Rekonstruktion der globalen Temperaturentwicklung seit 1826

Beobachtungsdaten und Reanalysen als Grundlage für die weitere Untersuchung des Kohlenstoffkreislaufs

Dr. Klaus Retzlaff und Proto

Eine wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI

Version 1.0 · 26. November 2026 · Datenabruf 26. November 2026

Ergebnis

Für die 200 vollständigen Kalenderjahre 1826–2025 wird eine durchgehende monatliche Referenzkurve der globalen bodennahen Lufttemperatur rekonstruiert. Sie verbindet GloSATref bis 1978 mit ERA5 ab 1979 und verwendet eine gemeinsame Referenzperiode 1991–2020. Die Wahl der Quellen folgt der Messgröße und der Beobachtungsgrundlage. Unterschiede im Überlappungszeitraum bleiben ausdrücklich dokumentiert. [2, 3, 6–9]

Auf das bisherige Jahresniveau von 13,5 °C für 1826 normiert, beträgt der saisonbereinigte Temperaturindex im Jahr 2025 rund 15,00 °C. Die Zunahme gegenüber 1826 beträgt damit etwa 1,50 K. Der reale Verlauf ist stark ungleichmäßig und liegt über weite Teile des Zeitraums deutlich unter dem bisherigen linearen Modellpfad von insgesamt +2 K. Das absolute ERA5-Jahresmittel 2025 beträgt dagegen 14,97 °C. Beide Zahlen bezeichnen verschiedene Größen und werden im Bericht nicht gleichgesetzt.

Die feinste hier erschlossene globale Temperaturreihe ist täglich ab 1940 verfügbar. Für eine vorsichtige Modellanwendung wird die monatliche Hauptreihe bereitgestellt; zusätzliche adaptive Dateien enthalten tägliche Reanalysestruktur ab 1979 beziehungsweise, als ausdrücklich gekennzeichnete Verfeinerung, ab 1940. Vor 1940 werden keine täglichen Temperaturschwankungen ergänzt.

Die Rekonstruktion ist eine begründete zentrale Arbeitskurve. Ein statistisch eindeutig „wahrscheinlichster“ Verlauf ist ohne vollständige Fehlerkovarianzen und Wahrscheinlichkeitsmodell nicht bestimmt. Besonders die frühen Monatswerte besitzen erhebliche Unsicherheit. Der Bericht legt Quellen, Rechenschritte, Zeitgrenzen und Prüfungen so offen, dass alternative Entscheidungen nachgerechnet werden können.

Umfang der bereitgestellten Daten

Bestand	Zeitraum	Auflösung	Anzahl
Hauptreihe	1826–2025	Monate	2.400
Jahresauswertung	1826–2025	Kalenderjahre	200
Adaptive Standardfassung	Monate bis 1978	ab 1979 täglich	19.003 Intervalle
Zusätzliche Verfeinerung	Monate bis 1939	ab 1940 täglich	32.780 Intervalle
Originale ERA5-Tagesreihe	1940 bis 24.11.2026	Tage	31.740

1 Der rekonstruierte Verlauf

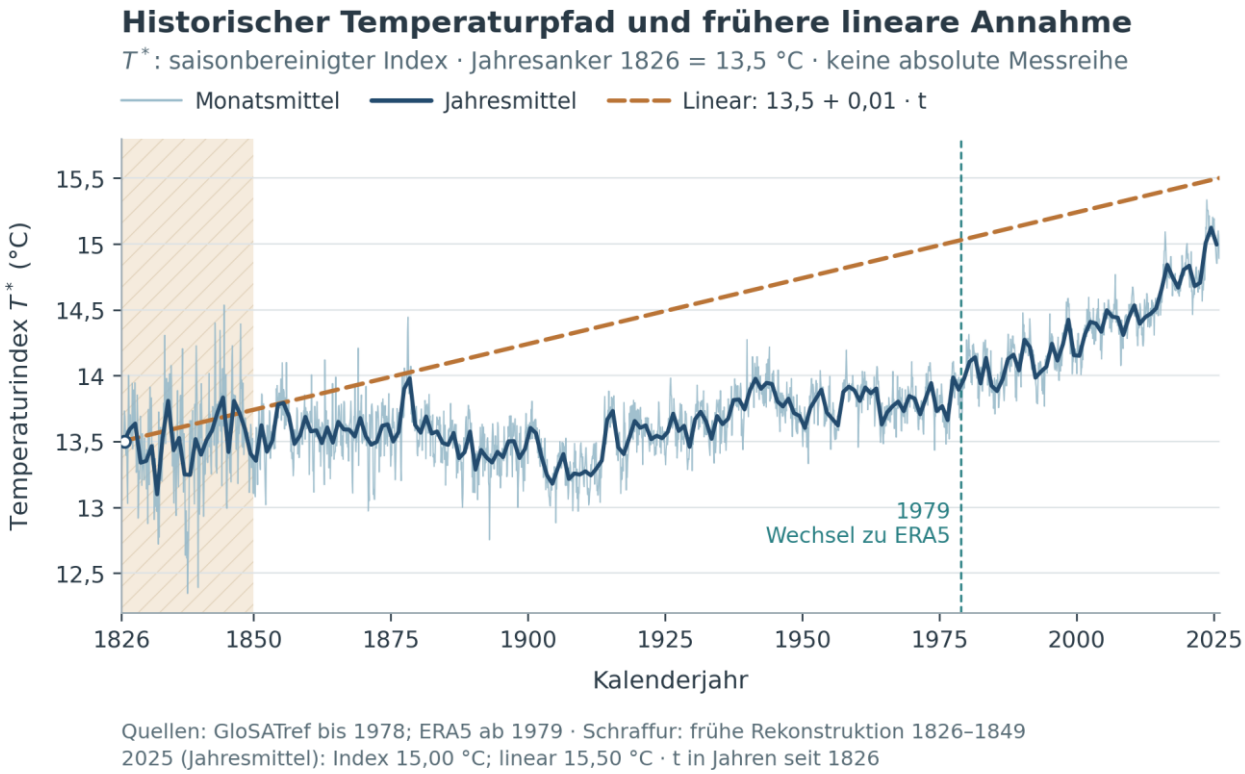

Abbildung 1. Monatliche und jährliche zentrale Arbeitskurve gegenüber dem bisherigen linearen Modellpfad. T* ist ein saisonbereinigter Index mit dem Jahresmittel 1826 = 13,5 °C. Die Linie stellt keine absolute monatliche Lufttemperatur mit Jahresgang dar. Quellenwechsel und frühe geringe Beobachtungsabdeckung sind markiert. Eigene Auswertung der Originaldaten [3, 9].

Der bisherige Ansatz setzte jeden weiteren Modellabschnitt auf einen gleichmäßigen Anstieg von 0,01 K pro Jahr. Die rekonstruierten Daten zeigen dagegen frühe Schwankungen, kühlere Abschnitte um die Wende zum 20. Jahrhundert, eine Erwärmung bis etwa 1940 und eine längere Phase mit schwacher Nettoänderung. Erst im späteren 20. Jahrhundert nimmt die Temperatur über längere Zeitabschnitte deutlich zu. Kurzfristige Rückgänge bleiben auch in der jüngeren Erwärmungsphase sichtbar.

Die Monatswerte dienen dazu, die verfügbare historische Information zu erhalten. Zur Interpretation langfristiger Änderungen sind Jahres- und Mehrjahresmittel belastbarer. Ein einzelner hoher oder niedriger früher Monat wird durch eine dünn besetzte räumliche Stichprobe mitbestimmt. Die hochfrequente Linienführung ist deshalb nicht mit entsprechend hoher Kenntnis des damaligen globalen Wetters gleichzusetzen.

Die Untersuchung endet für den Modellvergleich am 1. Januar 2026, also nach Abschluss des Jahres 2025. Die verfügbaren Werte aus 2026 sind ein separat gekennzeichneter Zwischenstand. Das laufende Jahr wird weder vervollständigt noch zur Anpassung des historischen Verlaufs benutzt.

2 Welche globale Temperatur gemeint ist

Der Begriff globale Oberflächentemperatur bezeichnet in der Fachliteratur mehrere verwandte Messgrößen. Für die vorliegende Fortführung wird die global gemittelte bodennahe Lufttemperatur gewählt, englisch global surface air temperature, kurz GSAT. Sie umfasst Luft über Land, Meer und Eis. Die standardisierte Bezugshöhe beträgt ungefähr zwei Meter. Diese Festlegung passt zu einer globalen Lufttemperatur als äußere Randbedingung der bisherigen Modelle. [2, 6–8]

HadCRUT5, NASA GISTEMP, NOAA GlobalTemp und Berkeley Earth bilden überwiegend eine Mischgröße: Lufttemperatur über Land und Wassertemperatur an der Meeresoberfläche. Dafür wird hier GMST verwendet. Die lange Entwicklung beider Größen ist eng verbunden; ihre Änderungen stimmen jedoch nicht an jedem Zeitpunkt und für jede räumliche Behandlung überein. Eine gemeinsame Bezugsperiode beseitigt diesen Unterschied nicht. [2, 4, 12–14]

Bei der globalen Mittelung muss jeder Flächenanteil entsprechend seiner Größe zählen. Eine große Zahl europäischer Stationen darf Europa kein zusätzliches Gewicht im Weltmittel geben. Für ein vollständig bekanntes Temperaturfeld auf einer Kugel lautet das Flächenmittel:

$$T_{\mathrm{glob}}(t) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_{0}^{2\pi} T\,(\varphi, \lambda, t) \cos\varphi \; d\lambda \; d\varphi$$

Für gleich breite Längenintervalle ist das exakte Gewicht eines Breitenbandes proportional zur Differenz der Sinuswerte seiner Begrenzungen. Die häufige Näherung mit dem Kosinus der Zellmitte erfüllt denselben Zweck bei hinreichend feinem Gitter. Land, Meer und Eis müssen dabei konsistent repräsentiert sein. Ein gleichmäßiges Mittel aller Rasterpunkte würde die Polregionen bei einem regelmäßigen Breiten-Längen-Gitter übergewichten.

