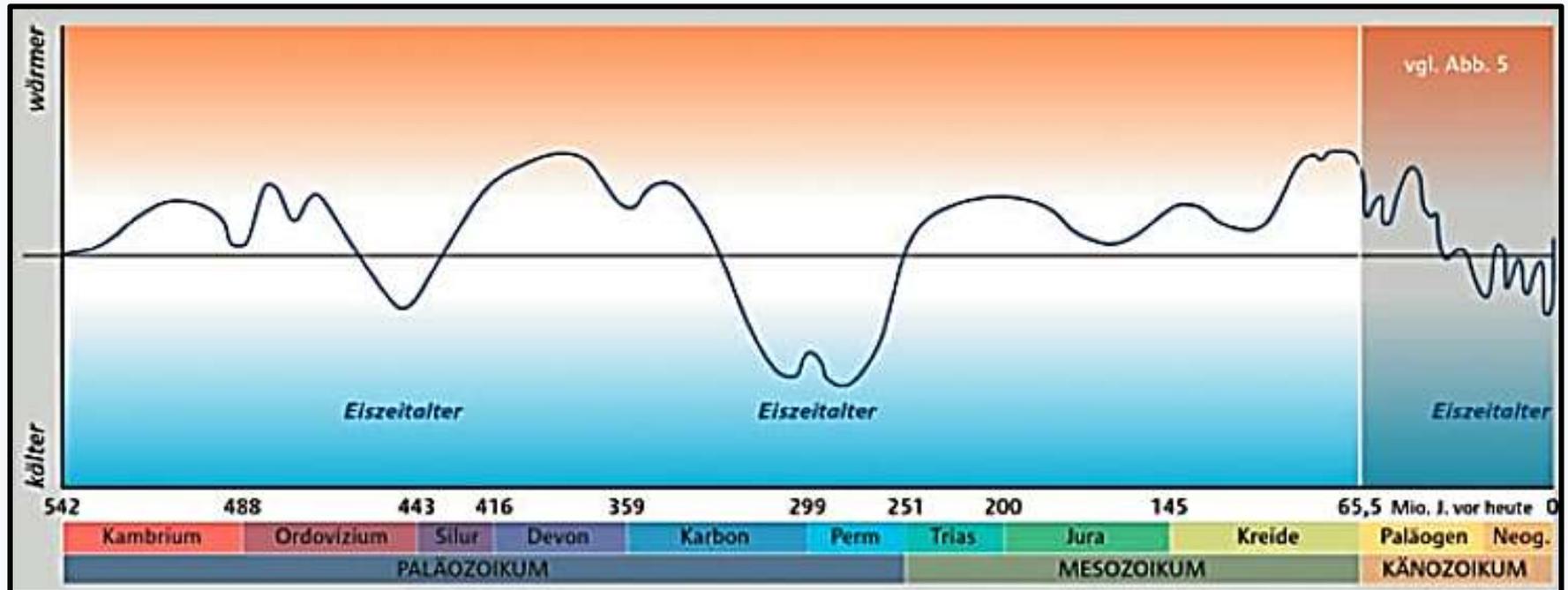
Anthropogener
Einfluss

Veränderung der
chemischen
Zusammensetzung der
Atmosphäre
Durch Nutzung fossiler
Energieträger, Waldrodungen,
Verkehr

Weitere Eingriffe in den
Wärme- und
Energiehaushalt auf der
Erdoberfläche
Abwärme durch Heizung von
Gebäuden, Abgasen

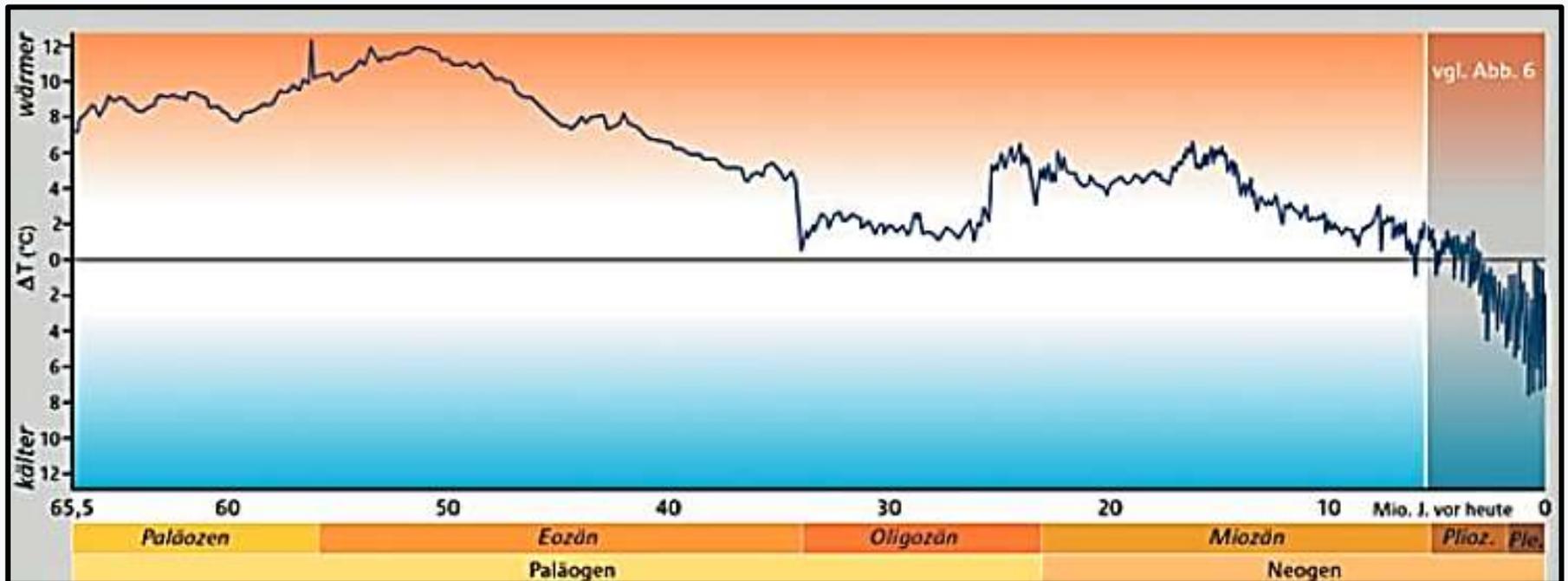
Natürliche Klimaänderungen im Laufe der Erdgeschichte

Erdgeschichte und Klimawandel



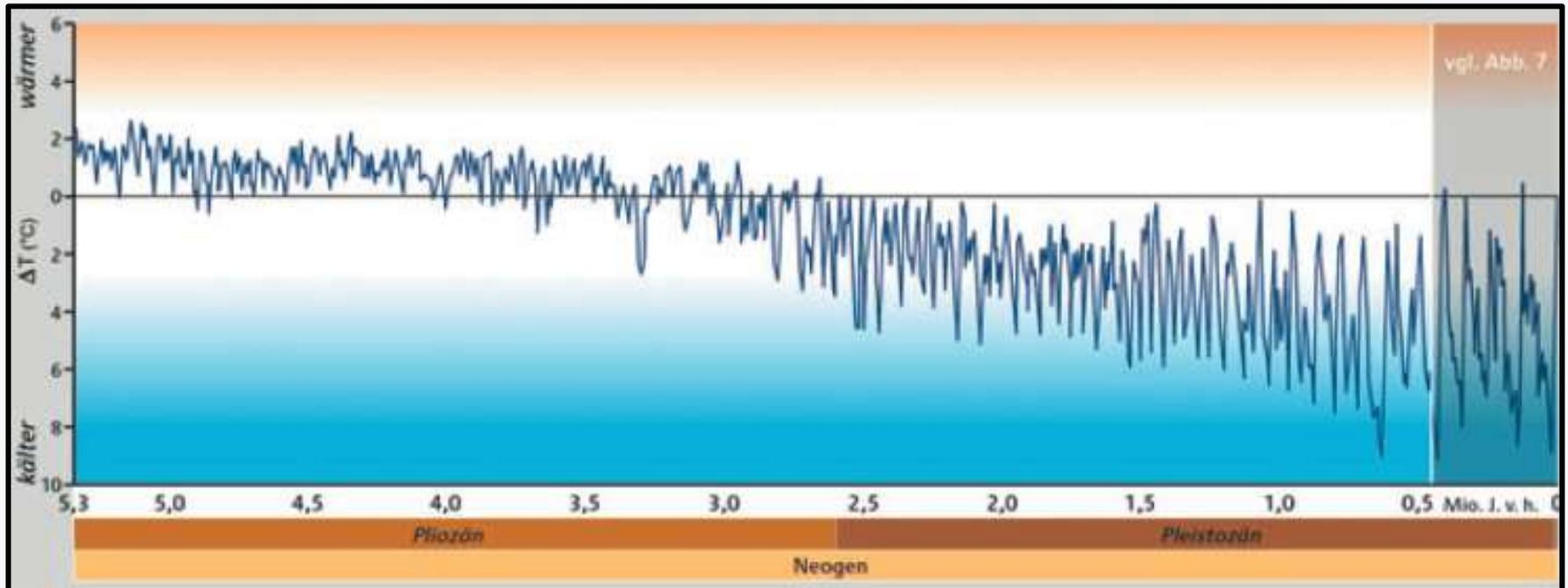
Globale Temperaturänderungen gegenüber dem heutigen Mittelwert (Mittellinie) der letzten 543 Millionen Jahre auf Basis unterschiedlicher Datenquellen nach [Bubenzer & Radtke \(2007\)](#)

