CO_2-Modelle I bis VI mit historischem Temperaturverlauf

Neuberechnung für 1826–2025 bei unveränderten Anfangsbeständen, Prozessparametern und anthropogener Emissionsfunktion

Dr. Klaus Retzlaff und Proto

Eine wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI

Version 1.0 · 26. November 2026 · Datenstand und Abruf: 26. November 2026

Ergebnis

Die in der unmittelbar vorhergehenden Studie rekonstruierte globale Temperaturentwicklung wurde in alle sechs Kohlenstoffmodelle eingesetzt. Berechnet wurden die drei unveränderten Parameterfälle schwach, mittel und stark, jeweils mit und ohne die gemeinsame anthropogene Quelle: insgesamt 18 Hauptläufe über 200 vollständige Kalenderjahre. Die früher unterstellte lineare Erwärmung um 2 K wurde vollständig durch den historischen Antrieb ersetzt. [1, 2]

Der neue Temperaturpfad vermindert die berechnete CO_2-Anreicherung erheblich. In den mittleren Fällen IV–VI sinkt das Jahresmittel 2025 gegenüber der vorherigen Rechnung um rund 19–21 ppm. Dennoch liegen alle neun Läufe mit anthropogener Quelle über dem globalen NOAA-Jahresmittel von 425,63 ppm. Die kleinste Abweichung liefert Modell VI im schwachen Fall: 445,51 ppm, somit +19,88 ppm. [3; eigene Rechnung]

Mittlerer Fall	Vorher [ppm]	Historisch [ppm]	Abstand NOAA [ppm]
IV	511,45	490,17	64,54
V	505,86	486,55	60,92
VI	505,24	486,29	60,66

Die schwachen Modelle V und VI bilden den Anstieg von 1979 bis 2025 wesentlich besser ab als ihr absolutes Niveau: Die modellierte Zunahme beträgt 87,50 beziehungsweise 87,17 ppm, beobachtet werden 88,78 ppm. Gleichzeitig bleibt ein mittlerer positiver Niveaufehler von rund 21 ppm. Der realistischere Temperaturantrieb verbessert die Rechnung, bestätigt aber noch keine ausreichende absolute Vorhersagegüte.

Die Läufe I–III sind hier bedingte Vergleichsrechnungen mit ausgeschalteter direkter anthropogener Quelle unter derselben historischen Temperatur. Sie stellen keine rekonstruierte Erde ohne Menschheit dar. Eine zusätzliche Strahlungsrückkopplung wird nicht auf den bereits vorgegebenen Temperaturverlauf aufgeschlagen.

1 Auftrag, Bezugsstudien und Versuchsfrage

Ausgangspunkt ist die zuletzt abgeschlossene Untersuchung der Modelle I–VI mit korrigiertem gemeinsamen Startwert von 282,7 ppm CO_2. Auf diese Untersuchung bezieht sich im vorliegenden Bericht das Wort „vorher“. Die noch früheren Rechnungen mit 300 ppm sind keine Vergleichsbasis dieser Neuberechnung. Die gemeinsame Temperaturreferenz von 13,5 °C bleibt bestehen. [1]

Neu hinzugekommen ist die globale Temperaturrekonstruktion für 1826–2025. Diese liefert eine begründete zentrale Arbeitskurve aus Beobachtungsanalyse und Reanalyse; sie wird unverändert übernommen. Eine statistisch eindeutig wahrscheinlichste Realisierung ist ohne gemeinsames Wahrscheinlichkeitsmodell und vollständige Fehlerkovarianzen nicht bestimmt. Die Bezeichnung „historischer Temperaturpfad“ meint im Folgenden diese konkrete Rekonstruktion. [2]

Die isolierte Änderung

Geändert wird der zeitliche Temperaturantrieb. Unverändert bleiben Anfangsbestände, Umrechnung zwischen ppm und Kohlenstoffmasse, Ozeanparameter, Land- und Bodenparameter, drei Parameterfälle, geografische Gewichte sowie die anthropogene Emissionsfunktion. Kein Parameter wird an die neue Temperaturreihe oder an das CO_2-Niveau von 2025 angepasst. In den Modellen II/V und III/VI werden auch die zuvor aus dem alten Referenzversuch bestimmten Kalibrierkoeffizienten beibehalten.

Ein technischer Punkt erfordert eine ausdrückliche Modellannahme: Einige frühere Prozessgleichungen waren analytische Antworten auf eine lineare Temperaturrampe. Sie lassen sich nicht dadurch aktualisieren, dass nur eine einzelne Temperaturvariable überschrieben wird. Diese Terme werden als kausale Temperaturantworten mit denselben Verzögerungszeiten formuliert. Die neue Form reproduziert den alten linearen Versuch numerisch. Ihre Fortsetzung auf Abkühlungsphasen ist jedoch eine zusätzliche, transparent zu prüfende Strukturannahme; Abschnitt 6 erläutert sie.

Welche Wirkung untersucht wird

Jedes Paar I/IV, II/V und III/VI erhält denselben Temperaturpfad und dieselben Prozessparameter. Im ersten Mitglied ist die zusätzliche Quelle null, im zweiten gilt die bereits festgelegte Funktion E(t). Die Differenz quantifiziert somit die Wirkung dieses direkten Kohlenstoffzuflusses bei festgehaltener Temperatur. Sie ist weder eine vollständige Attribution der realen Erwärmung noch eine Aufteilung aller historischen CO_2-Moleküle nach Herkunft.

Die reale Temperaturentwicklung enthält bereits natürliche und anthropogene Einflüsse. Für eine physikalische Erde ohne menschlichen Einfluss müsste auch ein entsprechender Temperaturpfad berechnet werden. Dies wäre ein anderes Experiment. Der hier verlangte kontrollierte Austausch einer Eingangsreihe bleibt davon getrennt.