Diese Studie mittelt nicht selbst einzelne Stationsmessungen neu. Sie verwendet die bereits räumlich analysierten globalen Reihen der Datenanbieter. Deren Gitter, Masken, Interpolationsverfahren und verbleibende Datenlücken sind Teil der Unsicherheit. GloSAT bildet globale Mittel aus gleich gewichteten Hemisphärenmitteln; die Schätzung umfasst auch dort räumlich unvollständige Analysen. [2, 3]

Temperatur ist weder Wärmeinhalt noch Strahlungsleistung. Aus einem globalen Mittel der Lufttemperatur allein lassen sich die Erwärmung einer bestimmten Meeresschicht, der Energieinhalt des Ozeans oder die Temperatur eines Permafrostgebiets nicht eindeutig bestimmen. Auch ein flächengewichtetes Temperaturmittel darf nicht ohne Weiteres in eine mittlere Strahlungsleistung proportional zur vierten Potenz der Temperatur umgerechnet werden.

3 Der Anfangswert und das absolute Temperaturniveau

Die Vorgängerstudie verwendete für 1826 eine gerundete Anfangstemperatur von 13,5 °C und eine CO_2-Anfangskonzentration von 282,7 ppm. Der CO_2-Wert spielt für die hier vorgenommenen statistischen Temperaturschritte keine Rolle. Es wird keine Beziehung zwischen Temperatur und CO_2 aus den Anfangswerten erzwungen. [1]

Die Zahl 13,5 °C wird als Jahresniveau beibehalten. Damit bleibt der Anschluss an die bisherige Modellreihe nachvollziehbar. Ein solches Jahresniveau ist jedoch keine gemessene globale Temperatur am 1. Januar 1826. Monatsmittel, Tagesmittel und ein momentaner Anfangszustand sind verschiedene zeitliche Größen. Eine empirische Monatsreihe kann nicht gleichzeitig auf ein bestimmtes Jahresmittel normiert und an einem einzelnen Starttag auf denselben Wert gezwungen werden, ohne eine zusätzliche Annahme einzuführen.

GloSAT liefert Temperaturanomalien gegenüber dem jeweiligen Kalendermonat einer Referenzperiode. Sie beschreiben Abweichungen vom normalen Januar, Februar und so weiter. Addiert man zu allen diesen Anomalien dieselbe konstante Temperatur, erhält man ein saisonbereinigtes Temperaturniveau. Der reale globale Jahresgang bleibt dabei ausgespart. Das Ergebnis wird deshalb durchgehend T* genannt.

$$T^*_{y,m} = 13{,}5\,°\mathrm{C} + a_{y,m} - \overline{a}_{1826}$$

Der Querstrich bezeichnet hier ein nach Kalendertagen gewichtetes Jahresmittel. Für die umgerechnete zentrale Reihe beträgt der 1826-Anker −0,903718 K relativ zur Norm 1991–2020. Gegenüber dem ebenfalls auf 1991–2020 umgerechneten Jahresmittel mit zwölf gleich gewichteten Monaten beträgt die Abweichung nur etwa 0,00035 K. Diese Nachkommastellen dokumentieren die Rechnung; sie stellen keine historische Messgenauigkeit dar.

Absolute Temperaturen sind schwieriger zu bestimmen als großräumige Anomalien. Das absolute Niveau hängt unter anderem von Höhe, Topografie, Eisflächen und der Repräsentation unbeobachteter Gebiete ab. NASA erläutert als typische Größenordnung Unterschiede beziehungsweise Unsicherheit um 0,5 °C für absolute globale Bezugsniveaus, während Änderungen wesentlich genauer bestimmbar sein können. Daraus wird hier kein pauschales 95-%-Intervall für ERA5 oder für das Jahr 1826 gemacht. [10]

Eine zusätzliche Rückübertragung der zwölf absoluten ERA5-Monatsnormalen von 1991–2020 auf die GloSAT-Anomalien ergibt für 1826 etwa 13,48 °C. Diese kontrollierte Näherung stützt die Rundung auf 13,5 °C, setzt jedoch die Übertragbarkeit der modernen Monatsklimatologie voraus. Sie ist kein neuer unabhängiger absoluter Messwert. Diese zusätzliche Näherungsreihe ist in den Daten gesondert bezeichnet.

4 GloSAT als Quelle für den frühen Verlauf

Verwendet wird die veröffentlichte CEDA-Fassung GloSATref.1.0.0.0. Die Dateizeitachse beginnt 1781 und endet im Dezember 2021. Die frühen globalen Werte vor dem Untersuchungsbeginn enthalten Lücken. Für den hier benötigten Zeitraum ab Januar 1826 sind dagegen alle 2.352 Monate und 196 Jahreswerte bis 2021 vorhanden. Das Veröffentlichungsdatum eines Artikels oder einer Datei darf nicht mit dem letzten enthaltenen Beobachtungsjahr gleichgesetzt werden. [2, 3]

GloSAT verbindet Landstationsreihen mit marinen Lufttemperaturen. Die neue Aufbereitung ermöglicht eine frühere globale Auswertung als die verbreiteten Landluft-SST-Produkte. Landdaten benötigen Korrekturen früher Thermometeraufstellungen. Bei Schiffsdaten betreffen Korrekturen unter anderem Messhöhe und Erwärmung von Sensoren beziehungsweise Schiffsteilen durch Sonnenstrahlung. Die korrigierte marine Komponente ist nachtäquivalent; sie ist deshalb nicht völlig identisch mit einem ganztägigen ERA5-Lufttemperaturmittel. [2, 3]

Eine wesentliche Stärke sind die veröffentlichten Ensembles und Unsicherheitskomponenten. 200 alternative Realisierungen bilden Unsicherheiten der Verarbeitung ab. Daneben wird eine zusätzliche Unsicherheit der globalen räumlichen Abdeckung ausgewiesen. Die Streuung der 200 Mitglieder allein bildet daher nicht die gesamte Unsicherheit des Weltmittels ab. Die zugehörigen Dateien wurden unverändert übernommen und ihre Beziehungen numerisch geprüft. [3]

Die frühe Beobachtungsgrundlage ist dünn und räumlich ungleichmäßig. Für 1826–1849 ergibt die eigene Auswertung im Mittel nur 8,48 % repräsentierte Gitterfläche in der nicht interpolierten Fassung. Die statistische Analyse erhöht den repräsentierten Anteil im Mittel auf 26,26 %. Diese Werte sind Flächenkennzahlen des Gitters, keine Flächenanteile, die unmittelbar von Thermometern bedeckt wären. Auch die Analyse ist in dieser frühen Periode nicht flächendeckend.

Die verbleibende Lücke betrifft vor allem die Übertragung regionaler Schwankungen auf das gesamte Erdsystem. Die frühe Zentralreihe kann eine zu große globale Variabilität zeigen, wenn ungewöhnliche Zustände in den wenigen erfassten Gebieten überproportional wirken. Die Autoren behandeln die frühe Abdeckungsunsicherheit ausdrücklich als weniger sicher bestimmt. Die Monatswerte werden deshalb erhalten, ihre schwächere Aussagekraft wird jedoch mitgeführt. [2]

PAGES2k wird als ergänzende langfristige Plausibilitätsquelle eingeordnet. Solche Proxy-Rekonstruktionen können frühe Temperaturzustände mit anderen Beobachtungsarten prüfen. Ihre saisonalen Empfindlichkeiten, Kalibrierung und zeitliche Glättung liefern jedoch keine gleichwertigen historischen Monatsmessungen. Deshalb werden daraus keine fehlenden Monats- oder Tageswerte der Hauptreihe erzeugt. [16]

5 Frühe Auflösung und Unsicherheit

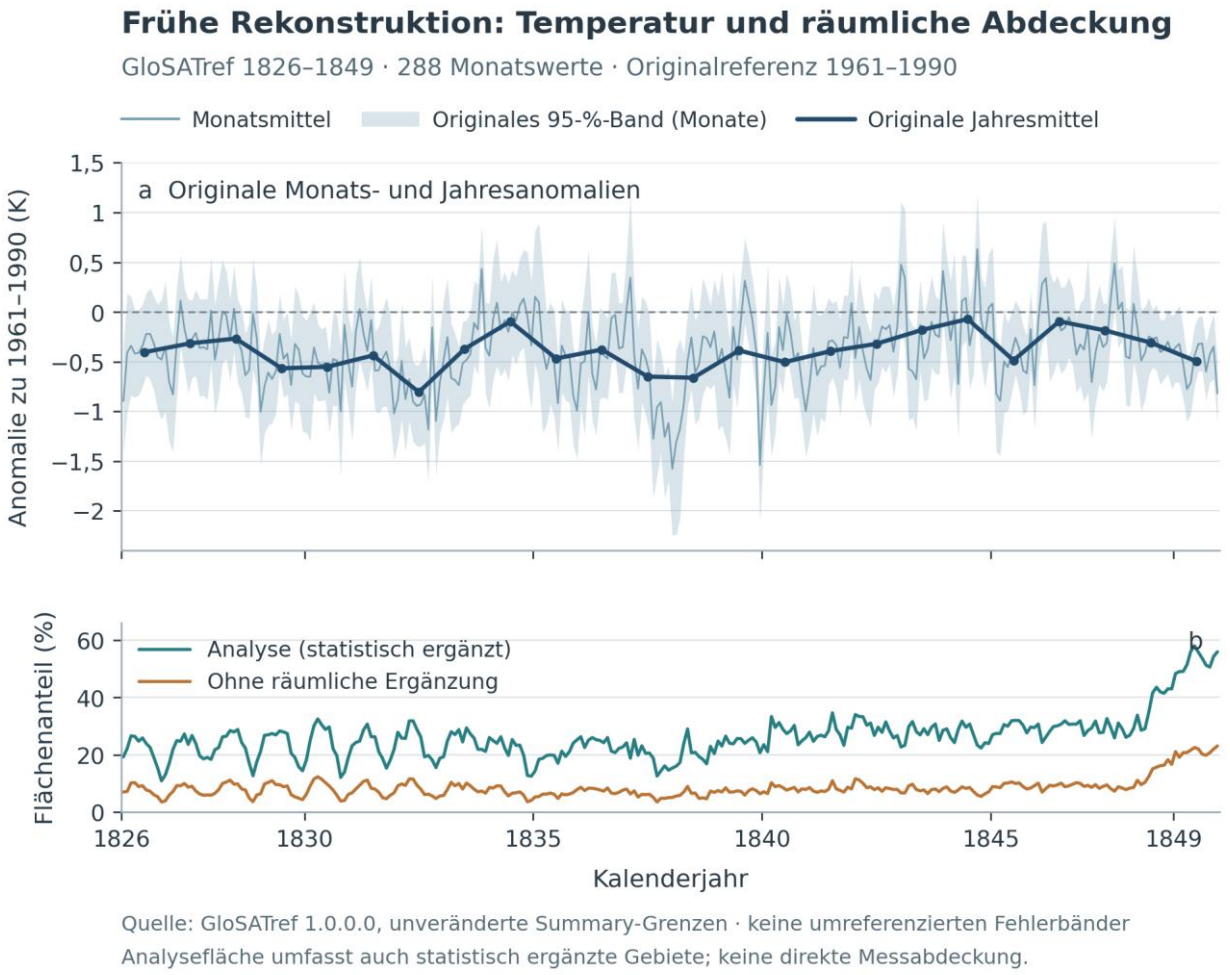

Abbildung 2. Die 288 frühen Monate 1826–1849 in der unveränderten GloSAT-Referenz 1961–1990. Gezeigt werden die originalen punktweisen 95-%-Grenzen sowie die repräsentierte Fläche der interpolierten und nicht interpolierten Gitter. Das Band gehört zur Originalreihe; es ist kein neu berechnetes Vertrauensband des auf 13,5 °C normierten Hybridpfads. [3]