Erdgeschichte und Klimawandel



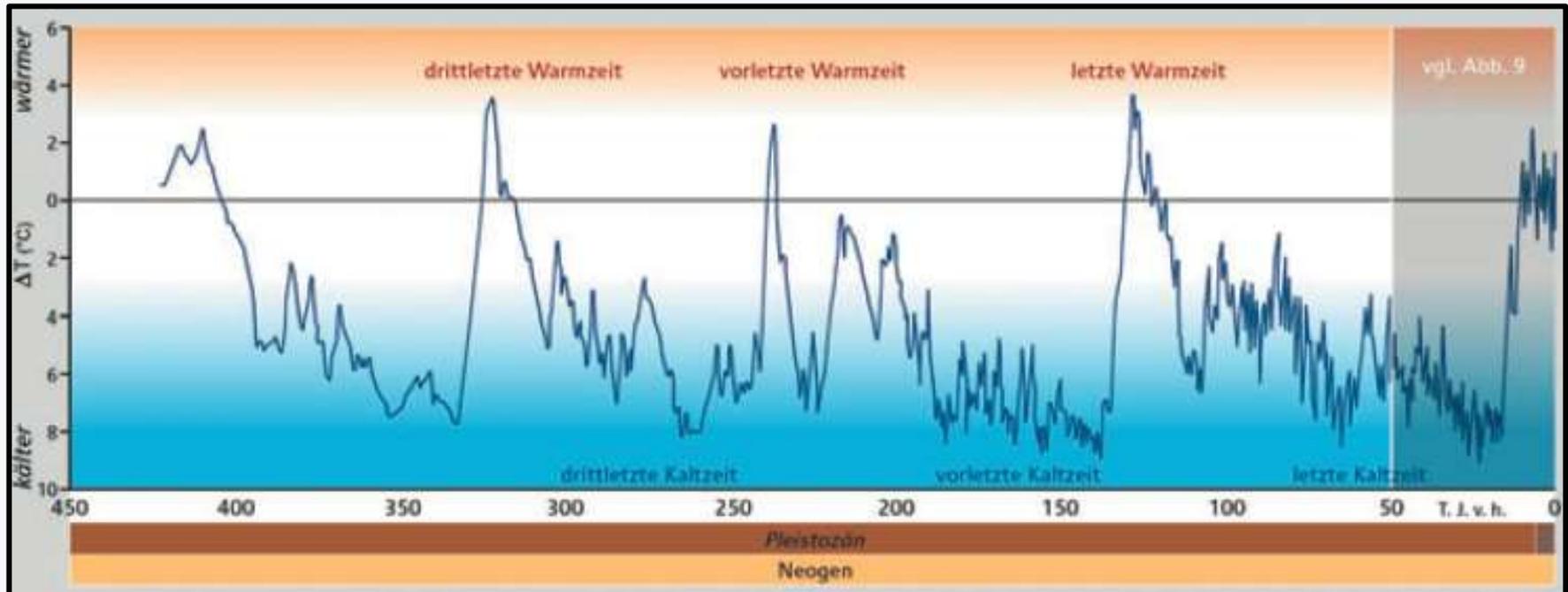
Globale Temperaturänderungen gegenüber dem heutigen Mittelwert (Mittellinie) der letzten 65.5 Millionen Jahre auf Basis von Tiefseesedimenten [Bubenzer & Radtke \(2007\)](#)

Erdgeschichte und Klimawandel



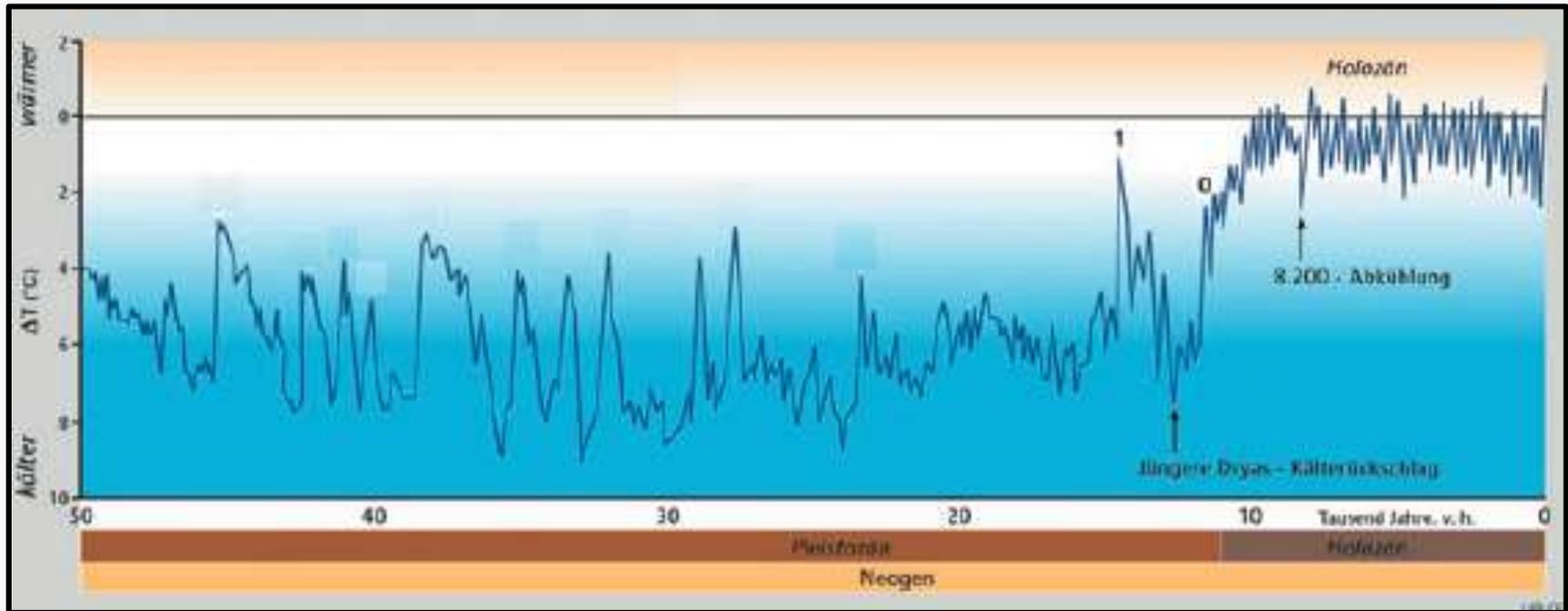
Globale Temperaturänderungen gegenüber dem heutigen Mittelwert (Mittellinie) der letzten 5.3 Millionen Jahre auf Basis von Tiefseesedimenten nach [Bubbenzer & Radtke \(2007\)](#)

Erdgeschichte und Klimawandel



Temperaturänderungen in der Arktis gegenüber dem heutigen Mittelwert (Mittellinie) der letzten 420.000 Jahre auf Basis von Eisbohrkernen nach [Bubenzler & Radtke \(2007\)](#)

Erdgeschichte und Klimawandel



Temperaturänderungen in Grönland gegenüber dem heutigen Mittelwert (Mittellinie) der letzten 50.000 Jahre auf Basis von Eisbohrkernen nach [Bubner & Radtke \(2007\)](#)

Klimarekonstruktion

Übersicht wichtiger physikalischer Rekonstruktionsmethoden

Methoden	Prinzip	Zweck
Dendro- Chronologie	Abzählung der Jahresringe von Bäumen + Isotopenanalyse	Altersbestimmung, Wachstumsbedingungen
Pollenanalyse	Auswertung von Blütenstaubablagerungen in Sedimenten	Rückschlüsse auf frühere Klimabedingungen
Sauerstoff-Isotopen- Methode	Temperaturabhängigkeit des Sauerstoff-Verhältnisses in Sedimenten und Eis	Rückschlüsse auf vergangene Temperatur- bedingungen
Radiocarbon- Methode	Zerfall des radioaktiven Kohlenstoffisotops (C14) in organische Substanzen. Auszählung des des jeweiligen Sauerstoffisotopen- verhältnisses	Alterdatierung CO2-haltiger Substanzen bis 40.000 Jahre zurück