2 Übernommener historischer Temperaturantrieb

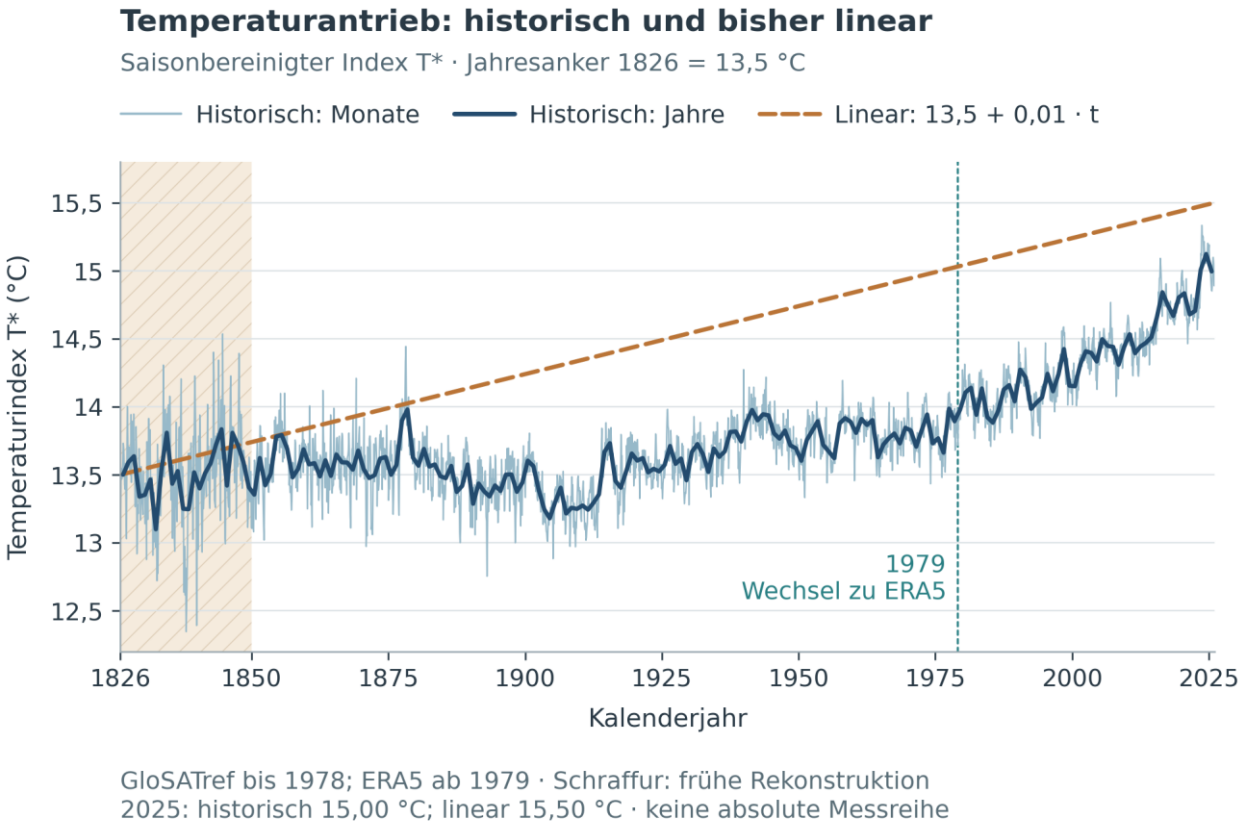

Abbildung 1. Saisonbereinigter Arbeitsindex T*: Monatswerte dünn, Jahresmittel kräftig. Das Jahresmittel 1826 ist auf 13,5 °C verankert. Die gestrichelte Linie zeigt den alten linearen Pfad. Die frühe Phase 1826–1849 ist schraffiert, der Quellenwechsel zu ERA5 ab 1979 markiert. T* ist keine absolute globale Temperaturmessreihe. Quelle: unveränderte Rekonstruktion [2].

Die Hauptreihe kombiniert GloSATref.1.0.0.0 bis 1978 mit ERA5 ab 1979. Beide werden auf die Referenzperiode 1991–2020 bezogen; der Jahreswert 1826 legt danach den Modellnullpunkt fest. GloSAT verwendet Lufttemperatur über Land und Meer und passt damit zur gewählten globalen Lufttemperaturgröße. ERA5 liefert in der jüngeren, beobachtungsreicheren Zeit eine räumlich vollständige Reanalyse. [2, 5–8]

$$T^*(t) = 13.5\,^{\circ}\mathrm{C} + a(t) - \overline{a}_{1826}, \qquad \theta(t) = T^*(t) - 13.5\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Das Jahresmittel 2025 beträgt T* = 14,99502 °C, entsprechend +1,49502 K gegenüber 1826. Beim alten linearen Pfad beträgt das Jahresmittel 2025 dagegen 15,495 °C; 15,5 °C wird erst am Ende des Jahres erreicht. Besonders wichtig ist der über lange Zeit kühlere historische Verlauf, nicht allein die Differenz am Endpunkt.

3 Zeitauflösung, Kalender und Datenqualität

Die Hauptrechnung verwendet alle 2.400 monatlichen Werte von Januar 1826 bis Dezember 2025. Innerhalb jedes Kalenderintervalls wird dessen mittlere Temperaturanomalie konstant gehalten. Eine künstliche tägliche oder stündliche Detailstruktur wird für die frühe Zeit nicht ergänzt. Monatsgrenzen werden als Integrationsgrenzen behandelt; ein numerischer Schritt überquert keinen Sprung des Antriebs.

$$t = (y - 1826) + d/D_y, \qquad \Delta t_m = n_m/D_y$$

Dabei sind y das Kalenderjahr, d die seit Jahresbeginn verstrichenen Tage, D_y die 365 oder 366 Tage des Jahres und n_m die Tage des Monats. Jedes vollständige Kalenderjahr umfasst genau ein Modelljahr. Dadurch gelten die bisherigen Jahresanker der Emissionsfunktion weiterhin. t = 0 bezeichnet den 1. Januar 1826; t = 200 den 1. Januar 2026. Daten aus dem unvollständigen Jahr 2026 werden nicht in diese Untersuchung aufgenommen.

Jahresmittel werden integriert

$$\overline{c}_y = \int_{y-1826}^{y+1-1826} c\,(t)\,\mathrm{d}t\,/\,(1\,\mathrm{a})$$

Der Konzentrationsintegralzustand wird zusammen mit den Kohlenstoffbeständen integriert. Jahresmittel entstehen daher aus dem zeitlichen Integral; sie sind kein Mittelwert zweier Jahresendpunkte. Die Grafiken und der Vergleich mit NOAA verwenden durchgehend diese Jahresmittel. Endbestände werden nur für die explizit gekennzeichnete Kohlenstoffbilanz eingesetzt.

Zusätzliche Tagesrechnung

Als Auflösungsprüfung wird außerdem die bereits bereitgestellte Reihe mit täglicher Struktur ab 1940 verwendet: 1.368 Monatsintervalle bis 1939 und 31.412 Tagesintervalle 1940–2025, insgesamt 32.780 Intervalle. Für 1940–1978 stammen die Tagesabweichungen innerhalb des Monats aus ERA5, während das Monatsniveau der GloSAT-Hauptreihe erhalten bleibt. Ab 1979 wird die tägliche ERA5-Struktur direkt verwendet. Die historischen Monats- und Jahresniveaus bleiben damit konsistent. [2]

Was höhere Auflösung nicht bedeutet

Die frühe Temperatur ist räumlich lückenhaft beobachtet und wird statistisch ergänzt; sie ist wesentlich unsicherer als die moderne Reihe. Auch ERA5 ist eine Reanalyse mit Modell- und Assimilationsannahmen. Die übernommenen Tageswerte sind daher keine unabhängigen fehlerfreien Messungen jeder globalen Tagesmitteltemperatur. Die geringe Differenz zwischen Monats- und Tageslauf prüft die Auflösung für diese Kohlenstoffmodelle; sie ersetzt keine Untersuchung der Unsicherheit des gesamten historischen Temperaturniveaus. [2, 5, 7]

4 Unveränderte Anfangsbedingungen und Parameter

Größe	Wert	Bedeutung	Geltung
Beginn / Ende	1826 / 2025	200 vollständige Jahre	alle Modelle
c_0	282,7 ppm	gemeinsame Startkonzentration	alle Modelle
T_0	13,5 °C	Temperaturreferenz; Jahresniveau 1826	alle Modelle
κ	2,12 GtC/ppm	Atmosphärische Massenumrechnung	alle Modelle
ΔSpeicher(0)	0	Abweichung vom Referenzbestand	alle Modelle
V_0 / S_0	900 / 1.200 GtC	Vegetation / regulärer Boden	II/V und III/VI
NPP_0	60 GtC/a	Netto-Primärproduktion	II/V und III/VI
τV / τS	15 / 50 a	globale Referenz-Umsatzzeiten	II/V; zonal in III/VI
Ozeanparameter	100 m / 50 Sv	Mischschicht / Tiefenaustausch	Referenz aller Familien
R / τgas	10 / 0,5 a	Revelle-Faktor / Austauschzeit	Referenz aller Familien