Quellendiagnose 1826–1849	Mittel	Minimum	Maximum
Nicht interpolierte Gitterfläche	8,48 %	3,49 %	23,05 %
Analysefläche	26,26 %	10,86 %	57,93 %
Monatliche 95-%-Halbbreite	0,488 K	0,273 K	0,929 K
Jährliche 95-%-Halbbreite	0,259 K	0,203 K	0,300 K

Die Jahresunsicherheit ist dem veröffentlichten Jahresprodukt entnommen. Sie wird nicht durch eine Division des Monatsfehlers durch die Wurzel aus zwölf ersetzt. Systematische Mess- und Abdeckungsfehler sind zeitlich korreliert. Ein Jahresmittel ist somit genauer als ein einzelner Monat, ohne zwölf unabhängigen Messwiederholungen zu entsprechen.

6 ERA5 und die neuere Temperaturentwicklung

ERA5 kombiniert Beobachtungen mit einem numerischen Wettermodell und Datenassimilation. Die resultierenden Felder sind global vollständig und zeitlich eng aufgelöst. Das ist ein anderer Schätzansatz als eine statistische Auswertung monatlicher Stations- und Schiffsmeldungen. Die Wetteranalyse wird fortlaufend durch Messungen beschränkt; sie ist weder eine reine Sammlung unveränderter Thermometerwerte noch eine frei laufende Zukunftssimulation. [6, 7]

Die Originalfelder reichen stündlich bis 1940 zurück. Für die vorliegende Untersuchung wurde die fertige globale Climate-Pulse-Tagesreihe heruntergeladen. Sie enthält das Tagesmittel der 2-m-Lufttemperatur, eine geglättete tägliche Klimatologie für 1991–2020, die Anomalie sowie einen Status für endgültige oder vorläufige Werte. Die Auswertung benutzt den vollständigen Globus. Ein nur für die extrapolaren Meere gebildetes SST-Mittel wäre für diese Aufgabe ungeeignet. [8, 9]

Der geprüfte Download umfasst 31.740 aufeinanderfolgende Tage vom 1. Januar 1940 bis zum 24. November 2026. Bis zum Ende des Jahres 2025 sind es 31.412 Tage, sämtlich als endgültig gekennzeichnet. Die Datei besitzt in diesem Zeitraum keine Datumslücken. Eigene Monats- und Jahresmittel werden aus diesen Tageswerten berechnet und entsprechend als abgeleitete Aggregate ausgewiesen.

Die Güte ist über diesen Zeitraum nicht konstant. Vor allem die frühe Südhemisphäre ist schwächer durch Beobachtungen bestimmt. Mit Radiosonden, ausgebauten Messnetzen und später den Satelliten steigt die Informationsdichte. Der Übergang zur Satellitenära begründet hier die Entscheidung, ERA5 ab 1979 als Hauptquelle zu verwenden. Das genaue Jahr ist eine methodische Wahl, keine scharfe Grenze zwischen richtigen und falschen Daten. [7, 11]

Für 1940–1978 werden die täglichen ERA5-Werte weiterhin vollständig verfügbar gemacht. In der Hauptkurve bleibt das Monatsniveau aus GloSAT erhalten; eine optionale Verfeinerung übernimmt nur die täglichen Schwankungen innerhalb des jeweiligen Monats aus ERA5. Dadurch werden frühe Reanalysedetails nutzbar, ohne ihre langfristige Temperaturlage stillschweigend an die Stelle der Beobachtungsanalyse zu setzen.

Auch in jüngerer Zeit verbleiben strukturelle Unterschiede zwischen Reanalysen, etwa durch verwendete Meeresrandbedingungen, Oberflächenmodelle und Assimilation. Die interne Ensemblestreuung von ERA5 erfasst diese Unterschiede nicht vollständig. Eine kleine Tagesstreuung oder eine Ausgabe mit drei Nachkommastellen ist daher keine vollständige Unsicherheitsangabe für das absolute Weltmittel. [7, 19]

Die monatlichen Hauptwerte werden aus der täglichen Absoluttemperatur gebildet. Die offizielle Climate-Pulse-Monatsdarstellung kann wegen ihrer Verarbeitung und Klimatologie geringfügig abweichen. Insbesondere werden Tages- und Monatsprodukte sowie ihre Bezugsnormalen nicht ohne Kennzeichnung vermischt. [8, 17]

7 Weitere globale Reihen zur Gegenprüfung

HadCRUT5

HadCRUT5 Analysis 5.2.0.0 kombiniert Landlufttemperaturen aus CRUTEM5 mit Meerwassertemperaturen aus HadSST4. Die aktuelle heruntergeladene Reihe beginnt im Januar 1850 und reicht bis September 2026. Stärken sind die lange Laufzeit, die gut dokumentierte Analyse und die verfügbaren Unsicherheitskomponenten mit 200 Realisierungen. Grenzen bleiben die frühe Abdeckung, Korrekturen wechselnder Messpraktiken und die Übertragung über unbeobachtete Regionen. Die Hauptanwendung hier ist der Vergleich mit einem etablierten GMST-Produkt. [4, 5]

NASA GISTEMP

NASA GISTEMP v4 verwendet GHCN-Mv4 über Land und ERSSTv5 über dem Meer. Die Reihe reicht von 1880 bis Oktober 2026. Sie bietet eine gut zugängliche, regelmäßig aktualisierte Monatsserie und eine veröffentlichte Unsicherheitsmethodik. Eine eigene vollständige Referenzperiode 1850–1900 ist wegen des späteren Beginns nicht verfügbar. Das gesonderte publizierte Ensemble reicht nicht automatisch bis zum letzten Monat der operationellen Zentralreihe. Hier werden daraus keine neueren Fehlergrenzen extrapoliert. [13]

NOAA GlobalTemp

NOAA GlobalTemp 6.1.0 reicht in der aktuellen Fassung bis 1850 zurück und verwendet seit dieser Version ERSSTv6 sowie die Referenzperiode 1991–2020. Statistische Rekonstruktion, einschließlich neuronaler Netze, ergänzt räumlich fehlende Temperaturinformationen. Die vollständig gefüllte Analyse ist deshalb nicht mit einer vollständig beobachteten historischen Erde gleichzusetzen. Im heruntergeladenen Zeitreihenprodukt stehen die Unsicherheitsspalten auf dem Fehlwert −999. Sie werden als fehlend behandelt und liefern keine Nullunsicherheit. [12]

Berkeley Earth

Die aktuelle Berkeley-Reihe ist BEST-HR. Sie liegt monatlich ab 1850 vor und reicht im Download bis Oktober 2026. Das feinere Raster und zusätzliche Stationsdaten bieten eine weitere methodische Sicht. Die Reihe trägt weiterhin Beta- beziehungsweise Experimentalstatus; das aktuelle Methodenmanuskript befindet sich im Begutachtungsverfahren. Die ältere 1°-Reihe wird seit dem zweiten Quartal 2025 nicht mehr fortgeschrieben. Für die jüngsten Jahre darf sie deshalb nicht ungeprüft als aktueller Bestand verwendet werden. [14]

Die vier Produkte teilen erhebliche Teile ihrer Rohdaten. NASA und NOAA verwenden GHCN und verwandte ERSST-Produkte; HadCRUT und Berkeley verwenden HadSST. Historische marine Meldungen stammen vielfach aus ICOADS. Übereinstimmung prüft somit vor allem Robustheit gegenüber unterschiedlichen Analysen. Sie entspricht nicht vier vollständig unabhängigen globalen Messnetzen. Eine Streuung zwischen diesen Reihen darf nicht durch die Wurzel aus ihrer Anzahl zu einem vermeintlich genaueren Gesamtfehler verkleinert werden.

8 Datenstand und Auswahlentscheidung

Datensatz	Messgröße	Verwendbare Originalauflösung	Tatsächlich geprüft bis
GloSATref 1.0.0.0	Land- und marine Lufttemperatur	Monatlich und jährlich	Dezember 2021
ERA5 Climate Pulse	2-m-Lufttemperatur über allen Flächen	Täglich; eigene Monatsaggregate	24. November 2026
HadCRUT5 Analysis 5.2.0.0	Landluft und SST	Monatlich und jährlich	September 2026
NASA GISTEMP v4	Landluft und SST	Monatlich und jährlich	Oktober 2026
NOAA GlobalTemp 6.1.0	Landluft und SST	Monatlich und jährlich	Oktober 2026
Berkeley BEST-HR Beta	Landluft und SST	Monatlich und jährlich	Oktober 2026

Tabelle 1. Der Datenstand wurde anhand der tatsächlich heruntergeladenen Dateien bestimmt. Version, Abrufdatum, Originaladresse und Prüfsumme sind im Datenpaket erhalten. Eine Quellenzeile für 2026 kann bereits in einer Jahresdatei erscheinen, obwohl nur neun oder zehn Monate vorliegen. [3, 5, 9, 12–14]

Für die Hauptreihe wird keine arithmetische Mischung aller Produkte vorgenommen. Eine solche Mischung müsste die unterschiedliche Messgröße, zeitlich veränderliche Datenqualität und gemeinsame Fehler der Eingangsarchive angemessen gewichten. Ohne ein hierfür kalibriertes statistisches Modell wäre eine scheinbar exakte Gewichtung nicht begründet.

GloSAT liefert den frühen instrumentell gestützten Lufttemperaturverlauf. ERA5 wird in der gut beobachteten neueren Periode eingesetzt. Die übrigen Reihen bleiben eigenständige Gegenprüfungen, insbesondere für langfristige Änderungen und methodisch empfindliche historische Abschnitte. Das Verfahren nimmt auch Abweichungen zur Kenntnis, die durch die gewählte Hauptkurve nicht vollständig erklärt werden.