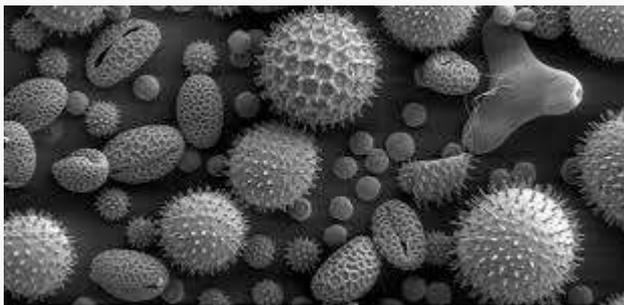


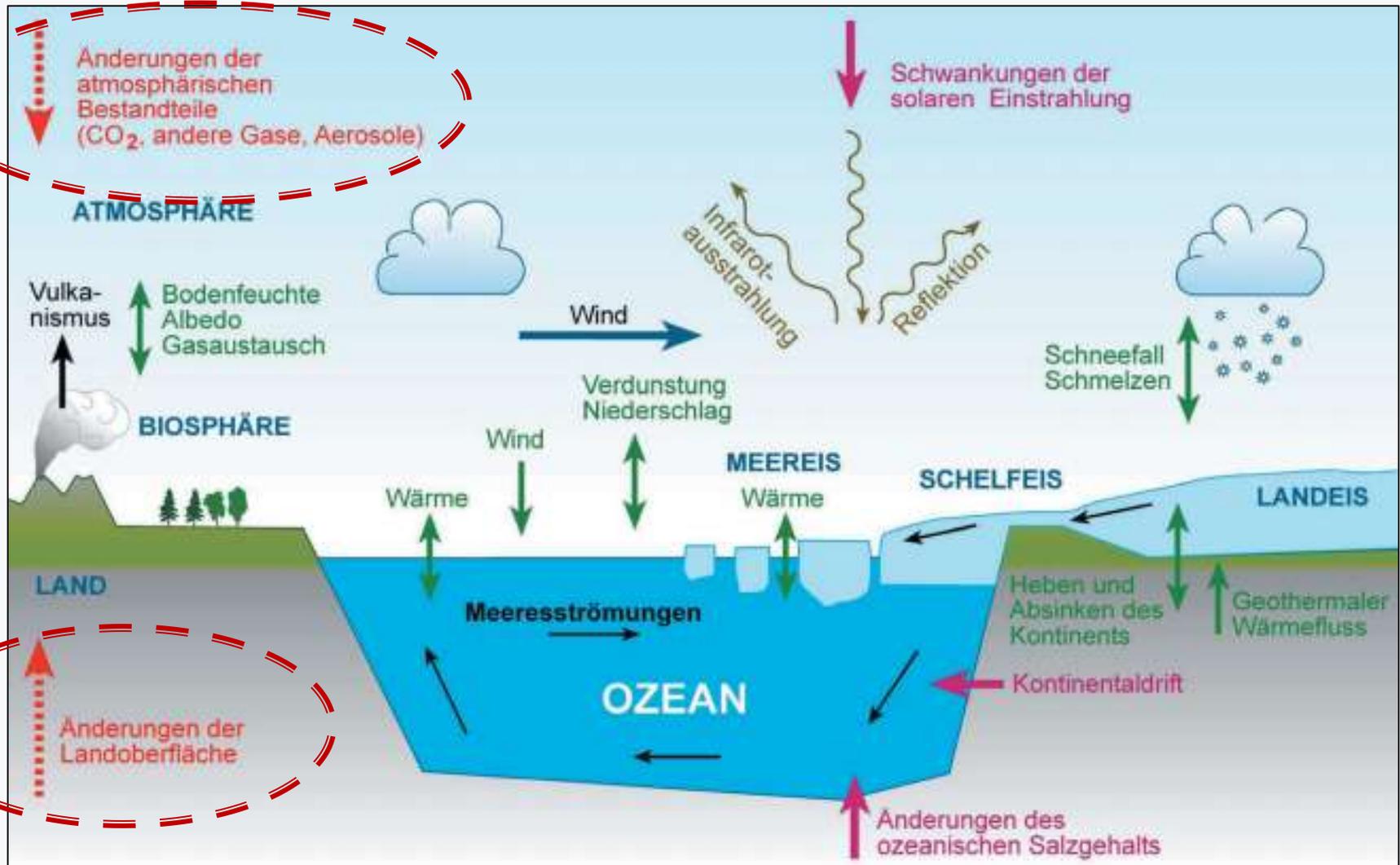
Foto: Verschiedene Arten von Pollen | Quelle: Wikimedia.org | Urheber: Dartmouth College



Der rezente Klimawandel in Deutschland

Was ändert sich?

Klimasystem und anthropogener Einfluss



Schematische Darstellung des Klimasystems. Menschliche Einwirkungen sind gekennzeichnet.
Verändert nach [Lemke \(2003\)](#)

Beobachtete Änderungen

Temperatur

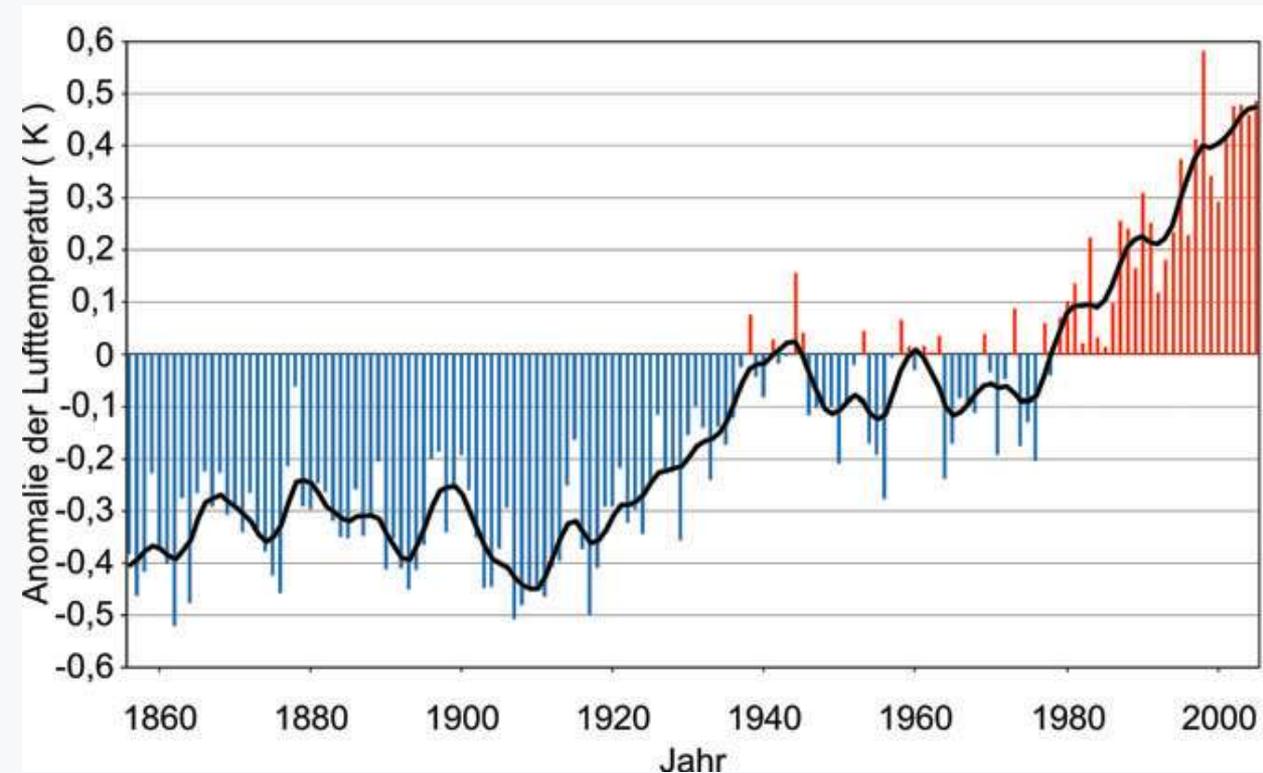
Änderungen:

Verteilung der Tagesmitteltemperaturen zeigt eine Verschiebung in Richtung **höherer Temperaturwerte**

Allgemeine Zunahme **warmer Temperaturextreme** bei gleichzeitiger Abnahme kalter Extreme

Erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten **extremer Hitzetage**

Beobachtete Änderungen - Temperatur



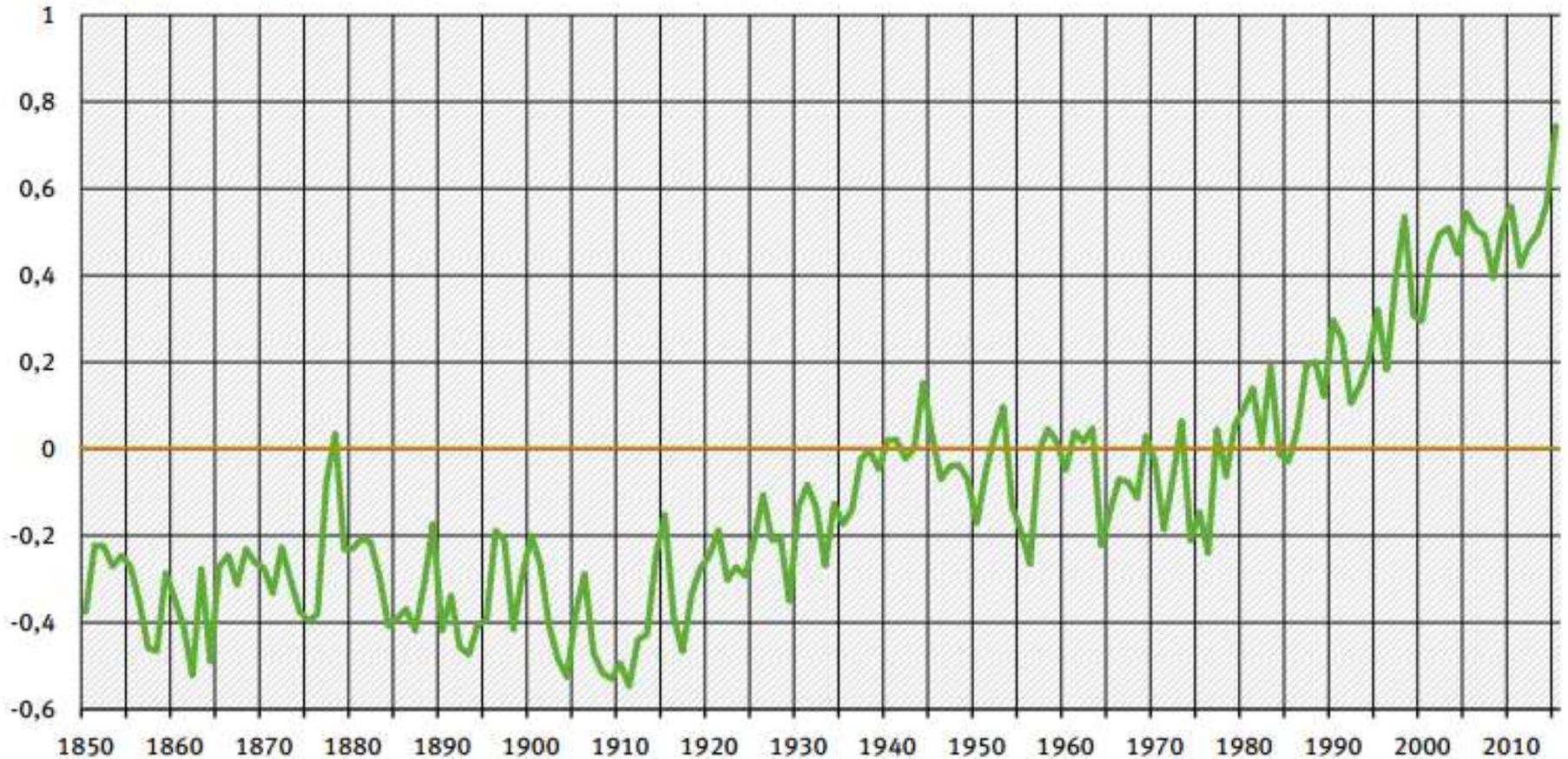
- Die oft zitierte Entwicklung der globalen Mitteltemperatur reicht nicht aus, um das Spektrum der ablaufenden Klimaveränderungen zu beschreiben
- Schwankungsbreite: - 0.5K bis +0.6K
- Klare dreiperiodische Unterteilung erkennbar