Die atmosphärische Anfangsmasse beträgt κc_0 = 599,324 GtC. Sämtliche Bestandsänderungen starten bei null. Ozeanvolumen, gelöster anorganischer Kohlenstoff und zonale Aufteilungen werden aus dem eingefrorenen Referenzcode übernommen; vollständige Parameter stehen im Rechenpaket. [1]

Parameter	Schwach	Mittel	Stark
gL [GtC/K]	10	45	90
P_2 [GtC]	10	40	80
B_2 [GtC]	0,50	0,18	0,05
β [GtC/ppm], I/IV	1,5	1,0	0,5
η, II/V und III/VI	0,45	0,30	0,15

„Schwach“, „mittel“ und „stark“ bezeichnen die unveränderten Kombinationen der Kohlenstoffantwort: stärkere wärmebedingte Freisetzung geht hier mit geringerer CO_2-Aufnahmewirkung einher. Es sind keine verschiedenen Emissionspfade und keine statistischen Konfidenzgrenzen. P_2 und B_2 benennen Referenzwirkungen des früheren 2-K-Versuchs; sie werden unter dem historischen Antrieb nicht als Endverluste beziehungsweise Endgewinne erzwungen.

5 Die gemeinsame anthropogene Quelle

$$E(t) = A[\exp(rt) - 1], \qquad M(t) = A\{[\exp(rt) - 1]/r - t\}$$

Unverändert gelten A = 1,2954148534614582 GtC/a und r = 0,011557694395056946 a^{-1}. E(0) = 0. Die Funktion umfasst die vorgegebene anthropogene Nettoquelle aus fossilen/industriellen Vorgängen und Landnutzung, einschließlich der in der Referenz verwendeten Karbonatisierungskonvention. Natürliche Land- und Ozeansenken werden erst in den Modellen berechnet und nicht vorab von E abgezogen. [1, 9, 10]

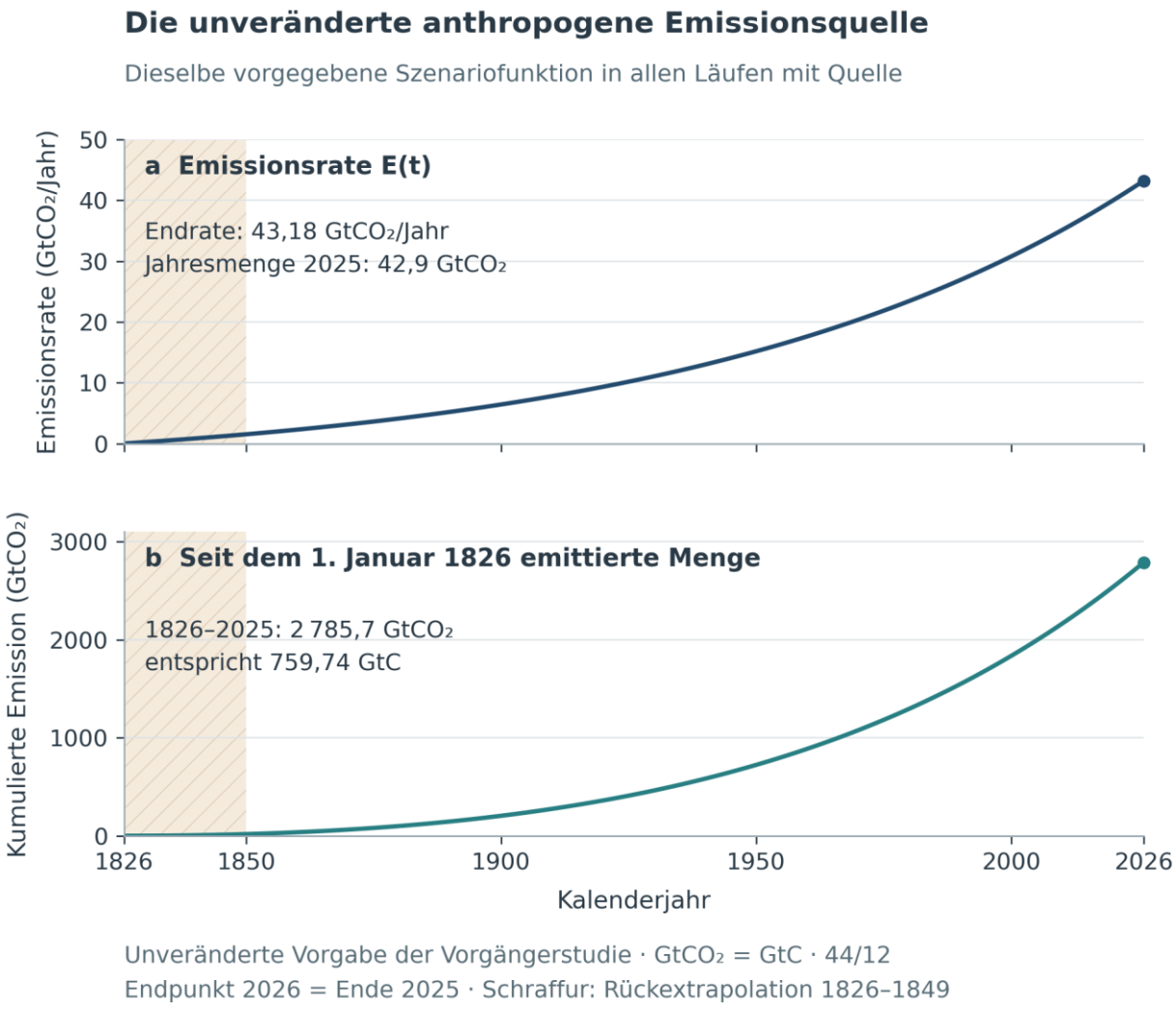

Abbildung 2. Unveränderte Emissionsrate und ihr Integral. Die Darstellung verwendet $GtCO_2$ mit dem bisherigen Faktor 44/12. Die Endrate 43,18 $GtCO_2$/a ist von der integrierten Jahresmenge 2025 von 42,9 $GtCO_2$ zu unterscheiden. Die Schraffur kennzeichnet die Rückextrapolation vor 1850. Die Kurve ist ein vorgegebenes Szenario, keine jahresgenaue Emissionsrekonstruktion. [1; eigene Darstellung]

Die Jahresmenge 2025 beträgt 11,7 GtC. Für 1850–2025 ergeben sich unverändert 755 GtC, für die Rückextrapolation 1826–1849 zusätzlich 4,739882 GtC; insgesamt also 759,739882 GtC. Der Vergleich mit aktualisierten historischen Jahresdaten in Abschnitt 22 ist eine Diagnose und verändert diese Quelle nicht.

6 Temperaturantwort statt fest vorgegebener Rampe

Für die verzögerte thermische Landfreisetzung in I/IV und den Permafrostbeitrag aller Familien waren bisher normierte Zeitprofile der linearen Erwärmung eingesetzt. Ihre neue Form verwendet einen Temperaturgedächtniszustand qτ mit genau derselben Zeitkonstante τ. Der Bezugszeitraum H bleibt 200 Jahre:

$$\tau \dot{q}_\tau = \theta(t) - q_\tau, \qquad q_\tau(0) = 0$$

$$D_\tau = H - \tau[1 - \exp(-H/\tau)]$$

Der kumulierte thermische Landverlust L_t in I/IV und der kumulierte Permafrostverlust P werden damit zu:

$$L_T(t) = g_L\,(H/D_{50}) q_{50}(t)$$

$$P(t) = [P_2/(2\,\mathrm{K})](H/D_{100}) q_{100}(t)$$

Die entsprechenden atmosphärischen Flüsse sind die Zeitableitungen dieser Größen. Die Faktoren H/D_{50} = 1,325242446 und H/D_{100} = 1,761594156 bleiben konstant. In III/VI bleibt zusätzlich der zuvor verwendete räumliche Permafrostfaktor erhalten; in den drei zentralen Parameterfällen beträgt er eins. Die Polarverstärkung wird nicht nochmals aufgeschlagen.