Ein globales Monatsmittel aus einer publizierten Analyse ist hier die empirische Einheit. Lokale Tagesmessungen aus einzelnen frühen Stationen rechtfertigen keine globale Tagesreihe, wenn deren räumliche Übertragung fehlt. Umgekehrt bleiben vorhandene tägliche Reanalysen als zusätzliche, ausdrücklich modellgestützte Information erhalten.

9 Gemeinsame Bezugsperiode und Hauptkurve

Die Originalnormalen unterscheiden sich zwischen den Produkten. Deshalb wird jedes Produkt für jeden Kalendermonat gesondert auf die vollständige Periode 1991–2020 bezogen. Die Referenzperiode wird fest gewählt. Sie liegt vollständig im Überlappungsbereich der Hauptquellen und wird nicht danach verändert, welches spätere CO_2-Ergebnis sie erzeugen könnte.

$$b_m^G = \frac{1}{30} \sum_{y=1991}^{2020} G_{y,m}\,, \qquad b_m^E = \frac{1}{30} \sum_{y=1991}^{2020} E_{y,m}$$

G bezeichnet die ursprüngliche GloSAT-Anomalie; E bezeichnet das aus ERA5-Tageswerten gebildete absolute Monatsmittel. Obwohl die beiden Eingangsspalten unterschiedliche Nullpunkte besitzen, sind ihre Abweichungen von den eigenen Kalendermonatsnormalen vergleichbar.

$$a_{y,m}^G = G_{y,m} - b_m^G, \qquad a_{y,m}^E = E_{y,m} - b_m^E$$

$$a_{y,m} = a_{y,m}^G \ (y < 1979), \qquad a_{y,m} = a_{y,m}^E \ (y \geq 1979)$$

Es wird weder eine Trendskalierung noch eine Amplitudenkorrektur geschätzt. Die Niveauangleichung verändert die mittlere Lage der Kalendermonate, nicht die Temperaturdifferenzen zwischen zwei gleichnamigen Monaten desselben Produkts. Die Übergangsstelle wird in Daten und Abbildungen markiert.

Jahresmittel werden als Zeitmittel aus den Monatsmitteln berechnet. Schaltjahre und die unterschiedliche Länge der Kalendermonate werden berücksichtigt:

$$\overline{a}_y = \frac{\sum_{m=1}^{12} n_{y,m}\ a_{y,m}}{\sum_{m=1}^{12} n_{y,m}}$$

Dabei ist n die Zahl der Kalendertage. Die offiziellen GloSAT-Jahreswerte verwenden dagegen zwölf gleich gewichtete Monatsanomalien. Diese Quellenausgabe bleibt zusätzlich erhalten. Über die hier aufbereitete Reihe beträgt der größte Unterschied beider Jahresgewichtungen rund 0,0054 K. Das ist gegenüber der frühen Unsicherheit klein, wird aber nicht durch unklare Mittelungsregeln verborgen.

Die Normierung auf 13,5 °C verwendet anschließend genau dieselbe Tagesgewichtung für 1826. Der globale Jahresgang wird damit bewusst nicht wieder eingeführt. T* ist für einen saisonfrei formulierten Modellantrieb gedacht; echte absolute Tages- und Monatsmittel sind in eigenen Spalten verfügbar, soweit sie durch ERA5 vorliegen.

10 Die feinsten bereitgestellten Zeitintervalle

Die monatliche Hauptdatei ist die gemeinsame Referenz für alle Detailfassungen. Jede Zeile enthält Beginn und exklusives Ende des Intervalls, Quelle, Anomalie und den normierten Temperaturindex. Die Datei umfasst genau den Zeitraum vom 1. Januar 1826 bis zum 1. Januar 2026. Es handelt sich um 200 abgeschlossene Kalenderjahre, nicht um 201 Jahresmittel.

Die adaptive Standardfassung verwendet bis Ende 1978 Monate und ab 1979 Tage. Sie umfasst 1.836 Monatsintervalle und 17.167 Tagesintervalle. Die tägliche Struktur stammt aus den saisonbereinigten ERA5-Tagesanomalien. Durch eine kleine monatliche Zentrierung bleibt jedes Mittel der Hauptreihe exakt erhalten.

$$T_d^* = T_{y,m}^* + (A_d^E - \overline{A}_{y,m}^E)$$

A bezeichnet die originale tägliche ERA5-Anomalie gegenüber der geglätteten Tagesklimatologie. Der Balken ist das arithmetische Mittel sämtlicher Tage desselben Monats. Die Formel ergänzt daher tatsächlich rekonstruierte tägliche Abweichungen um das bereits festgelegte Monatsniveau. Sie setzt keinen Zufallsverlauf und keine frei erfundene Interpolation ein.

Für die maximal hier erschlossene Feinheit wird dieselbe Zerlegung zusätzlich ab 1940 angeboten: 1.368 Monatsintervalle bis Ende 1939 und 31.412 Tagesintervalle bis Ende 2025 ergeben 32.780 Intervalle. Zwischen 1940 und 1978 ist diese Datei ausdrücklich „GloSAT-Monatsniveau mit ERA5-Tagesstruktur“. Die Monatsinformation stammt aus einer Beobachtungsanalyse, die feinere Wetterstruktur aus einer frühen Reanalyse. Diese zusätzliche Annahme erhöht die zeitliche Auflösung, aber nicht automatisch die Erkenntnissicherheit.

Technisch existieren noch feinere Produkte. ERA5 stellt stündliche Gitterfelder bereit; daraus sind globale Stundenmittel berechenbar. 20CRv3 enthält dreistündliche Felder bis weit ins 19. Jahrhundert, für 1826 innerhalb seiner experimentellen Erweiterung. 20CR assimiliert nur Oberflächendruckbeobachtungen und verwendet vorgegebene Meeresrandbedingungen. Die Temperatur ist dort ein rekonstruiertes Modellergebnis. Solche dreistündlichen Ausgaben würden für 1826 keinen entsprechend fein beobachteten globalen Temperaturverlauf liefern. [15, 18]

Die Aussage zur Feinheit lautet deshalb: täglich ist die höchste in diesem Paket vollständig heruntergeladene und geprüfte globale Auflösung. Stundenwerte werden nicht behauptet. Für die frühen Abschnitte bleiben die Monate die feinste unmittelbar genutzte Temperaturinformation. Für eine spätere numerische Integration dürfen die Intervallmittel stückweise konstant oder mit einem mittelwerterhaltenden Verfahren ausgewertet werden. Eine beliebige Verbindung der Mittelpunktwerte bewahrt die Monatsmittel nicht zwangsläufig.

11 Prüfung des Quellenwechsels

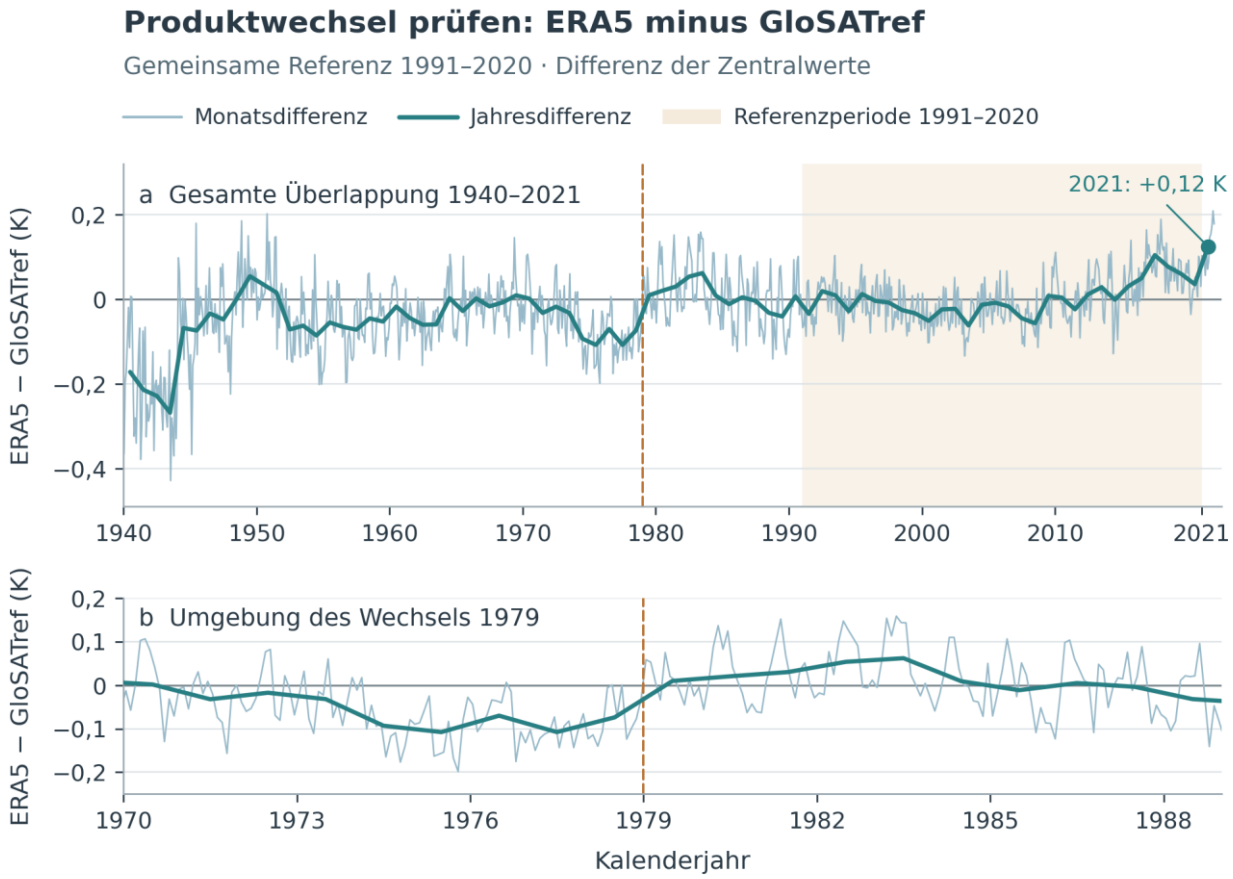

Abbildung 3. Differenzen zwischen ERA5 und GloSAT nach derselben monatlichen Normierung auf 1991–2020. Das Mittel innerhalb der Normperiode ist konstruktionsbedingt nahezu null. Die zeitliche Struktur außerhalb dieses Bereichs zeigt, weshalb die Reihen trotz eines gemeinsamen Nullpunkts nicht beliebig austauschbar sind. Eigene Auswertung [3, 9].