Entwicklung der globalen Lufttemperatur im Vergleich zum globalen Mittel von 1961-1990 nach [Bubner & Radke \(2007\)](#)

Beobachtete Änderungen - Temperatur

Abweichung vom Durchschnitt der globalen Lufttemperatur 1961 bis 1990

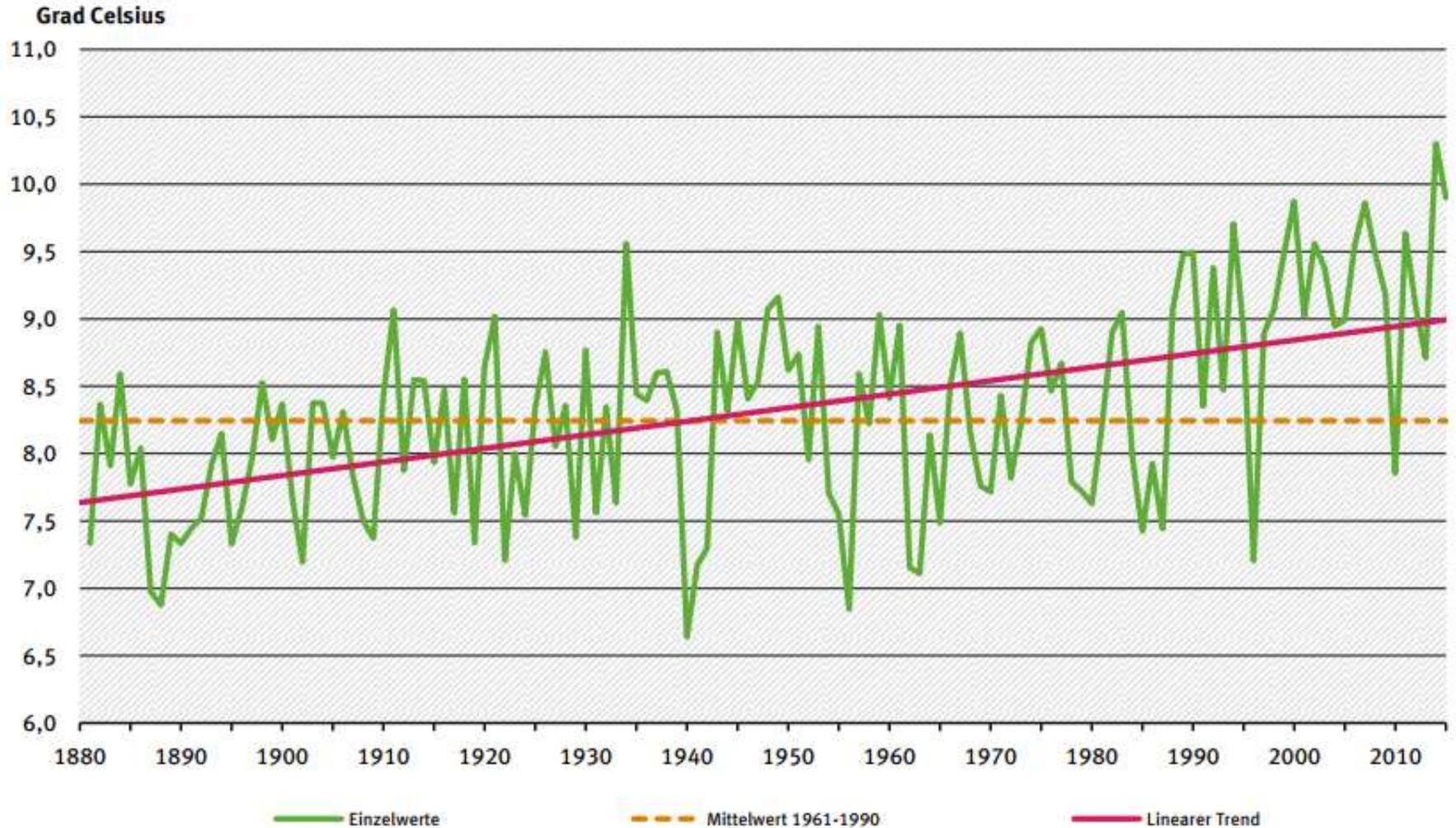
Abweichung in Grad Celsius



Entwicklung der Lufttemperatur in Deutschland im Vergleich zum globalen Mittel von 1961-1990 nach [Met Office Hadley Centre \(2015\)](#)

Beobachtete Änderungen - Temperatur

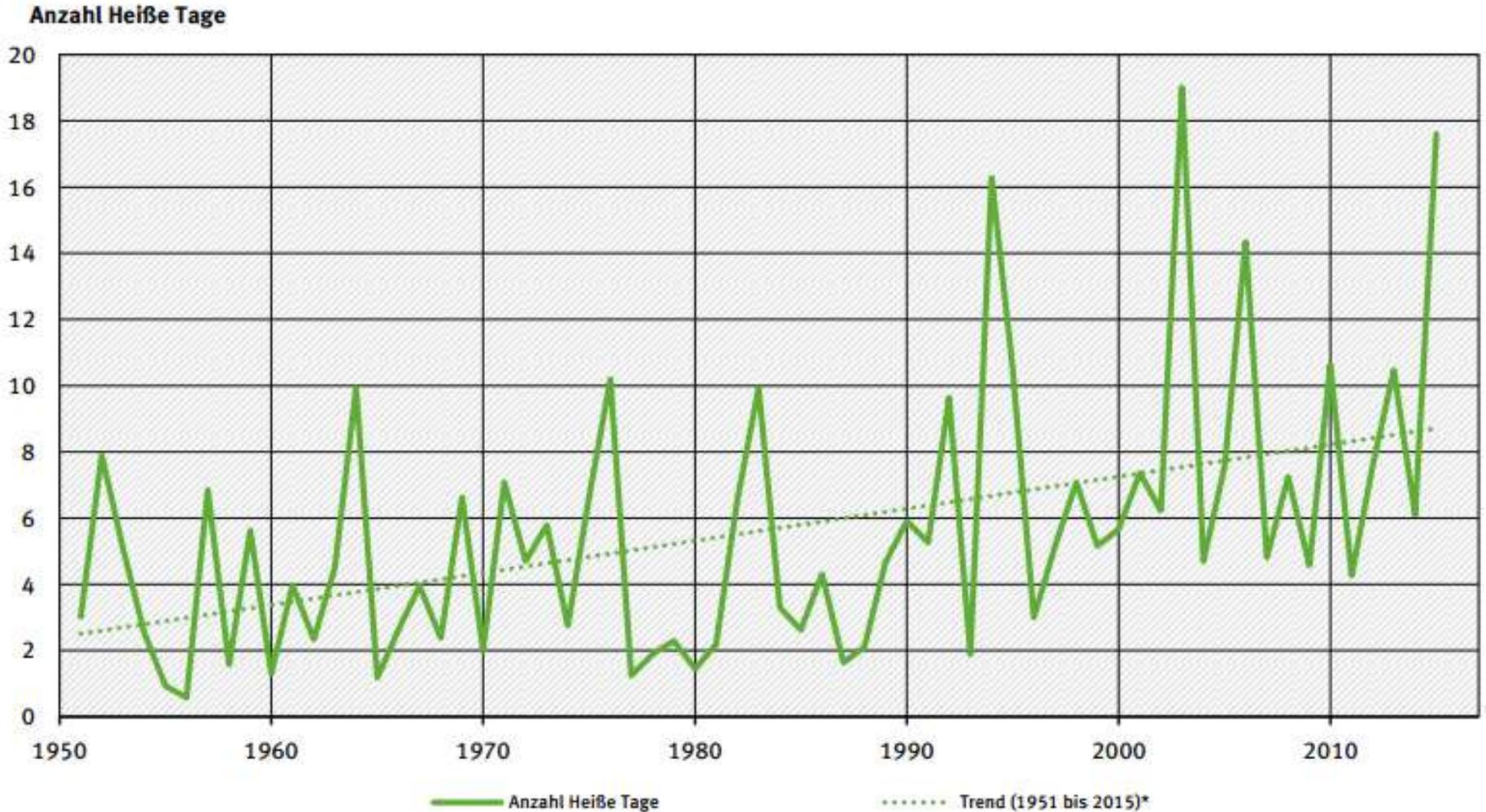
Jährliche mittlere Tagesmitteltemperatur in Deutschland 1881 bis 2015