Exakte Rückführung auf das frühere Experiment

$$\theta(t) = (2\,\mathrm{K})t/H \quad \Rightarrow \quad q_\tau(t) = (2\,\mathrm{K}/H)\{t - \tau[1 - \exp(-t/\tau)]\}$$

Damit folgen exakt die früheren normierten Rampenantworten: Am Ende des alten Versuchs ergibt sich L_t = 2 K · gL sowie P = P_2. Die Neurechnung mit wieder eingesetzter alter Rampe bestätigt die alten Jahresmittel aller 18 Läufe bis auf weniger als 0,00000005 ppm. Die Umformulierung verändert den bisherigen Referenzversuch also nicht.

Gletschervorfelder

$$\dot{B}(t) = B_2\,\theta(t)/[(1\,\mathrm{K})H], \qquad B(0) = 0$$

Unter der alten Rampe ergibt sich daraus B(t) = $B_2(t/H)^2$. Unter dem historischen Verlauf wird B tatsächlich integriert. Es wäre inkonsistent, die Konzentration mit der neuen Temperatur zu berechnen, für Permafrost oder Gletschervorfelder aber weiterhin die alten zeitabhängigen Endbestände auszugeben.

Die alte Rampe allein legt die Antwort auf jede denkbare Temperaturgeschichte nicht eindeutig fest. Die lineare kausale Fortsetzung ist hier die einfachste explizite Wahl, die vorhandene Zeitskalen und Referenzwirkungen erhält. Sie ist eine prüfbare Modellannahme und keine aus historischen Permafrostdaten abgeleitete Rekonstruktion.

7 Anfangsmonat und vorzeichenbehaftete Anomalien

Referenzgleichgewicht und tatsächlicher erster Antrieb

Die Anfangsbestände gehören weiterhin zum Referenzzustand bei 13,5 °C. Dieser Wert ist das Jahresniveau von 1826, nicht dessen Januarwert. Der erste übernommene Monatsindex beträgt 13,026674121 °C; daher ist θ im Januar 1826 etwa −0,473326 K. Alle 18 Läufe beginnen mit denselben Kohlenstoffbeständen, reagieren aber sofort auf diesen kühleren Antrieb.

Ein flussfreies Anfangsgleichgewicht unter dem Januarwert wird somit nicht behauptet. Ein vorgeschalteter Gleichgewichtslauf, eine Verschiebung der gesamten Temperaturreihe oder ein Überschreiben des ersten Monats würden zusätzliche Änderungen an den vereinbarten Anfangsbedingungen darstellen. Der separate Kontrolllauf mit θ = 0 und E = 0 bleibt dagegen im Referenzgleichgewicht.

Abkühlung in der linearen Fortsetzung

Die Monatsanomalien des historischen Antriebs reichen von etwa −1,154 K bis +1,834 K. Bei einem vorzeichenbehafteten linearen Gedächtnis kann eine Abkühlung auch einen zuvor positiven Freisetzungsfluss vermindern oder umkehren. Die Ausgaben P und B sind deshalb Änderungen gegenüber dem Referenzzustand. Sie sind keine absoluten gemessenen Permafrost- oder Gletschervorfeldinventare.

Im Hauptlauf erreicht die positive Permafrost-Bestandsanomalie zeitweilig höchstens 0,588 GtC; die kleinste Gletschervorfeld-Anomalie beträgt −0,0022 GtC. Ein negativer B-Wert ist nicht als physisch negativer Kohlenstoffbestand eines neu entstandenen Vorfeldes zu lesen. Ebenso belegt eine modellierte Permafrost-Rückbuchung keine tatsächliche rasche Wiederherstellung zuvor aufgetauter Böden.

Gesonderte irreversible Permafrostvariante

$$\dot{q}_{100} = \max[0, (\theta - q_{100})/(100\,\mathrm{a})]$$

Diese Zusatzrechnung erlaubt dem kumulierten Permafrostverlust nur zuzunehmen. Sie verändert ausschließlich die Richtung dieses Gedächtnisflusses; die übrigen Gleichungen und Parameter bleiben gleich. Sie prüft eine konkret erkannte strukturelle Grenze, ersetzt jedoch kein räumlich und bodenphysikalisch aufgelöstes Auftaumodell. Die Hauptrechnung bleibt die am alten Rampenversuch exakt anschließende lineare Form.

Für 2025 beträgt die größte Konzentrationsänderung durch diese Zusatzannahme 0,196 ppm; über alle Jahresmittel 1826–2025 sind es höchstens 1,622 ppm. Sie ist damit für die Interpretation der frühen kleinen Bestandsanomalien relevant, erklärt aber die verbleibenden Abstände von rund 20 bis 117 ppm gegenüber NOAA nicht.

8 Modellfamilie I / IV: aggregierter Land-Ozean-Ansatz

Modell I beschreibt die Änderung des globalen Kohlenstoffkreislaufs ohne zusätzliche Quelle; Modell IV ergänzt dieselbe Bilanz um E(t). Der Ozean besteht aus Oberflächen- und Tiefenbox. Die reguläre Landänderung ist die Summe aus einer konzentrationsabhängigen Speicherung und dem verzögerten thermischen Verlust. [1]

$$\Delta L = \beta(c - c_0) - L_T$$

$$(\kappa + \beta)\dot{c} = \dot{L}_T + \dot{P} - \dot{B} - F_{AO} - \dot{G} + E$$

F_{ao} ist positiv bei Aufnahme durch den Ozean. G ist die kumulierte zusätzliche geologische Speicherung aus Verwitterung abzüglich oxidativer Freisetzung. Der Nenner κ + β entsteht, weil die algebraische Landkapazität gleichzeitig auf eine Konzentrationsänderung reagiert. Die zusätzliche Quelle wird deshalb in dieser Familie ebenfalls durch κ + β geteilt. Ein separater zusätzlicher CO_2-Düngungsterm würde diese bereits enthaltene Speicherung nochmals zählen.

Ozean und Partialdruckantwort

$$c_w = c_0 \exp(\alpha\, 0.8\theta)(1 + \Delta O_s/O_{s0})^R$$

$$F_{AO} = k_g(c - c_w), \qquad F_{sd} = Q(\Delta O_s/V_s - \Delta O_d/V_d)$$

Der Gleichgewichtswert c_w ist die atmosphärische CO_2-Konzentration, die mit dem Oberflächenwasser im Gleichgewicht stünde. Die Gleichung verbindet Löslichkeit beziehungsweise temperaturabhängigen Gleichgewichtspartialdruck mit dem Revelle-Effekt der geänderten Kohlenstoffkonzentration im Wasser. Es gelten weiterhin α = 0,0423 K^{-1}, R = 10 und eine SST-Anomalie von 0,8 θ. Die Atmosphäre wird als gut durchmischt bei unveränderter Druckumrechnung behandelt; ppm steuert damit die Partialdruckabhängigkeit. Der Austausch mit der Tiefe folgt der bestehenden Volumen- und Transportparametrisierung.