Prüfzeitraum	Monate	Mittlere Differenz	Monatliche RMSE
1970–1978	108	−0,059 K	0,088 K
1979–1988	120	+0,014 K	0,068 K
1991–2020	360	0,000 K	0,057 K
2021	12	+0,125 K	0,132 K

Differenz jeweils ERA5 minus GloSAT. RMSE bezeichnet die Wurzel des mittleren Quadrats der Produktdifferenzen. Sie ist ein Maß der Abweichung zwischen den Analysen und kein unabhängig geschätzter Messfehler.

Der zunächst erwogene Anschluss erst nach 2021 hätte gegenüber der durchgehenden ERA5-Reihe den Jahresanstieg 2021–2022 um rund 0,125 K vergrößert. Diese Differenz entsteht aus der Wahl der Quelle. Sie wird nicht als historische zusätzliche Erwärmung übernommen.

12 Aussagekraft der Naht und Sensitivität

Der Schnitt 1979 folgt der veränderten Beobachtungsgrundlage der Reanalyse. Er wurde nicht durch die Suche nach dem numerisch kleinsten Abstand sämtlicher möglicher Übergangsjahre bestimmt. Auch dieser Schnitt erzeugt keine vollständig homogene Messreihe. Die Gegenprüfung umfasst beide Seiten des Übergangs und zurückgehaltene Jahre außerhalb der Normperiode.

Verlauf 1978 zu 1979	Änderung	Messgröße	Verwendung
Durchgehend GloSAT	+0,074 K	Lufttemperatur	Quellenvergleich
Durchgehend ERA5	+0,157 K	Lufttemperatur	Quellenvergleich
Gewählter Arbeitspfad	+0,084 K	Zusammengesetzte Lufttemperatur	Hauptkurve

Die gewählte Naht unterscheidet sich in diesem Jahresvergleich nur um rund 0,010 K von GloSAT, jedoch um rund 0,074 K von der durchgehenden ERA5-Vorgeschichte. Das ist offenzulegen. Es erlaubt weder die Behauptung einer exakt nahtlosen Verbindung noch die Folgerung, eine der Quellen sei in sämtlichen Zeitabschnitten überlegen.

Drei feste Normperioden und drei feste Übergangsjahre wurden als strukturelle Sensitivität geprüft. Die beiden alternativen Übergänge 1940 und 2022 zeigen, was sich durch eine andere Priorisierung von Beobachtungsanalyse und Reanalyse verändert. Die Ausgangsnormierung des Jahres 1826 bleibt in jedem Fall 13,5 °C. Die Varianten werden nicht zu einer Wahrscheinlichkeitsverteilung umgedeutet.

Normperiode	T* im Jahr 2025	Integral bei Schnitt 1979	Bewertung
1961–1990	15,016 °C	57,19 K·a	Alternative
1981–2010	15,005 °C	56,67 K·a	Alternative
1991–2020	14,995 °C	56,21 K·a	Hauptwahl

Bei gleicher Normperiode ist der Endwert 2025 für die drei geprüften Schnittjahre identisch, weil am Ende immer dieselbe ERA5-Reihe verwendet wird. Die Vorgeschichte und ihr Integral ändern sich dennoch. Über alle neun Varianten liegt das Integral zwischen 53,95 und 57,19 K·a. Dieser begrenzte Methodentest ersetzt keine vollständige Unsicherheitsanalyse des frühen Temperaturniveaus.

Die beiden Hauptprodukte nutzen teilweise gemeinsame Beobachtungen. Ihre Differenzen sind als Konsistenz- und Strukturprüfung wertvoll, aber keine voneinander unabhängigen Fehlerziehungen. Die Bezeichnung „wahrscheinlichster Verlauf“ ist deshalb hier eine begründete Auswahl einer Arbeitskurve, kein berechnetes Maximum einer vollständigen posterioren Wahrscheinlichkeit.

13 Vergleich mit weiteren Temperaturprodukten

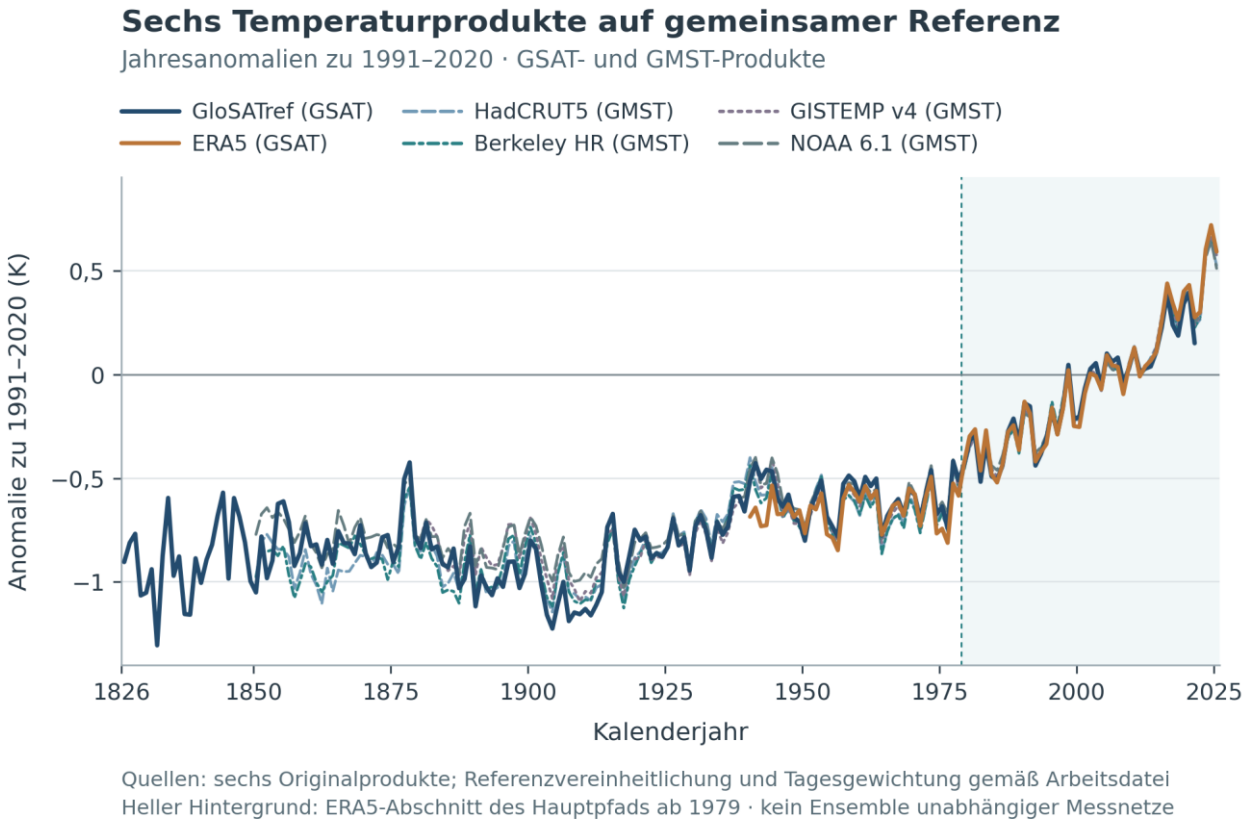

Abbildung 4. Jährliche Anomalien nach eigener kalender- und tagesgewichteter Umrechnung auf 1991–2020. GloSAT und ERA5 beschreiben Lufttemperatur, die übrigen Reihen überwiegend eine Landluft-SST-Mischgröße. Die Linien sind keine unabhängigen Wiederholungsmessungen. Eigene Aufbereitung der Originalreihen [3, 5, 9, 12–14].

Produkt im Jahr 2025	Gegenüber 1991–2020	Eigene Basis 1850–1900	Typ
ERA5	0,591 K	–	GSAT
HadCRUT5	0,525 K	1,43 K	GMST
NASA GISTEMP	0,574 K	–	GMST
NOAA GlobalTemp	0,511 K	1,29 K	GMST
Berkeley BEST-HR	0,560 K	1,46 K	GMST

Eine fehlende eigene frühe Referenz wird nicht ergänzt. NASA beginnt erst 1880, ERA5 erst 1940. Der von C3S veröffentlichte ERA5-Wert +1,47 K gegenüber 1850–1900 verwendet zusätzliche historische Evidenz und ist deshalb eine gesonderte Umrechnung. [17]

14 Historische Abschnitte der zentralen Reihe

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die ausgewertete Hauptkurve. Jahreszahlen kennzeichnen Kalenderjahresmittel. T* ist die auf das Jahresniveau 1826 normierte saisonbereinigte Temperatur; die Tabelle ist keine Liste absolut gemessener historischer Jahresmittel.

Zeitraum	Mittleres T*	Abweichung von 1826	Einordnung
1826–1849	13,51 °C	+0,01 K	Frühe große Unsicherheit
1850–1900	13,55 °C	+0,05 K	Historische Bezugsperiode
1881–1910	13,42 °C	−0,08 K	Kühlerer Abschnitt
1911–1940	13,60 °C	+0,10 K	Frühe Erwärmung
1941–1970	13,80 °C	+0,30 K	Schwächere Nettoänderung
1971–2000	14,03 °C	+0,53 K	Zunehmende Erwärmung
1991–2020	14,40 °C	+0,90 K	Gemeinsame Normperiode
2016–2025	14,84 °C	+1,34 K	Jüngstes volles Jahrzehnt

Die Perioden überlappen teilweise und erfüllen unterschiedliche Vergleichszwecke. Ihre Mittel werden aus den tagesgewichteten Jahreswerten mit gleichem Gewicht je vollständigem Kalenderjahr gebildet. Der jüngste Zehnjahreswert ist weniger von einzelnen Wetterjahren geprägt als der Endwert 2025.

Im frühen Teil erreicht der zentrale Jahresindex 1832 ungefähr 13,10 °C. Einzelne frühe Rangplätze sind wegen der Unsicherheit nicht präzise gesichert. Um 1910 liegt der Index bei 13,27 °C, bis 1940 steigt er auf 13,89 °C. Die anschließenden Jahrzehnte zeigen Schwankungen und vorübergehende Rückgänge; 1976 liegt der Index bei 13,66 °C.

Im neueren Teil ergeben sich 14,11 °C für 1980, 14,27 °C für 1990, 14,15 °C für 2000 und 14,53 °C für 2010. Diese einzelnen Jahreswerte zeigen, dass ein langfristiger Anstieg keine Monotonie jedes Kalenderjahres verlangt. 2024 erreicht der Index 15,12 °C; 2025 liegt mit 15,00 °C darunter und weiterhin etwa 1,50 K über dem Jahresniveau von 1826.