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen - Temperatur

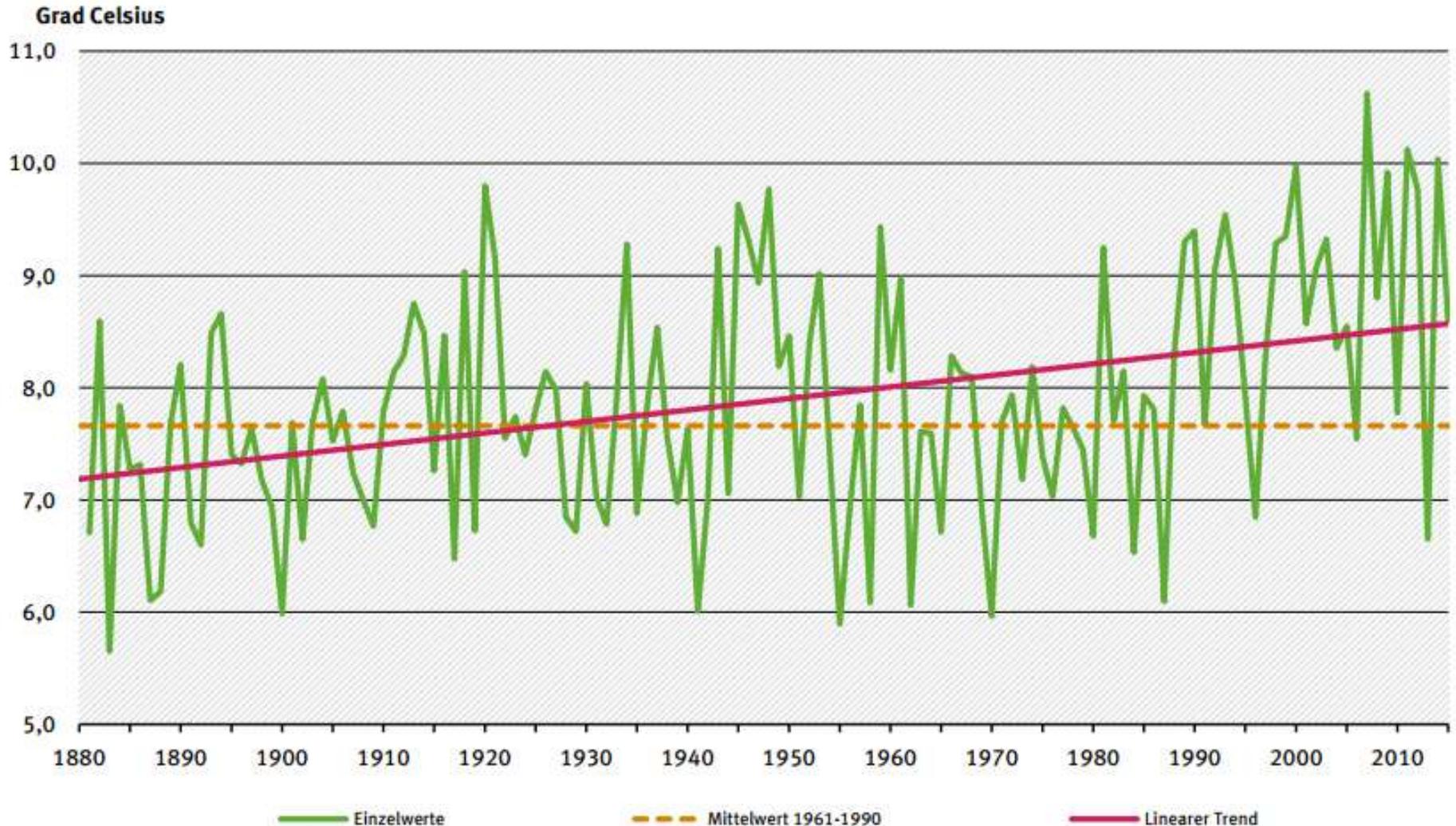
Anzahl der Tage mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius (Gebietsmittel)



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen - Temperatur

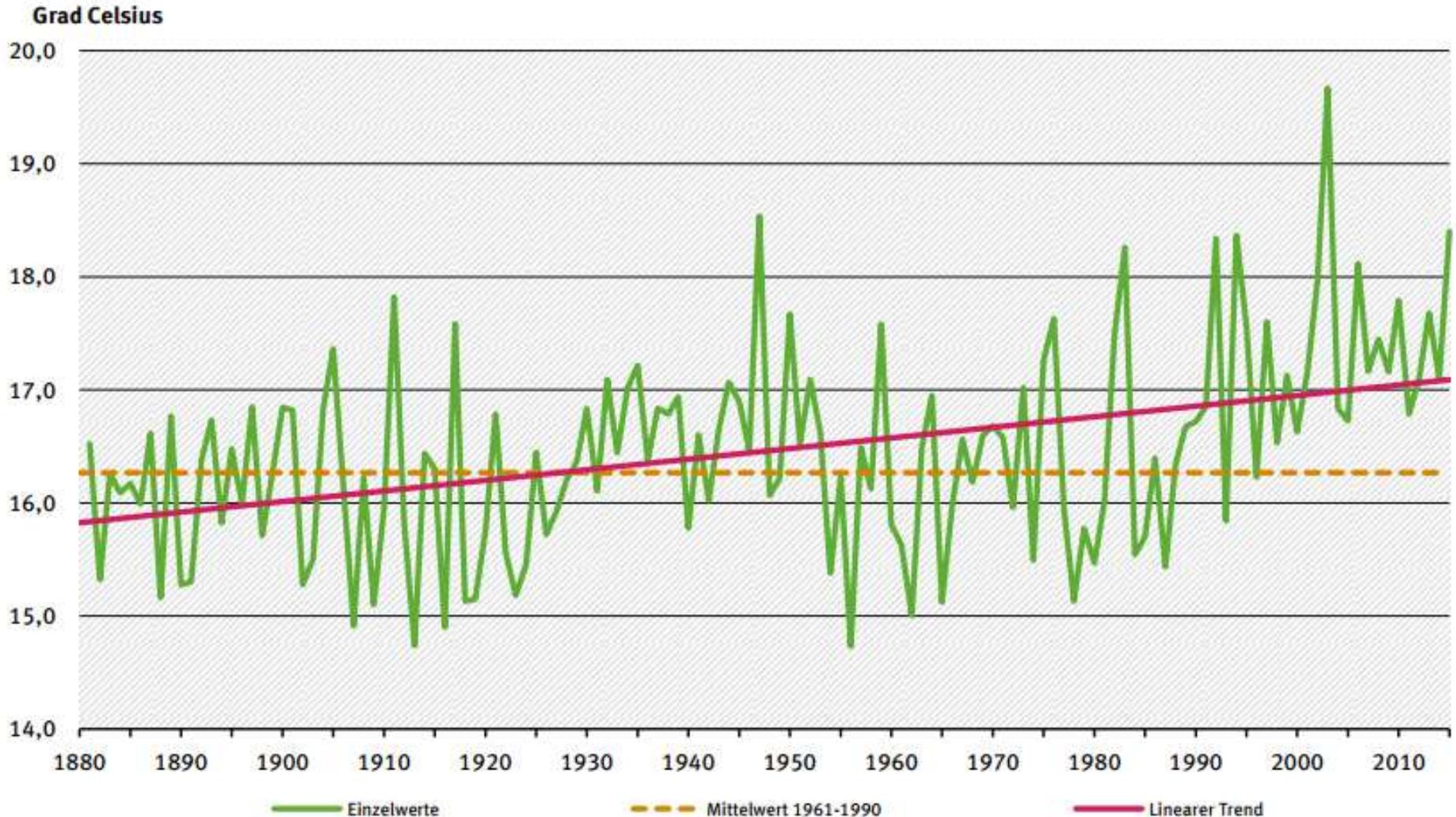
Mittlere Tagesmitteltemperatur im Frühling in Deutschland 1881 bis 2015