Geologische Bilanz

$$\dot{G} = 0.060[\exp(0.080\theta)(c/c_0)^{0.30} - 1] - 0.068[\exp((\ln 2.2)\theta/10) - 1]$$

Die Zahlen beziehen sich auf GtC/a und Temperaturabweichungen in K. Die Gleichung enthält zusätzliche Flüsse relativ zum Referenzgleichgewicht. Die bereits ausgeglichene natürliche Hintergrundbilanz wird nicht als weitere Nettoquelle addiert. Die geologische Änderung bleibt auf diesem 200-Jahre-Zeitraum klein gegenüber Atmosphäre, Ozean und Biosphäre. Das ist ein Resultat dieser Parametrisierung, keine Aussage, dass geologische Prozesse auf allen Zeitskalen unwichtig wären.

9 Modellfamilie II / V: Vegetation, Boden und Wasser

II/V führen Vegetation und regulären Boden ausdrücklich als dynamische Speicher. Netto-Primärproduktion, Umsatz und Bodenatmung bestimmen den Austausch mit der Atmosphäre. Der direkte CO_2-Effekt, die Temperaturwirkung und eine einfache Wasserbilanz sind bereits Teil des übernommenen Modells. [1]

$$N = N_0 \exp[(k_N + \varepsilon_N \delta_h)\theta](c/c_0)^{\eta}$$

$$\dot{V} = N - V/\tau_V, \qquad \dot{S} = fV/\tau_V - R_h$$

$$R_h = (S/\tau_S)\exp[(k_R + \varepsilon_R \delta_h)\theta]$$

Hier stehen V und S für die absoluten Vegetations- und Bodenbestände; gespeichert werden im Rechenprogramm ihre Abweichungen vom Anfangswert. Mit V_o = 900 GtC, S_o = 1.200 GtC, τV = 15 a, τS = 50 a und f = 0,4 ist die Referenzbilanz ausgeglichen. Der ursprüngliche Zusatz zur unvollständigen Weitergabe CO_2-geförderter Biomasse an den Boden bleibt im Code erhalten; bei dem unveränderten Wert ρ = 1 verschwindet dieser Zusatz. Das markierte Biomassekonto ist eine Teilmenge der Vegetation und kein zusätzlich zu addierender Speicher.

Wärme, Niederschlag und Wasserbedarf

Unverändert gelten hP = 0,024 K^{-1} für die vereinfachte Niederschlagsantwort und hD = 0,030 K^{-1} für den Wasserbedarf; damit δh = hP − hD = −0,006 K^{-1}. Die Elastizitäten betragen εN = 0,5 und εR = 0,25. Mehr Wärme kann also in dieser Parametrisierung zugleich mehr Niederschlag und einen stärker steigenden Bedarf bewirken. Es folgt nicht automatisch eine stärkere globale Wasserversorgung der Pflanzen. Eine räumlich oder saisonal beobachtete Niederschlagsgeschichte wird in diesem Versuch nicht ergänzt.

Der thermische Produktionskoeffizient kN bleibt aus dem früheren 2-K-Referenzexperiment bestimmt. Die CO_2-Elastizität η ist 0,45, 0,30 beziehungsweise 0,15. Auch bei historischem Temperaturpfad wird sie nicht anhand des beobachteten CO_2-Anstiegs optimiert.

$$\kappa \dot{c} = -\dot{V} - \dot{S} + \dot{P} - \dot{B} - F_{AO} - \dot{G} + E$$

Im Unterschied zu I/IV steht im Nenner allein κ, da die Landbestände hier ausdrücklich integriert werden. Eine zusätzliche algebraische β-Kapazität wäre eine Doppelzählung. Der Tiefenozean reagiert über den unveränderten Kohlenstoffaustausch; die diagnostische Tiefentemperatur wird nun ebenfalls mit dem tatsächlichen historischen Antrieb integriert.

10 Modellfamilie III / VI: räumliche Gewichtung

III/VI behalten die sechs Breitenzonen und ihre getrennten Land- und Ozeananteile bei. Die Anfangsverteilung ist in den Tropen wärmer und in den Polargebieten kälter. Die Reaktion auf die globale Anomalie ist zonal verschieden. Der historische globale Antrieb ersetzt dabei ausschließlich die bisher lineare Zeitabhängigkeit. [1]

$$T_{L,i} = T_{L,i,0} + r_{L,i}\theta, \qquad T_{O,i} = T_{O,i,0} + r_{O,i}\theta$$

$$\sum_i (w_{L,i} r_{L,i} + w_{O,i} r_{O,i}) = 1$$

Diese Normierung stellt zu jedem Zeitpunkt genau das vorgegebene globale Luftmittel 13,5 °C + θ sicher. Die Gewichte beziehen sich auf die gesamte Erdfläche. Die Meerwassertemperatur besitzt ihren eigenen Reaktionsfaktor rS; in beiden Polarzonen bleibt er gegenüber dem Luftfaktor halbiert und wird nicht nochmals auf das Luftmittel normiert.

Breitenzone	Land / Meer [% Erde]	T_0 Land / Luft Meer [°C]	rL / rO / rS
90–60° S	2,40 / 4,30	-35,74 / -9,30	1,33 / 0,95 / 0,47
60–30° S	1,05 / 17,26	13,51 / 9,92	1,19 / 0,85 / 0,85
30–0° S	5,73 / 19,27	21,40 / 23,84	1,05 / 0,75 / 0,75
0–30° N	7,15 / 17,85	22,72 / 25,20	1,10 / 0,79 / 0,79
30–60° N	9,05 / 9,25	5,22 / 12,32	1,50 / 1,07 / 1,07
60–90° N	3,37 / 3,33	-9,79 / -9,64	1,91 / 1,36 / 0,68

Pflanzenproduktion, Bodenatmung, Wasserwirkung, ozeanischer Gleichgewichtspartialdruck, Schelf- und Eisflächenkorrektur werden weiterhin zonal berechnet. Die Bodengewichte, Miami-Produktivitätsfunktion, Arrhenius-Abhängigkeit und geografischen Eingaben bleiben unverändert. Der Monatsantrieb bleibt innerhalb der verfügbaren Temperaturtabellen; die kleinste zonale SST beträgt −1,724 °C. Für diesen Lauf war keine neue Begrenzung der Prozessfunktionen erforderlich.

Eine reale globale Temperaturgeschichte macht aus einem festen räumlichen Reaktionsmuster noch keine reale regionale Geschichte. III/VI enthalten weiterhin keine jährlich wechselnden Landmasken, keine rekonstruierten regionalen Dürren und keine beobachtete zeitvariable Polarverstärkung. Ihre Ergebnisse prüfen den historischen globalen Antrieb in der vorhandenen räumlichen Modellstruktur.

11 Bilanz, numerische Integration und Gegenprüfung

Die Hauptrechnung verwendet Runge–Kutta vierter Ordnung mit maximal 0,02 Modelljahren je innerem Schritt. Monatsgrenzen werden exakt getroffen. Ein eigener Konzentrationsintegralzustand liefert die Jahresmittel. Zur Prüfung wurden alle 18 Läufe mit halbierter Schrittweite wiederholt und zusätzlich mit einer unabhängig programmierten DOP853-Integration gerechnet. Die unabhängige Implementierung verwendet die ursprünglichen Modellgleichungen und importiert nicht die neue Produktionsintegration.

$$\kappa(c - c_0) + \Delta O + \Delta L - P + B + G = M(t)$$

Diese Bilanz zählt jeden physischen Speicher genau einmal. Temperaturgedächtnisse sind keine zusätzlichen Kohlenstoffspeicher. Markierte Vegetation, getrennte Flussdiagnosen sowie eine Tiefentemperatur werden nicht nochmals als Kohlenstoff addiert. Bei ausgeschalteter Quelle ist M = 0. Bei eingeschalteter Quelle wird außerdem das numerisch integrierte E mit seinem analytischen Integral verglichen.