Diese zeitliche Beschreibung enthält keine neue Ursachenzerlegung. Die Kurven allein trennen Sonnenwirkung, Vulkanismus, interne Schwankungen, Aerosole und Treibhausgase nicht eindeutig. Die empirische historische Erde umfasst alle tatsächlich wirksamen Einflüsse. Ein späterer Antrieb der CO_2-Modelle mit diesem Verlauf wäre deshalb eine historische Temperaturvorgabe und nicht länger das ursprünglich isolierte solare Erwärmungsexperiment.

15 Vergleich mit dem bisherigen linearen Modell

Der bisherige Temperaturpfad begann bei 13,5 °C und stieg über 200 Jahre linear um 2 K. Am Ende des Jahres 2025 erreichte er 15,5 °C; sein Jahresmittel 2025 beträgt 15,495 °C. Für einen korrekten Vergleich wird ein Jahresmittel mit einem Jahresmittel verglichen, nicht mit dem Endpunkt der Modellfunktion. [1]

$$T_{\mathrm{linear}}(t) = 13{,}5\,^{\circ}\mathrm{C} + 0{,}01\,\mathrm{K/a} \cdot t$$

Jahr	Rekonstruierter Index T*	Bisheriges Jahresmittel	Differenz
1826	13,50 °C	13,51 °C	-0,01 K
1850	13,35 °C	13,75 °C	-0,39 K
1910	13,27 °C	14,35 °C	-1,07 K
1940	13,89 °C	14,65 °C	-0,75 K
1976	13,66 °C	15,01 °C	-1,34 K
2000	14,15 °C	15,25 °C	-1,09 K
2025	15,00 °C	15,50 °C	-0,50 K

Der kleine Unterschied im ersten Kalenderjahr entsteht durch die unterschiedliche Zeitdefinition: Der historische Index wird auf das Jahresmittel 1826 normiert, die alte Gerade beginnt am Jahresanfang bei 13,5 °C und steigt bereits während dieses Jahres an. Diese Differenz von 0,005 K wird nicht wegkalibriert.

Die größte Abweichung der Jahresmittel tritt 1976 auf: Die alte Gerade liegt rund 1,34 K über der zentralen historischen Rekonstruktion. Im Endjahr 2025 beträgt die Differenz noch rund 0,50 K. Für temperaturabhängige Speicherreaktionen kann diese stark unterschiedliche Vorgeschichte wichtiger sein als eine alleinige Betrachtung des Endwerts.

$$I = \sum_{y=1826}^{2025} (\overline{T}_y^{*} - 13{,}5\,^{\circ}\mathrm{C}) \cdot 1\,\mathrm{a}$$

Als einfache Kenngröße ergibt das vorzeichenbehaftete Temperaturintegral 56,21 K·Kalenderjahre für die Hauptkurve gegenüber 200 K·Jahren für die lineare Vorgabe. Die historische Kennzahl ist damit rund 72 % kleiner. Sie beschreibt die zeitlich aufsummierte Temperaturanomalie, weder Energie noch Kohlenstoffmenge. Nichtlineare Reaktionen, Verzögerungen und Speicherzustände verhindern eine direkte proportionale Übertragung auf die CO_2-Ergebnisse.

Die Temperaturdaten rechtfertigen deshalb eine erneute Rechnung der Kohlenstoffmodelle mit einem veränderten Temperaturantrieb. Sie liefern noch kein neues CO_2-Ergebnis. In dieser Untersuchung wurden Emissionsfunktionen, Senkenparameter und Kohlenstoffbilanzen nicht neu angepasst oder berechnet.

16 Absolute Tageswerte und der globale Jahresgang

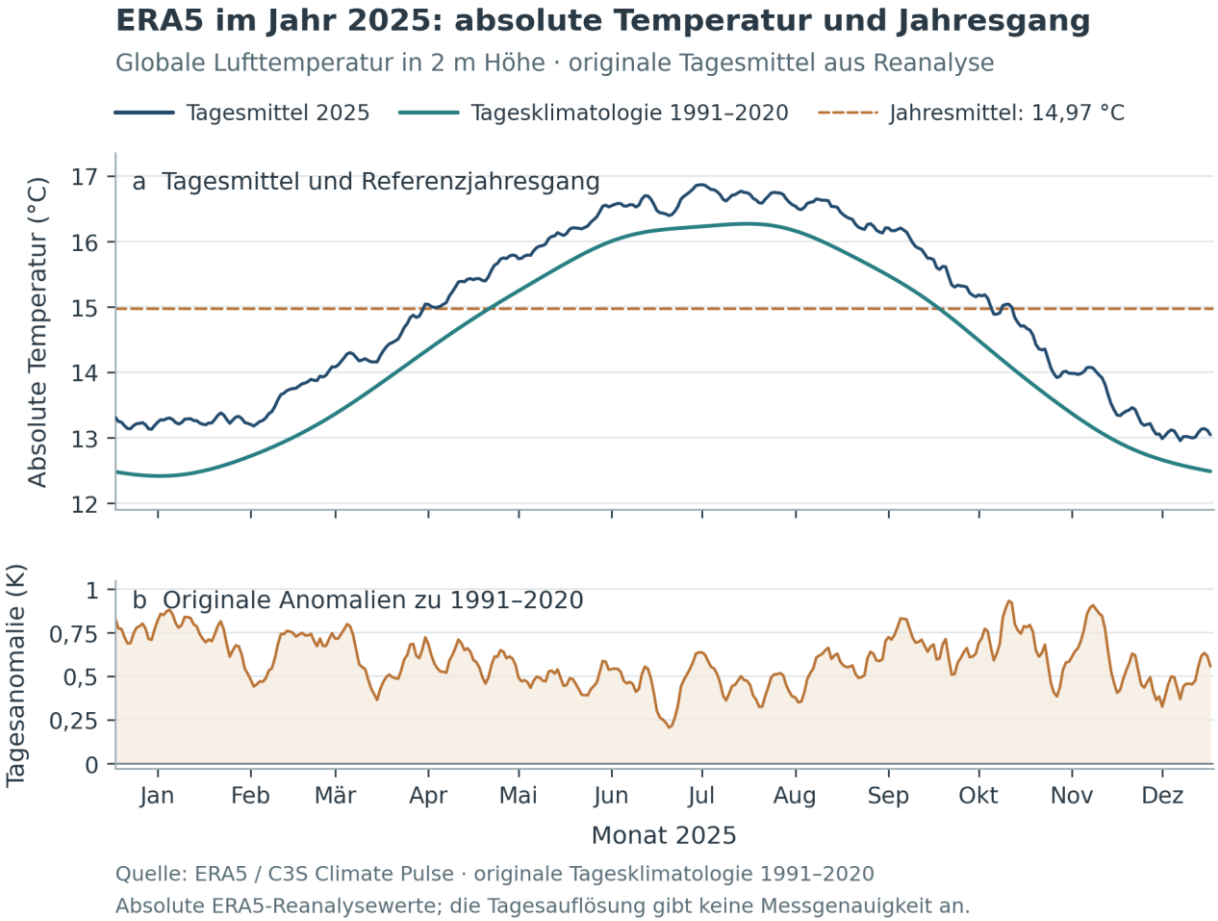

Abbildung 5. Originale ERA5-Tagesmittel und Tagesanomalien des vollständigen Jahres 2025. Das obere Diagramm zeigt echte absolute Werte der Reanalyse einschließlich Jahresgang; das untere die Abweichungen von der täglichen Klimatologie. Diese Größen sind vom normierten saisonbereinigten T*-Index zu unterscheiden. Eigene Darstellung des Originaldownloads [9].

Die aus den Tageswerten berechnete absolute globale Jahresmitteltemperatur 2025 beträgt 14,97164 °C und wird sachgerecht als 14,97 °C angegeben. Sie stimmt gerundet mit der C3S-Veröffentlichung überein. Der Unterschied zum normierten Index 15,00 °C entsteht aus der gewählten Anbindung an das Jahresniveau 1826 und der Monatsnormalisierung. Er ist keine zusätzliche physikalische Erwärmung. [17]

Im Originaldownload reicht die globale Tagesmitteltemperatur 2025 von 12,955 °C am 21. Dezember bis 16,865 °C am 15. Juli. Diese große saisonale Spanne bedeutet keine entsprechende Änderung des langfristigen Klimaniveaus. Die Jahreszeiten heben sich im Globalmittel nicht vollständig auf, weil Land und Meer zwischen den Hemisphären ungleich verteilt sind und unterschiedlich auf den jahreszeitlichen Strahlungswechsel reagieren.

Für temperaturabhängige nichtlineare Prozesse ist die Trennung wesentlich. Eine Modellgleichung, die für saisonfreie Jahresniveaus parametrisiert wurde, darf nicht allein wegen feinerer Zeitauflösung mit absoluten Tageswerten samt Jahresgang betrieben werden, ohne ihre regionale und saisonale Bedeutung zu prüfen.