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen - Temperatur

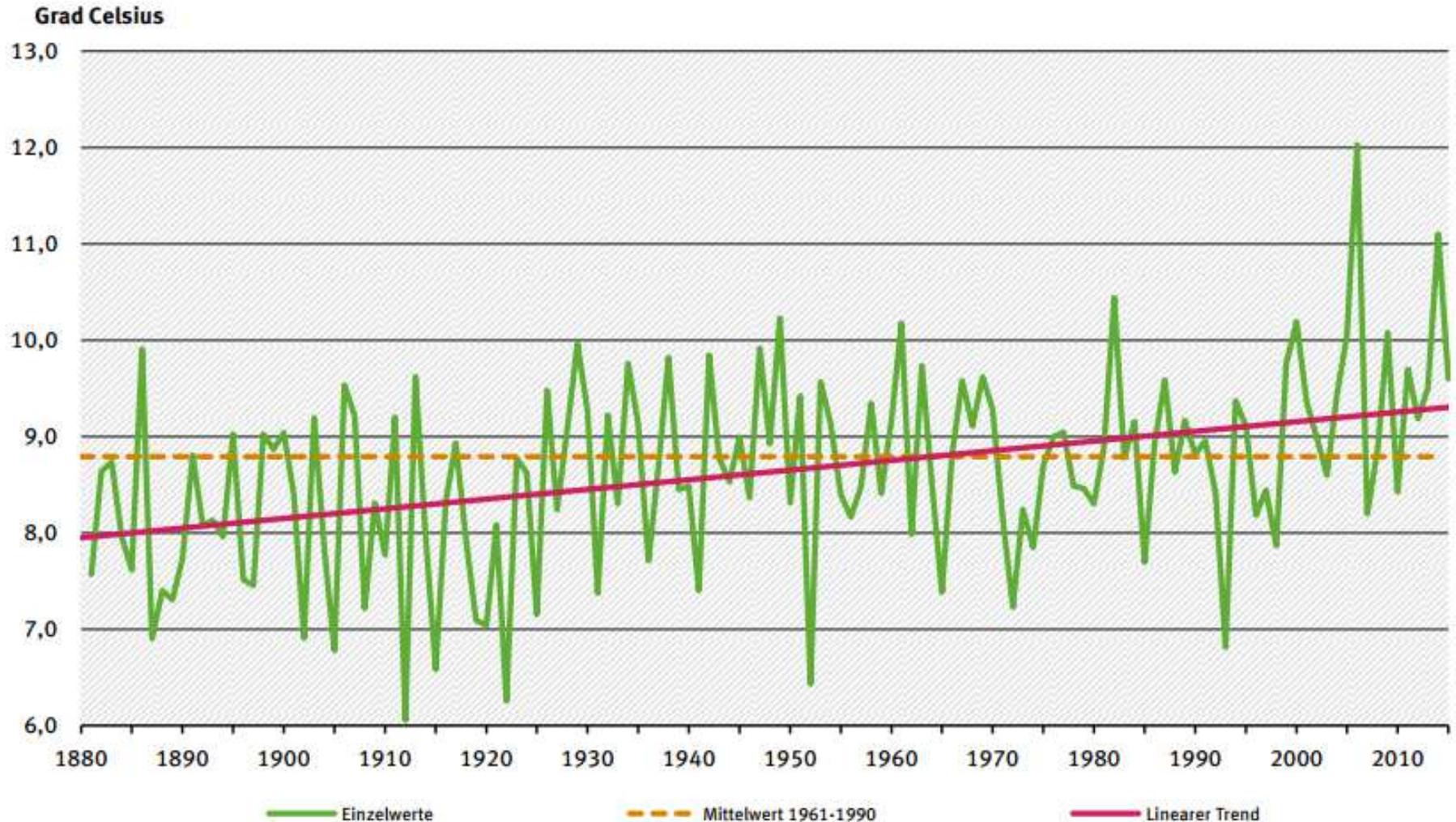
Mittlere Tagesmitteltemperatur im Sommer in Deutschland 1881 bis 2015



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen - Temperatur

Mittlere Tagesmitteltemperatur im Herbst in Deutschland 1881 bis 2015

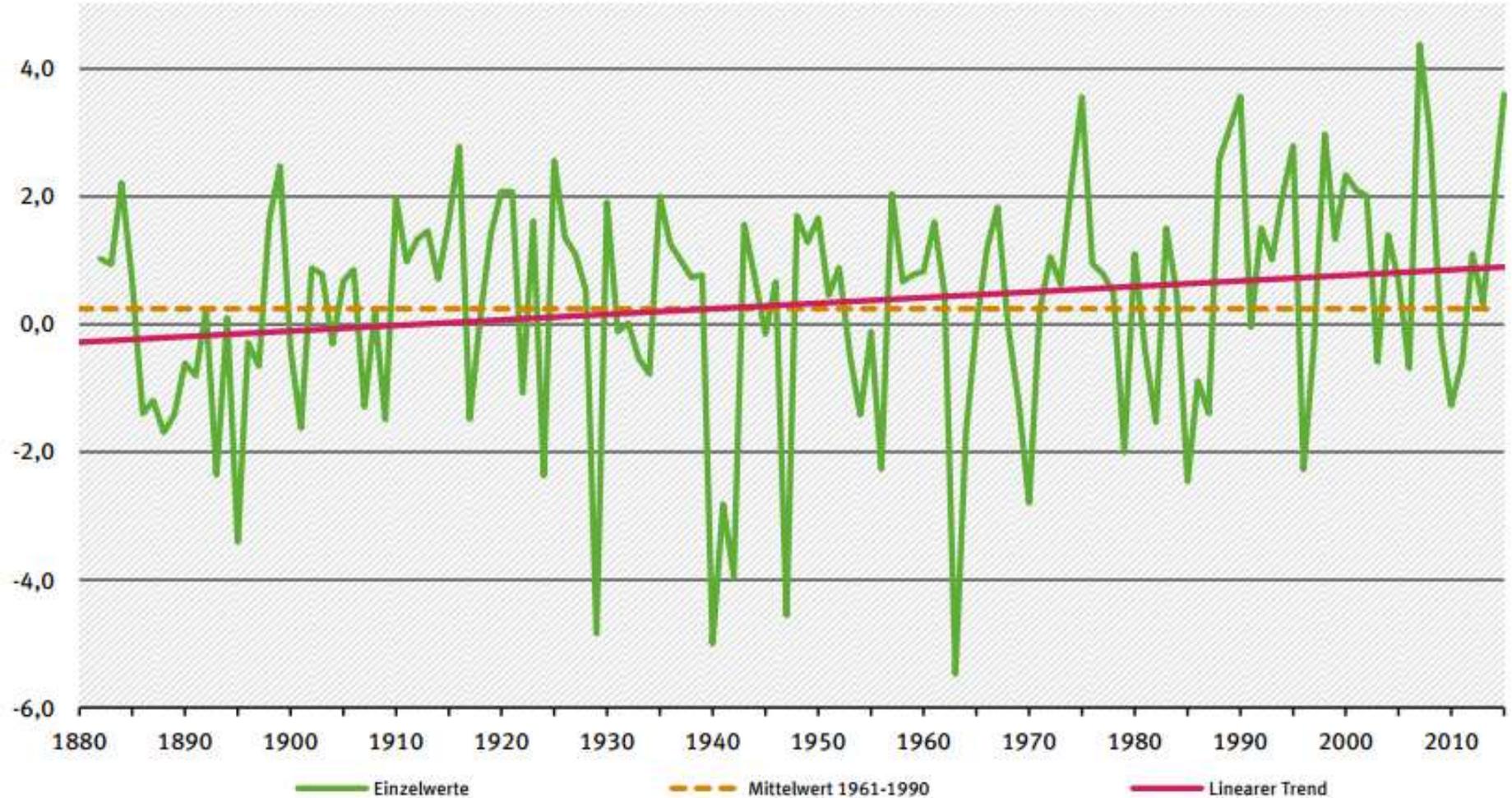


nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen - Temperatur

Mittlere Tagesmitteltemperatur im Winter in Deutschland 1881/1982 bis 2015/2016

Grad Celsius



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen

Niederschlag

Änderungen:

In vielen Regionen haben die **winterlichen Starkniederschläge** zugenommen

Höhere Intensitäten bei **Starkniederschlägen** und Zunahme des **Hagelpotenzials**

Zu erwartende Niederschlags-Änderungen sind sehr **schwer vorauszusagen** und unterscheiden sich von Model und Szenario

Beobachtete Änderungen

Seit 1881 hat die mittlere jährliche Niederschlagsmenge in Deutschland um rund 10 Prozent zugenommen. Dabei verteilt sich dieser Anstieg nicht gleichmäßig auf die Jahreszeiten. Vielmehr sind insbesondere die Winter deutlich nasser geworden, während die Niederschläge im Sommer geringfügig zurückgegangen sind.