Prüfung	Umfang	Größte Abweichung	Bewertung
Alte Rampe reproduziert	alle 18 Läufe, Jahresmittel	$4{,}17 \cdot 10^{-8}$ ppm	Referenz erhalten
Schrittweite halbiert	alle Jahresmittel	$8{,}81 \cdot 10^{-9}$ ppm	numerisch stabil
Unabhängige Integration	Hauptlauf, alle Jahresmittel	$9{,}70 \cdot 10^{-9}$ ppm	bestätigt
Kohlenstoffbilanz	alle Hauptlauf-Zeitpunkte	$2{,}73 \cdot 10^{-12}$ GtC	geschlossen
Nullantrieb	θ = 0 und E = 0	$< 10^{-8}$ ppm	Referenz stabil
Parameter / Quelle	Referenzcode und Eingaben	keine Änderung	kontrollierter Versuch

Die Tabelle beschreibt Rechengenauigkeit und Implementierungskonsistenz. Sie besagt nicht, dass die physikalischen Modelle auf acht Nachkommastellen richtig sind. Im Bericht werden Konzentrationen üblicherweise auf 0,01 ppm und diskutierte Effekte auf sinnvolle Größenordnungen gerundet. Die höher aufgelösten CSV-Werte dienen der Nachrechnung.

Die Tagesvariante und die irreversible Permafrostvariante wurden ebenfalls unabhängig integriert. Alle Quellenschalterpaare beginnen mit gleichen Beständen. Permafrost- und Gletschervorfeldbeiträge stimmen innerhalb jedes Paars überein, weil sie von derselben Temperatur und denselben Parametern abhängen. Der separate Nullantrieb ist die geeignete Gleichgewichtsprüfung; der erste historische Januarwert ist es aus dem in Abschnitt 7 erläuterten Grund nicht.

12 Schwacher Parameterfall

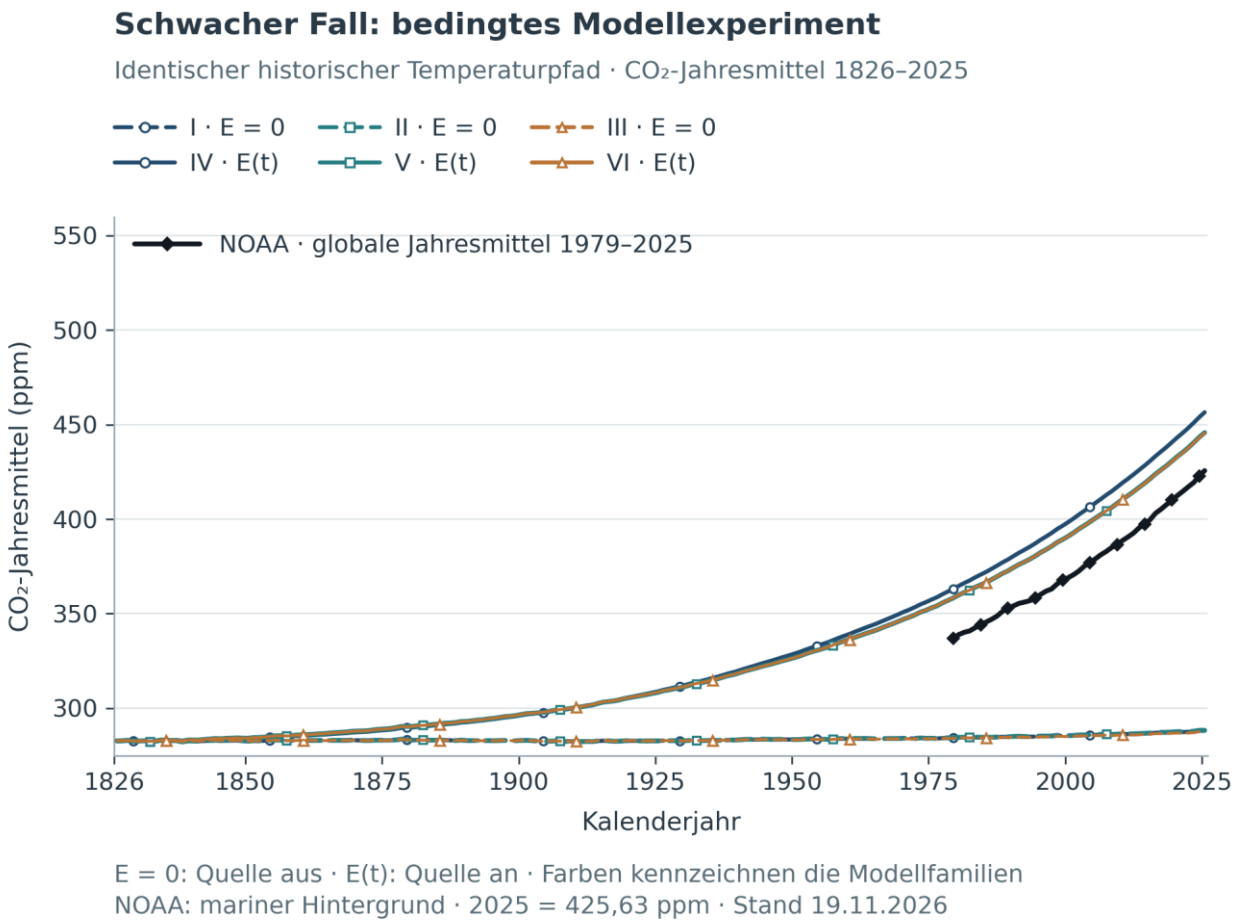

Abbildung 3. Schwacher Parameterfall: CO_2-Jahresmittel 1826–2025. Gestrichelt I–III mit E = 0; durchgezogen IV–VI mit derselben zusätzlichen Quelle E(t). Gleiche Farben verbinden die Modellpaare. Schwarz: NOAA 1979–2025, zuletzt 425,63 ppm. Alle drei Szenariografiken verwenden dieselbe Skala. Historische Temperatur gilt auch bei E = 0; die Kurven sind bedingte Quellenschalter-Experimente. [3; eigene Rechnung]

Modellpaar	Quelle aus [ppm]	Quelle an [ppm]	Differenz [ppm]
I / IV	288,05	456,53	168,48
II / V	288,29	445,77	157,48
III / VI	287,51	445,51	158,00

Die expliziten Vegetationsmodelle V und VI liegen etwa 10,8–11,0 ppm unter IV. Unter diesen Parametern verstärkt die dynamische CO_2-geförderte Landspeicherung die Gesamtaufnahme. Der zusätzliche räumliche Aufbau von VI verändert das globale Endjahresmittel gegenüber V nur um etwa −0,27 ppm. Auch der niedrigste Wert bleibt über NOAA.