17 Tagesauflösung und der Zwischenstand 2026

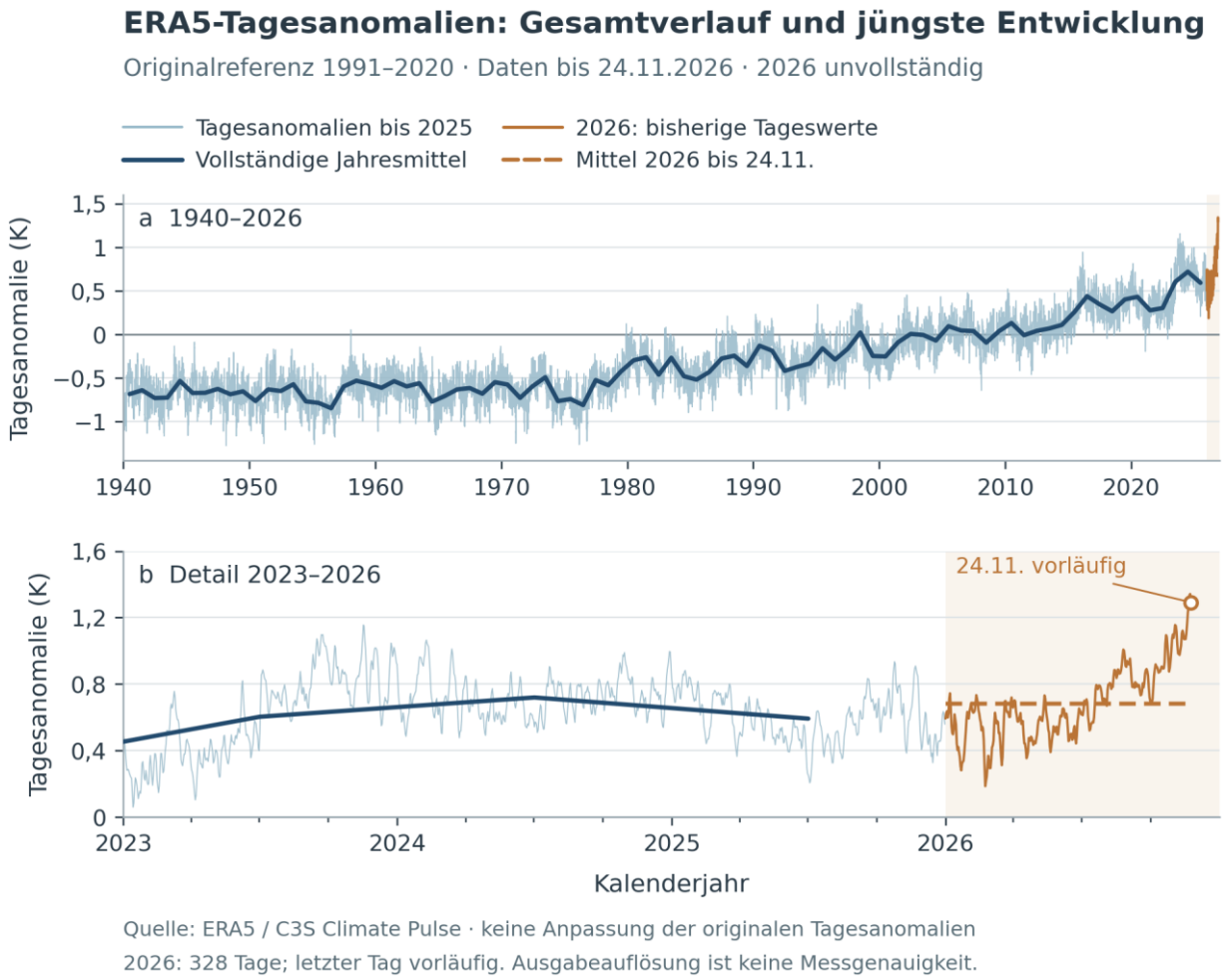

Abbildung 6. ERA5-Tagesanomalien und ihr längerfristiger Verlauf. Das unvollständige Jahr 2026 ist kenntlich gemacht. Der Originaldownload endet am 24. November 2026. Jüngste vorläufige Daten bleiben von vollständigen Kalenderjahren unterschieden. [7–9]

Die laufende Aktualisierung erweitert die Datenverfügbarkeit, verändert aber nicht den Abschlusszeitpunkt der 200-jährigen Untersuchung. Für ERA5 liegen die Monate Januar bis Oktober 2026 vollständig vor. November umfasst im gesicherten Download erst 24 Tage. HadCRUT endet im September, NASA, NOAA und Berkeley jeweils im Oktober. Diese unterschiedlichen Zeitfenster werden nicht als vergleichbare Jahresmittel bezeichnet.

Ein Mittel von Januar bis November ist außerdem bei absoluten Temperaturen durch den noch fehlenden Jahreszeitenteil beeinflusst. Für einen Zwischenvergleich müssen dieselben Kalendertage beziehungsweise dieselben Monate eines Referenzjahrs verwendet werden. Der Datenexport führt deshalb verfügbare und erwartete Tage, Vollständigkeit und vorläufige Werte ausdrücklich mit.

Die hohe Auflösung ist für kurzfristige Schwankungen nützlich. Sie ersetzt weder räumlich unabhängige Beobachtungen noch eine Unsicherheitsanalyse. Ein glatterer oder dichter gezeichneter Verlauf ist kein Beweis größerer historischer Genauigkeit.

18 Wie die Unsicherheit zu beurteilen ist

Drei Unsicherheitsarten sind getrennt zu beurteilen. Erstens enthalten die Quellen Unsicherheit von Messungen, Korrekturen und räumlicher Übertragung. Zweitens entstehen Unterschiede zwischen Datenprodukten durch Messgröße und Rekonstruktionsverfahren. Drittens besitzt die Übersetzung von Anomalien in ein absolutes Temperaturniveau eine gemeinsame Bezugsunsicherheit. Diese Anteile sind weder gleichartig noch durch mehr Zeitstempel beliebig verkleinerbar.

Die originale GloSAT-Jahresanomalie für 1826 hat eine veröffentlichte 95-%-Halbbreite von etwa 0,265 K. Für die frühen Monatswerte sind die Halbbreiten im Mittel deutlich größer. Diese Grenzen gelten in der ursprünglichen Referenz und unter den Annahmen des Datenanbieters. Sie sind keine absoluten mathematischen Schranken, innerhalb deren jeder mögliche reale Verlauf liegen müsste. [3]

Bei einer Normierung auf 1826 werden Fehler dieses Bezugsjahres gemeinsam in alle späteren Differenzen übertragen. Fehler im Beobachtungszeitpunkt und im Referenzwert sind teilweise korreliert. Eine korrekte Unsicherheit der Differenz benötigt diese Kovarianzen. Ebenso sind zwölf monatliche Fehler keine unabhängigen Wiederholungen. Das Datenpaket bewahrt daher die Originalgrenzen und die Ensembleinformationen, ohne ein ungesichert enges gemeinsames 95-%-Band der Hybridkurve auszugeben.

Die 200 GloSAT-Realisierungen allein reichen für ein vollständiges globales Band nicht aus, weil die zusätzliche Abdeckungsunsicherheit gesondert vorliegt. Bei einer späteren Ensemblefortpflanzung muss außerdem jedes Mitglied mit seinem eigenen Referenzwert normalisiert werden. Ein gemeinsamer zufälliger absoluter Anker darf nicht bei jedem Monat als neuer unabhängiger Fehler gezogen werden.

Für die jüngeren Produkte ist der gemeinsame Referenzvergleich aussagekräftiger als ein Vergleich ihrer unveränderten Originalzahlen. 2025 reichen die hier auf 1991–2020 bezogenen Anomalien der fünf bis dahin verfügbaren Produkte von rund +0,511 bis +0,591 K. Diese Spanne von etwa 0,080 K ist eine beobachtete Produktstreuung. Sie ist weder ein 95-%-Intervall noch eine vollständige Fehlergrenze der tatsächlichen Temperatur.

Bei der weiter zurückliegenden Referenz 1850–1900 wird die Spanne größer: Die dafür aus eigener Datenbasis auswertbaren Reihen HadCRUT, NOAA und Berkeley ergeben hier etwa +1,29 bis +1,46 K für 2025. Das zeigt den Einfluss der historischen Bezugsschätzung. Die niedriger ausfallende aktuelle NOAA-Schätzung wird nicht entfernt oder auf die anderen Reihen gezwungen.

Die belastbare numerische Aussage lautet daher: Der gewählte zentrale Pfad ergibt ungefähr +1,50 K von 1826 bis 2025. Seine frühen Einzelwerte tragen Unsicherheiten von mehreren Zehntelkelvin. Die ausgewiesenen strukturellen Varianten begrenzen nur die geprüften Verfahrensentscheidungen. Eine enge Gesamtunsicherheit für den gesamten Verlauf wäre aus den hier verfügbaren Angaben nicht seriös ableitbar.

19 Folgerungen für die weitere Modellarbeit

Die neue Temperaturgrundlage ersetzt die idealisierte gleichmäßige Erwärmung durch eine dokumentierte historische Zeitreihe. Der wesentliche Gewinn liegt in der zeitlichen Struktur: Abkühlungsphasen, mehrjährige Schwankungen und die jüngere Beschleunigung bleiben erhalten. Für die Jahre ab 1940 kann zusätzlich die reanalysierte tägliche Struktur geprüft werden, ohne historische Monatsschwankungen künstlich zu vervielfachen.

Für die nächste Untersuchung empfiehlt sich zunächst die monatliche Hauptreihe als einheitlicher Antrieb. Sie bewahrt die durchgehende Datengrundlage und ist für einen Vergleich mit den bisherigen saisonfrei formulierten Modellen übersichtlich. Die adaptive Tagesfassung dient einer gesonderten Sensitivitätsprüfung. Unterschiede zwischen Monats- und Tagesantrieb können bei nichtlinearen Prozessen reale Recheneffekte erzeugen; sie sind dann zu erklären und nicht als bloßer numerischer Fortschritt zu behandeln.

Der Anfangszustand benötigt dabei eine bewusste Zuordnung. Der neue 13,5-°C-Bezug bezeichnet das Jahresniveau 1826. Der Januarindex der Hauptreihe beträgt rund 13,03 °C und ist selbst eine saisonbereinigte Größe. Soll ein dynamisches Modell weiterhin am 1. Januar in einem Gleichgewicht bei exakt 13,5 °C starten, ist diese Initialisierung eine zusätzliche Modellannahme. Sie darf nicht als Bestandteil der beobachtungsbasierten Rekonstruktion dargestellt werden.

Für die räumlich gegliederten Modelle III und VI genügt das globale Mittel allein nicht. Ein und derselbe globale Verlauf kann verschiedene Entwicklungen in Tropen, hohen Breiten, Land und Ozean besitzen. Regionale Temperaturpfade und die Meeresoberflächentemperatur müssen für eine weitergehende Verbesserung eigenständig aus passenden Feldern abgeleitet werden. Die hier erfolgte globale Rekonstruktion legt diese regionalen Prozesse noch nicht fest.

Die Sonnenstrahlung bleibt in dieser Untersuchung keine alleinige Ursache des Temperaturpfads. Die dargestellte Reihe beschreibt die reale historische Erde einschließlich aller Einflüsse. Eine Ursachenattribution verlangt eine eigene Untersuchung. Ebenso ist die Frage, welche CO_2-Konzentration die bisherigen Modelle unter diesem realistischeren Temperaturverlauf ergeben, durch eine erneute Integration zu beantworten.

Reproduzierbarkeit

Der Bericht wird durch Originaldownloads, Herkunfts- und Versionsangaben, Prüfsummen, vollständige Monats- und Tagesdateien sowie die Auswerteskripte ergänzt. Ein unabhängiger Rechenaudit hat die Hauptwerte aus den Originalquellen erneut gebildet. Monats- und Jahreswerte, Zeitgrenzen, Mittelwerterhaltung der Tageszerlegung und die Kennzeichnung unvollständiger Perioden wurden geprüft. Die numerische Übereinstimmung betrifft die korrekte Verarbeitung, nicht die physikalische Wahrheit der Eingangsanalysen.