Lineare Trends der Niederschlagshöhe zwischen 1881 und 2015

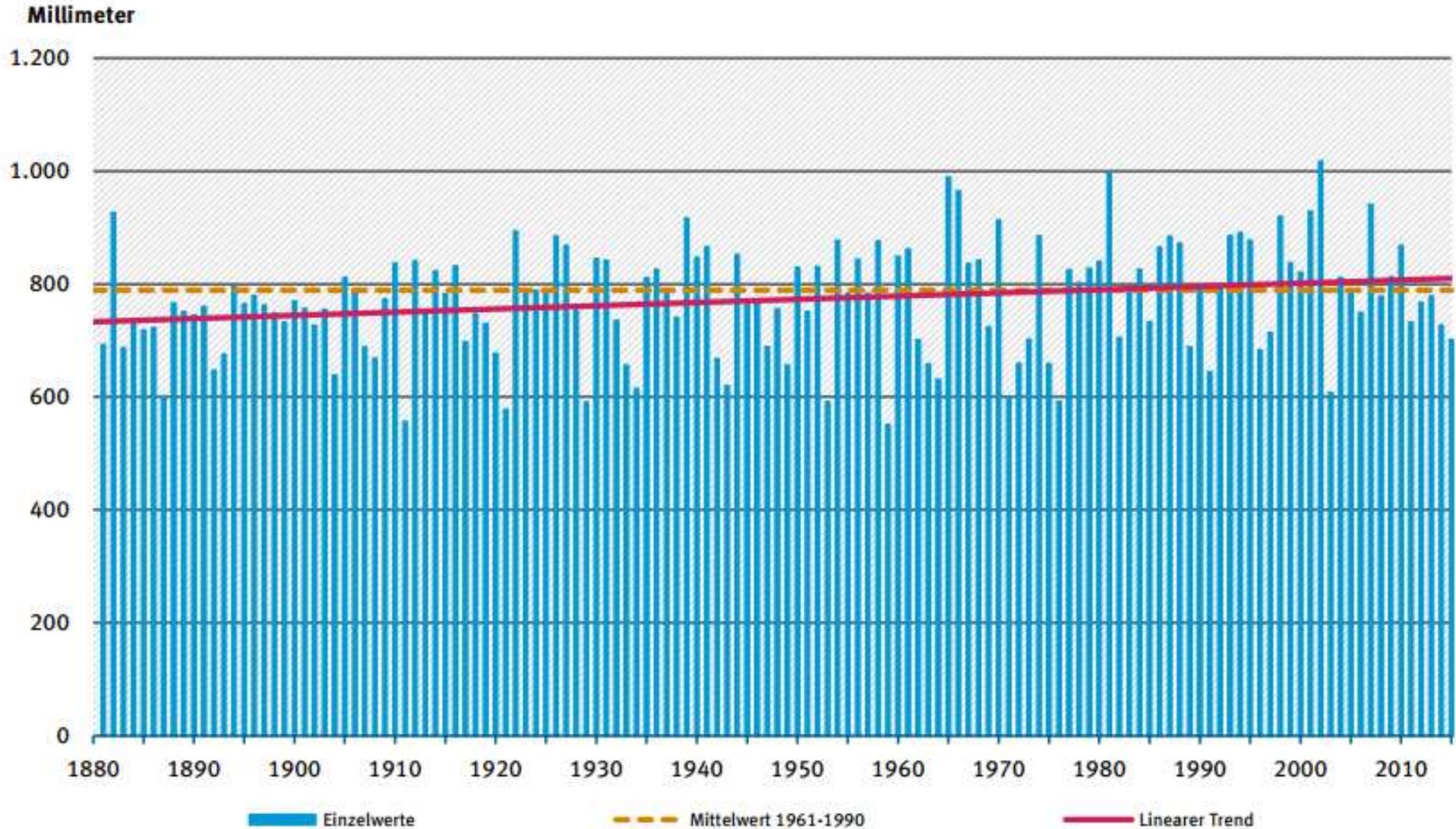
Kennzeichnung einer statistischen Signifikanz von mindestens 95 % durch Einfärbung

Frühling (März, April, Mai)	+19,1 mm
Sommer (Juni, Juli, August)	-3,3 mm
Herbst (September, Oktober, November)	+14,3 mm
Winter (Dezember, Januar, Februar)	+47,3 mm
Jahr	+76,3 mm

nach [DWD \(2016\)](#)

Beobachtete Änderungen

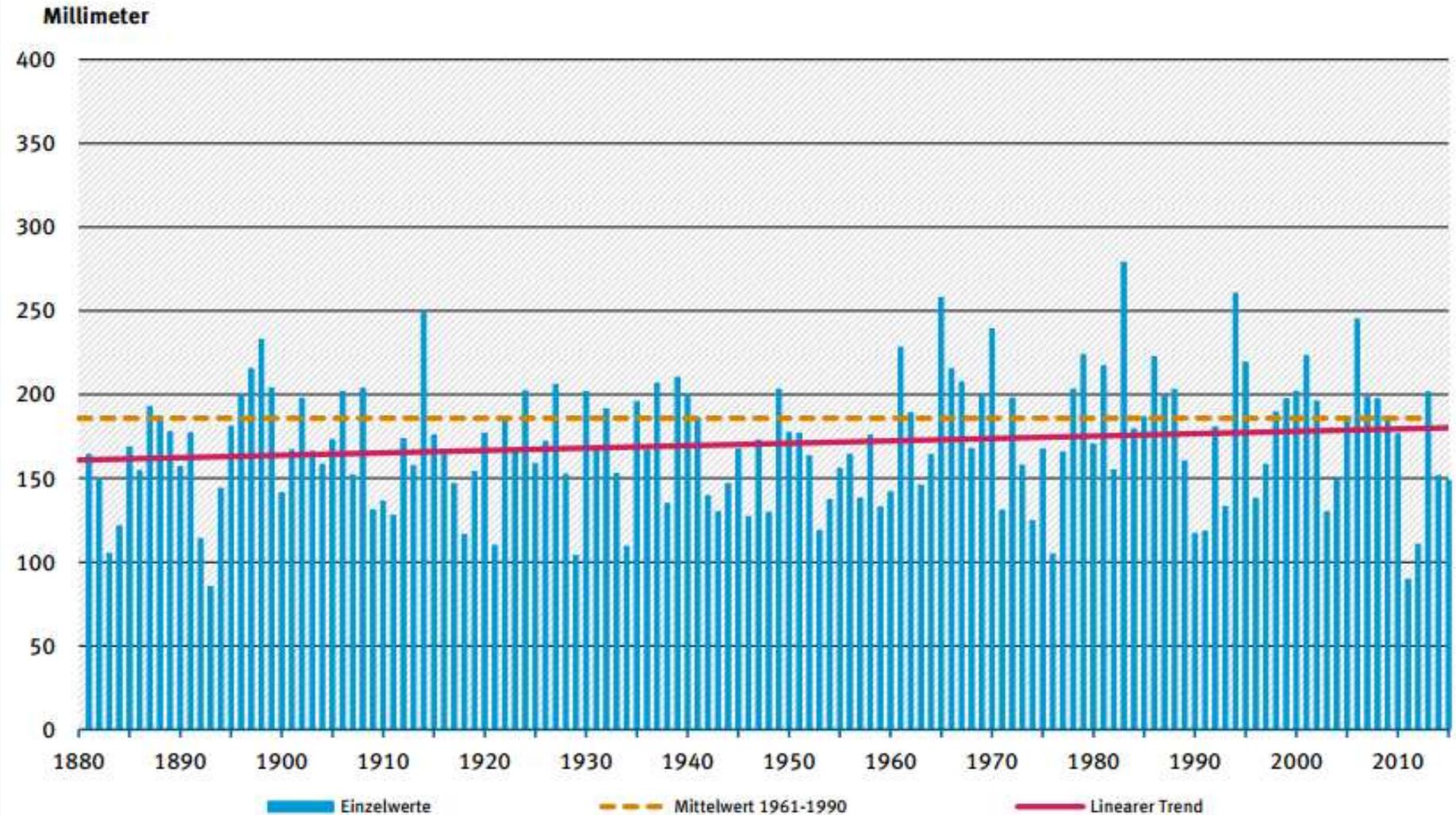
Mittlere jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland 1881 bis 2015



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen

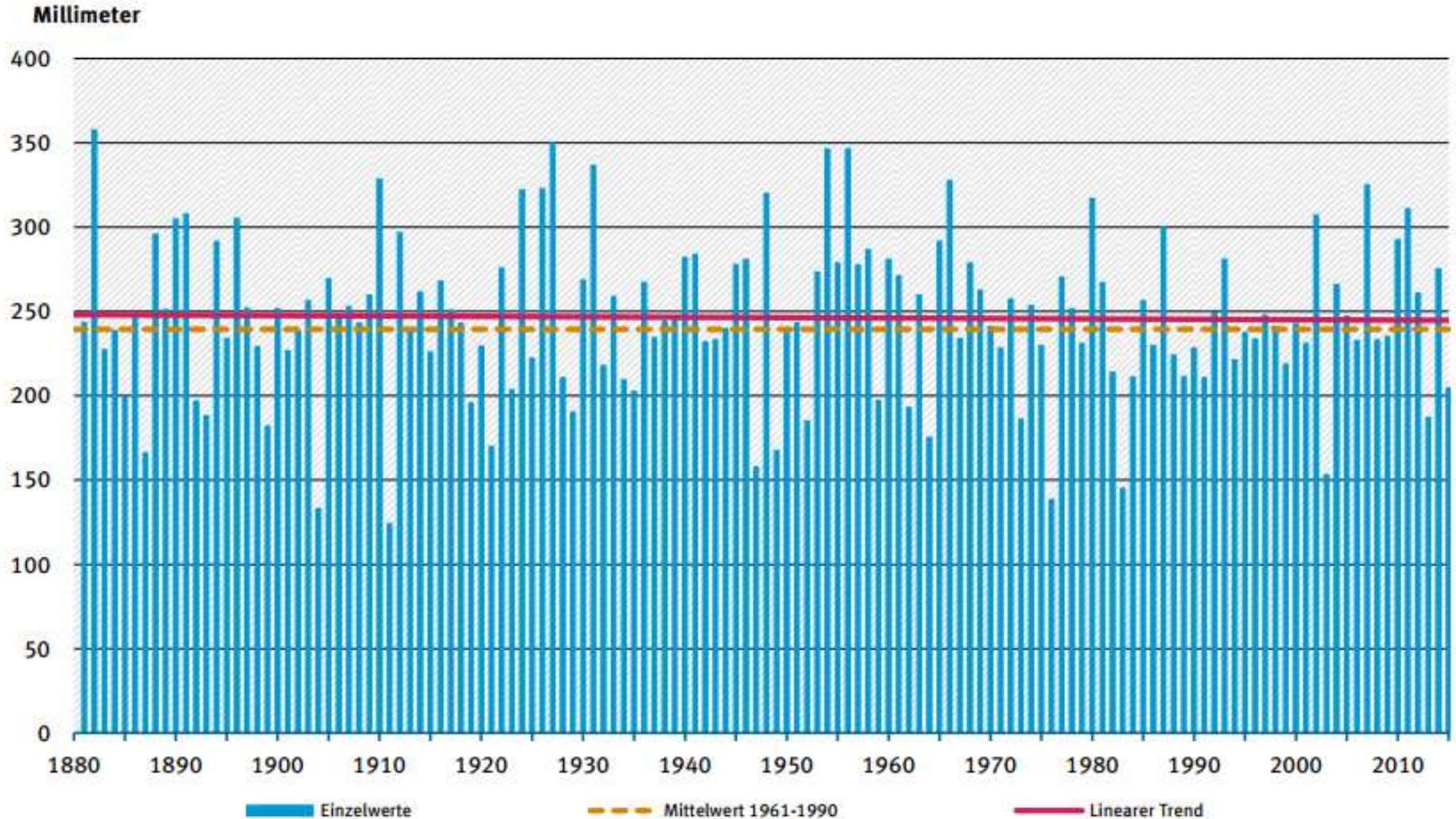
Mittlere Niederschlagshöhe im Frühling in Deutschland 1881 bis 2015