13 Mittlerer Parameterfall

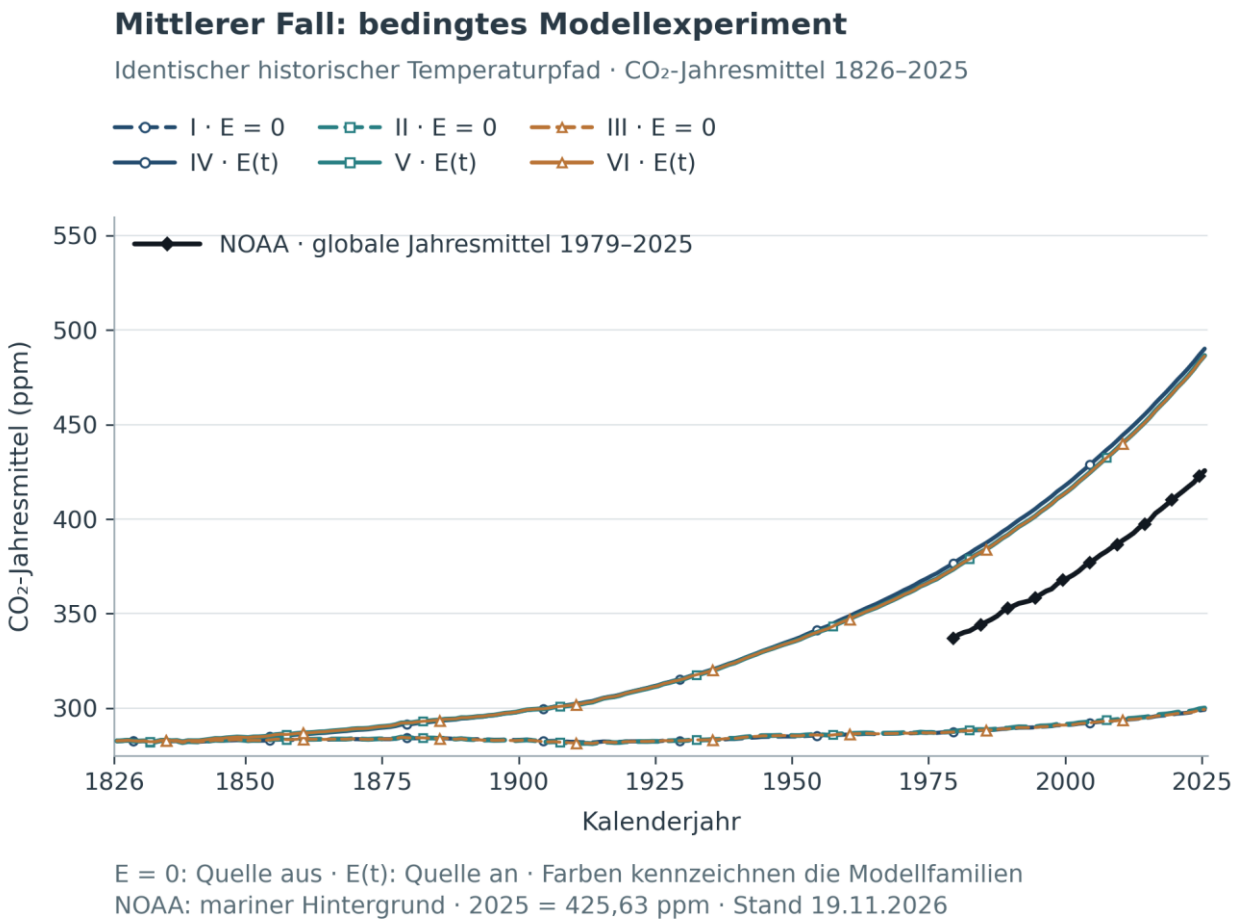

Abbildung 4. Mittlerer Parameterfall: CO_2-Jahresmittel 1826–2025. Gestrichelt I–III mit E = 0; durchgezogen IV–VI mit derselben zusätzlichen Quelle E(t). Gleiche Farben verbinden die Modellpaare. Schwarz: NOAA 1979–2025, zuletzt 425,63 ppm. Alle drei Szenariografiken verwenden dieselbe Skala. Historische Temperatur gilt auch bei E = 0; die Kurven sind bedingte Quellenschalter-Experimente. [3; eigene Rechnung]

Modellpaar	Quelle aus [ppm]	Quelle an [ppm]	Differenz [ppm]
I / IV	299,15	490,17	191,02
II / V	300,07	486,55	186,49
III / VI	299,34	486,29	186,95

Die Modelle IV–VI ergeben rund 486–490 ppm. Die Unterschiede zwischen II und III beziehungsweise V und VI bleiben klein. Das Zuschalten der Quelle erhöht das Jahresmittel gegenüber dem jeweiligen Vergleichslauf um etwa 186–191 ppm. Der historische Temperaturantrieb allein führt bei ausgeschalteter Quelle in diesen bedingten Rechnungen auf rund 299–300 ppm.