Die Daten und die Abbildungen können für alternative Quellenwahlen erneut ausgewertet werden. Ältere veröffentlichte Modellberichte werden durch diese Datenstudie nicht rückwirkend verändert.

Anhang A Jahreswerte der normierten Hauptreihe

Vollständige tagesgewichtete Jahresmittel. T* in °C ist der saisonbereinigte Index mit dem Jahresniveau 1826 = 13,5 °C. Die linke Hälfte umfasst 1826–1925, die rechte 1926–2025. Alle Monatswerte und die adaptiven Intervalle stehen vollständig im Datenpaket. Die Rundung auf 0,01 °C dient der Lesbarkeit und ist keine entsprechende Genauigkeitsbehauptung.

Jahr	T* in °C	Jahr	T* in °C
1826	13,50	1926	13,71
1827	13,59	1927	13,58
1828	13,64	1928	13,62
1829	13,34	1929	13,46
1830	13,35	1930	13,67
1831	13,47	1931	13,73
1832	13,10	1932	13,65
1833	13,53	1933	13,52
1834	13,81	1934	13,69
1835	13,43	1935	13,63
1836	13,53	1936	13,67
1837	13,25	1937	13,81
1838	13,25	1938	13,82
1839	13,52	1939	13,74
1840	13,40	1940	13,89
1841	13,51	1941	13,98
1842	13,58	1942	13,90
1843	13,72	1943	13,94
1844	13,83	1944	13,94
1845	13,42	1945	13,80
1846	13,81	1946	13,77
1847	13,72	1947	13,82
1848	13,59	1948	13,72
1849	13,41	1949	13,69
1850	13,35	1950	13,60
1851	13,62	1951	13,76
1852	13,42	1952	13,82
1853	13,51	1953	13,89
1854	13,78	1954	13,72
1855	13,79	1955	13,67
1856	13,69	1956	13,62
1857	13,48	1957	13,88

Jahr	T* in °C	Jahr	T* in °C
1858	13,54	1958	13,92
1859	13,69	1959	13,89
1860	13,58	1960	13,81
1861	13,58	1961	13,91
1862	13,49	1962	13,87
1863	13,61	1963	13,90
1864	13,49	1964	13,63
1865	13,65	1965	13,72
1866	13,59	1966	13,77
1867	13,59	1967	13,80
1868	13,54	1968	13,73
1869	13,68	1969	13,85
1870	13,54	1970	13,83
1871	13,48	1971	13,71
1872	13,50	1972	13,83
1873	13,62	1973	13,94
1874	13,63	1974	13,73
1875	13,50	1975	13,77
1876	13,57	1976	13,66
1877	13,90	1977	13,99
1878	13,98	1978	13,89
1879	13,63	1979	13,98
1880	13,57	1980	14,11
1881	13,69	1981	14,14
1882	13,56	1982	13,94
1883	13,58	1983	14,13
1884	13,49	1984	13,92
1885	13,47	1985	13,88
1886	13,56	1986	13,97
1887	13,37	1987	14,13
1888	13,42	1988	14,16
1889	13,58	1989	14,04
1890	13,29	1990	14,27
1891	13,44	1991	14,22
1892	13,38	1992	13,98
1893	13,34	1993	14,03

Jahr	T* in °C	Jahr	T* in °C
1894	13,42	1994	14,07
1895	13,38	1995	14,24
1896	13,50	1996	14,11
1897	13,50	1997	14,24
1898	13,37	1998	14,42
1899	13,44	1999	14,15
1900	13,60	2000	14,15
1901	13,56	2001	14,31
1902	13,39	2002	14,41
1903	13,25	2003	14,40
1904	13,18	2004	14,33
1905	13,30	2005	14,50
1906	13,40	2006	14,45
1907	13,22	2007	14,44
1908	13,26	2008	14,31
1909	13,25	2009	14,44
1910	13,27	2010	14,53
1911	13,24	2011	14,39
1912	13,29	2012	14,44
1913	13,36	2013	14,47
1914	13,67	2014	14,51
1915	13,73	2015	14,66
1916	13,45	2016	14,84
1917	13,40	2017	14,75
1918	13,53	2018	14,67
1919	13,66	2019	14,80
1920	13,60	2020	14,83
1921	13,62	2021	14,68
1922	13,52	2022	14,71
1923	13,54	2023	15,01
1924	13,52	2024	15,12
1925	13,57	2025	15,00

Quelle der Hauptkurve: GloSATref bis einschließlich 1978, ERA5 ab 1979. Alle Berechnungsschritte und Originalreihen sind in den begleitenden Daten erhalten.

Anhang B Literatur und Datennachweise

Alle Onlinequellen und Datensätze wurden am 26. November 2026 geprüft. Numerische Ergebnisse, die aus den heruntergeladenen Dateien abgeleitet wurden, sind eigene Auswertungen. Die Datensätze bleiben Arbeiten der jeweils genannten Herausgeber; ihre unterschiedlichen Messgrößen und Versionen sind Teil der Zitierung.

[1] Retzlaff, K. und Proto (2026). CO_2 Modellvergleich mit historisch korrigierten Anfangswerten. Version 2.0, 26. November 2026. Vorgängerstudie mit den Modellen I bis VI.

Originalquelle

[2] Morice, C. P. et al. (2025). An observational record of global gridded near-surface air temperature change over land and ocean from 1781. Earth System Science Data 17, 7079–7100. DOI 10.5194/essd-17-7079-2025.

Originalquelle

[3] Morice, C. P. et al. (2025). GloSATref.1.0.0.0. NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis. DOI 10.5285/a2519624a593402a83246bd359d098be. Originale globale Monats- und Jahresdateien einschließlich Ensemble- und Abdeckungsunsicherheit; tatsächlich vorhandener Endmonat Dezember 2021.

Originalquelle

[4] Morice, C. P. et al. (2021). An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 data set. Journal of Geophysical Research Atmospheres 126, e2019JD032361. DOI 10.1029/2019JD032361.

Originalquelle

[5] Met Office (2026). HadCRUT5 Analysis 5.2.0.0. Download- und Versionsdokumentation; globale summary-, ensemble- und component-series, monatlich und jährlich. Veröffentlichung der Fassung am 18. September 2026; Zeitreihe im Download bis September 2026.

Originalquelle

[6] Hersbach, H. et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 146, 1999–2049. DOI 10.1002/qj.3803.

Originalquelle

[7] Soci, C. et al. (2024). The ERA5 global reanalysis from 1940 to 2022. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 150, 4014–4048. DOI 10.1002/qj.4803.

Originalquelle

[8] Copernicus Climate Change Service und ECMWF. Climate Pulse Frequently Asked Questions. Definition der 2-m-Lufttemperatur, Tagesmittel, Klimatologie, vorläufigen Daten und Datenausgabe.

Originalquelle

[9] ECMWF und Copernicus Climate Change Service (2026). ERA5 daily global surface air temperature series. Original-CSV mit date, 2t, clim_91-20, ano_91-20 und status; 1940-01-01 bis 2026-11-24. SHA-256 f69355e2c65d5356f003eaaacab631ec7494f10badcb50d2535fdb668bc705be.

Originalquelle

[10] NASA GISS (2022, laufend bereitgestellt). The Elusive Absolute Surface Air Temperature. Methodische Erläuterung zur Unterscheidung absoluter Temperaturen und Anomalien.

Originalquelle

[11] Copernicus Climate Change Service. Climate Indicators About the Data. Vergleich globaler Temperaturprodukte, Bezug auf 1991–2020 und Grenzen früher Reanalysen.

Originalquelle

[12] Huang, B., Yin, X., Menne, M. und Vose, R. NOAA Global Surface Temperature Dataset, Version 6.1.0. NOAA NCEI, DOI 10.25921/vvaa-wq11. Ausgabe der globalen Monats- und Jahresdateien 202610. Methodik: Yin et al. (2024), DOI 10.1175/BAMS-D-24-0012.1.

Originalquelle

[13] GISTEMP Team (2026). GISS Surface Temperature Analysis, Version 4. NASA GISS. Dazu Lenssen, N. et al. (2024), A GISTEMPv4 observational uncertainty ensemble, Journal of Geophysical Research Atmospheres 129, e2023JD040179, DOI 10.1029/2023JD040179.

Originalquelle

[14] Berkeley Earth (2026). BEST-HR globale Monats- und Jahresreihe, Version 2, weiterhin als Beta/Experimental gekennzeichnet. Rohde, R., Calvert, C. und Hausfather, Z. (2026), aktuelles Methodenmanuskript im Begutachtungsverfahren, DOI 10.5194/essd-2026-412.

Originalquelle

[15] NOAA Physical Sciences Laboratory. Twentieth Century Reanalysis Project, Version 3. Dreistündliche Reanalyse, Standardzeitraum 1836–2015 und experimentelle Erweiterung 1806–1835; Assimilation von Oberflächendruck.

Originalquelle

[16] PAGES 2k Consortium (2019). Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. Nature Geoscience 12, 643–649, DOI 10.1038/s41561-019-0400-0. NOAA/WDS-Archiv Studie 26872, ergänzende historische Vergleichsdaten.

Originalquelle

[17] Copernicus Climate Change Service (2026). Global Climate Highlights 2025 und zugehörige Methoden. Globales absolutes ERA5-Jahresmittel 2025 rund 14,97 °C; veröffentlichte Umrechnung gegenüber 1850–1900 rund +1,47 K.

Originalquelle · Zugehörige Methoden

[18] ECMWF und Copernicus Climate Change Service. ERA5 hourly time-series data on single levels from 1940 to present. Produktnachweis stündlicher Ausgangsdaten; keine Behauptung einer in dieser Studie ausgewerteten globalen Stundenreihe.

Originalquelle

[19] Copernicus Climate Change Service (2024). What is the degree of uncertainty of C3S daily global temperature data. Erläuterung von Ensemble- und Produktunterschieden anhand der Tagesrekorde im Juli 2024.

Originalquelle

Datennachweise und sämtliche direkten Downloadadressen sind zusätzlich in den maschinenlesbaren Manifesten des Datenpakets dokumentiert. Die dortigen Originaldateien und bereinigten Tabellen bleiben getrennt von den abgeleiteten Haupt- und Sensitivitätsreihen.