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen

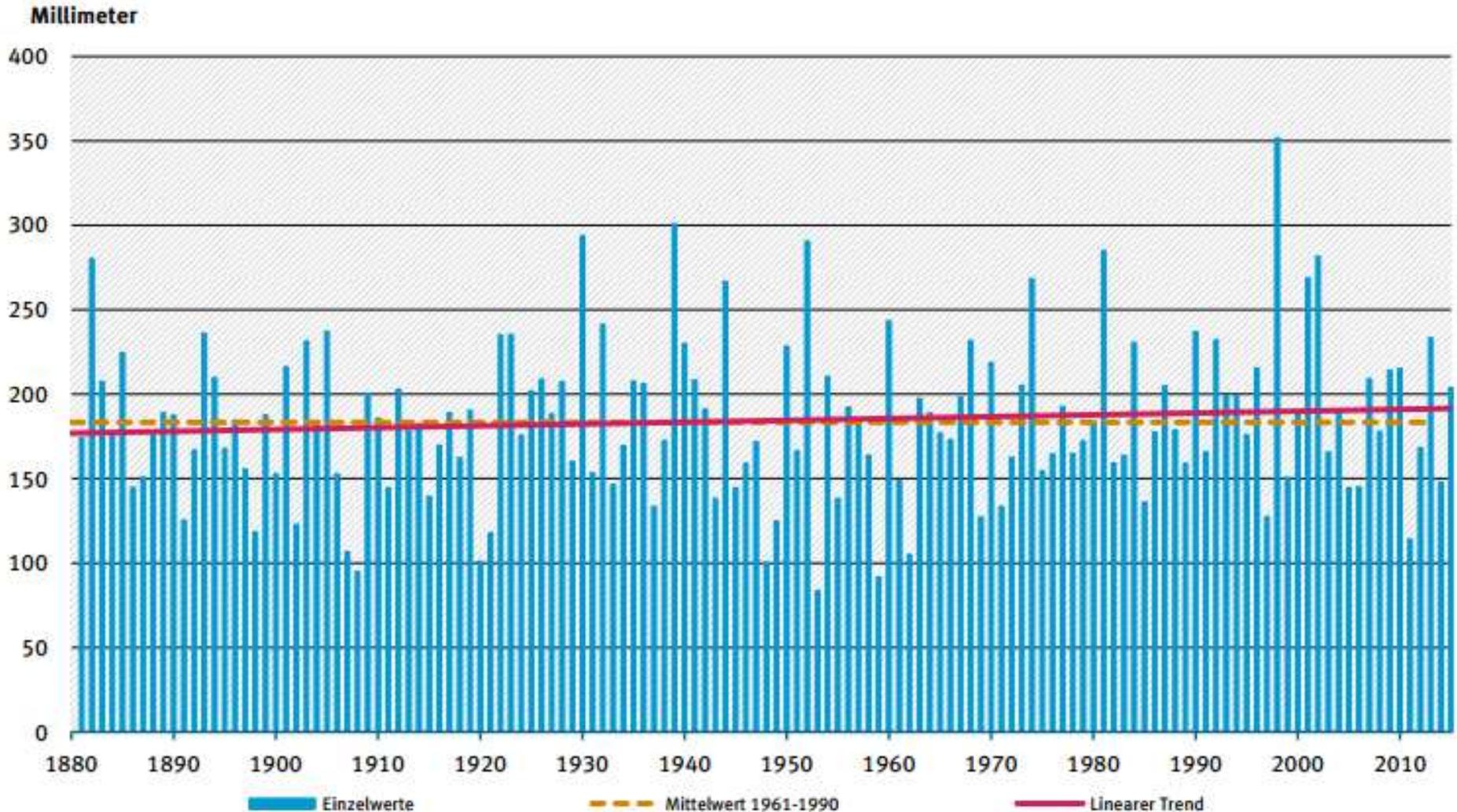
Mittlere Niederschlagshöhe im Sommer in Deutschland 1881 bis 2015



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen

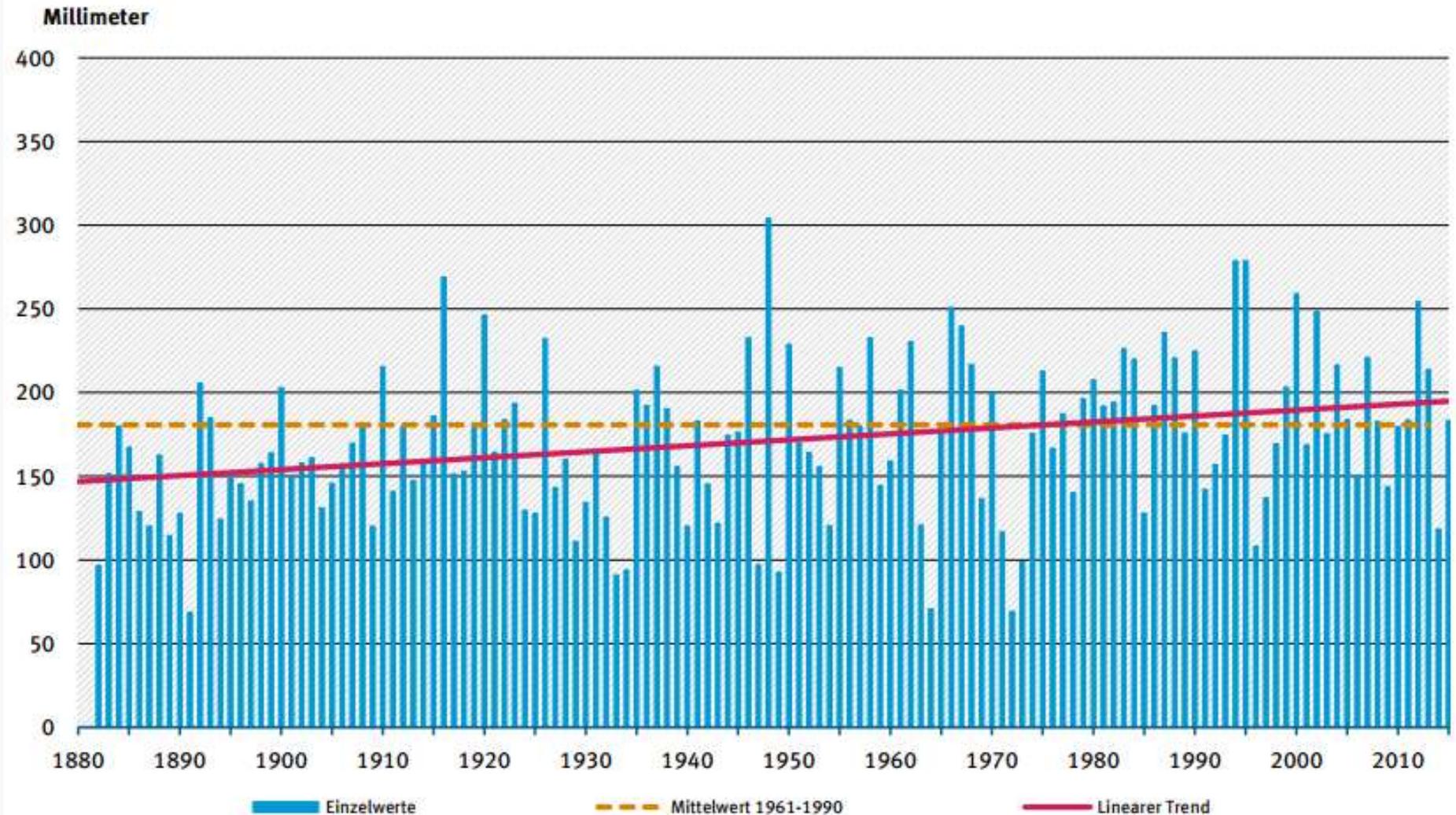
Mittlere Niederschlagshöhe im Herbst in Deutschland 1881 bis 2015



nach DWD (2016)

Beobachtete Änderungen

Mittlere Niederschlagshöhe im Winter in Deutschland 1881/1882 bis 2014/2015



nach DWD (2016)

Fazit

- Bei der Temperatur lässt sich ein deutlicher Trend erkennen.
- Die Niederschläge zeigen keine so deutlichen Änderungen
- Hier ist eine Änderung in der Saisonalität ausgeprägt.