14 Starker Parameterfall

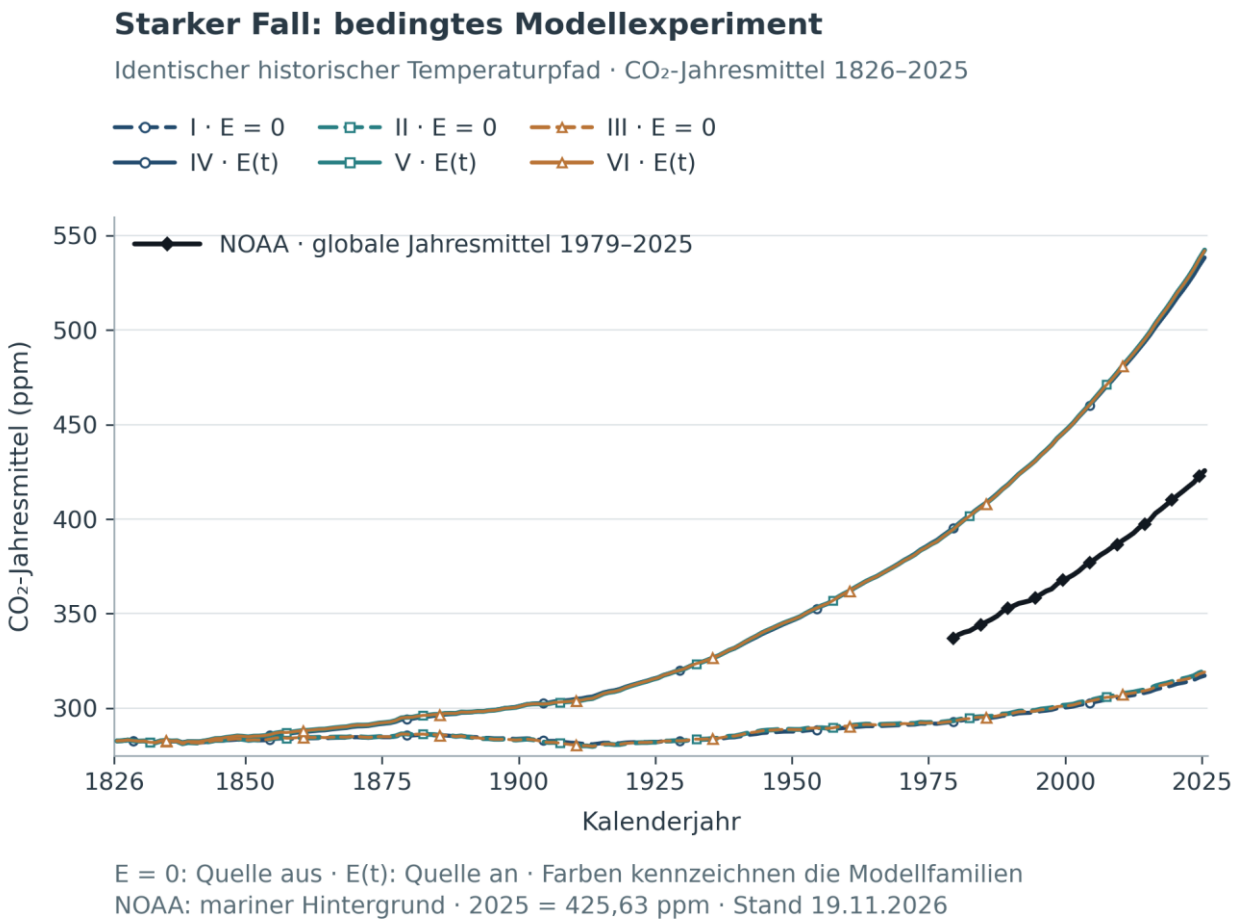

Abbildung 5. Starker Parameterfall: CO_2-Jahresmittel 1826–2025. Gestrichelt I–III mit E = 0; durchgezogen IV–VI mit derselben zusätzlichen Quelle E(t). Gleiche Farben verbinden die Modellpaare. Schwarz: NOAA 1979–2025, zuletzt 425,63 ppm. Alle drei Szenariografiken verwenden dieselbe Skala. Historische Temperatur gilt auch bei E = 0; die Kurven sind bedingte Quellenschalter-Experimente. [3; eigene Rechnung]

Modellpaar	Quelle aus [ppm]	Quelle an [ppm]	Differenz [ppm]
I / IV	317,20	538,36	221,17
II / V	319,72	542,37	222,65
III / VI	319,09	542,02	222,93

Im starken Fall liegen die anthropogenen Modelle bei rund 538–542 ppm. V und VI ergeben jetzt etwas höhere Werte als IV: Die Kombination aus schwächerer CO_2-Düngungswirkung und größerer thermischer Landempfindlichkeit überwiegt. Eine zunehmende Modellkomplexität garantiert daher keine monoton sinkende CO_2-Konzentration und keine bessere Übereinstimmung mit Beobachtungen.

15 Vergleich mit der vorherigen linearen Erwärmung

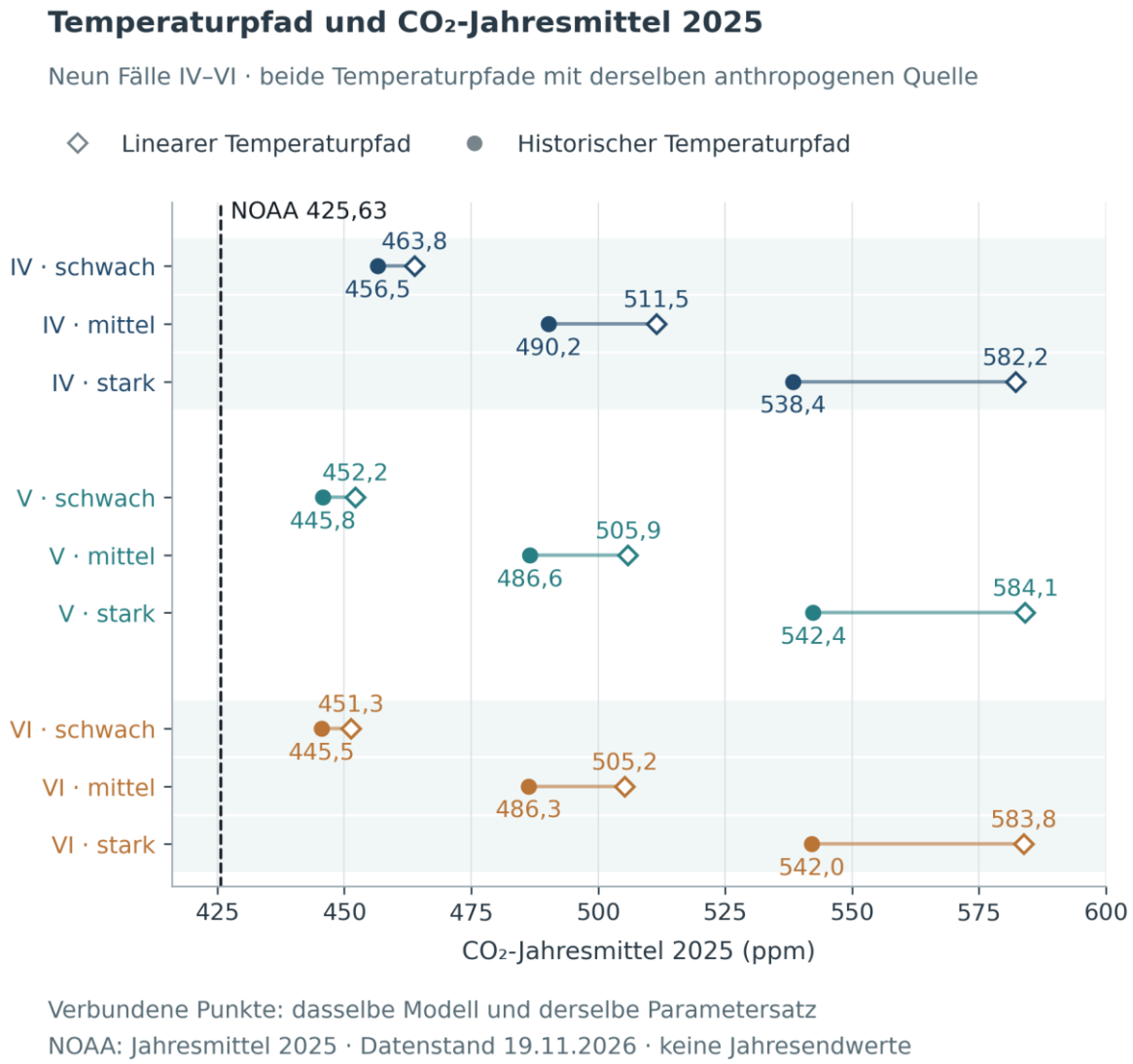

Abbildung 6. CO_2-Jahresmittel 2025 bei alter linearer Temperaturentwicklung (offene Rauten) und historischem Antrieb (gefüllte Kreise). Jede Verbindung betrifft dieselbe Modellfamilie und denselben Parameterfall. Anfangsbestände und anthropogene Quelle sind gleich. Die senkrechte Linie kennzeichnet NOAA 425,63 ppm. [1, 3; eigene Rechnung]

In allen neun anthropogenen Fällen sinkt die Konzentration und verkleinert sich der Abstand zur Beobachtung. Die Reduktion beträgt im schwachen Fall etwa 5,8–7,3 ppm, im mittleren Fall 18,9–21,3 ppm und im starken Fall 41,7–43,8 ppm. Gemessen am vorherigen positiven Fehler von 2025 wird dieser um rund 19–28 % vermindert. Das Ausmaß hängt deutlich von den unveränderten Kohlenstoffparametern ab.

Damit ist die frühere lineare Temperaturvorgabe als ein wesentlicher Teil der Überschätzung nachgewiesen. Sie ist aber nicht die einzige Ursache: Selbst nach ihrem Austausch bleiben große positive Niveaufehler. Die Größe des Restfehlers ist durch die gegenwärtige Datenreferenz oder durch numerische Rundung nicht erklärbar.

16 Beobachtungsreferenz: das reale CO_2-Niveau 2025

Der Hauptvergleich verwendet das globale marine Hintergrundprodukt von NOAA GML. Die abgerufene Jahresdatei, erstellt am 19. November 2026, gibt für 2025 425,63 ppm an. Der Wert des jüngsten Jahres bleibt revisionsfähig. Sie liefert eine fortlaufende globale Jahresreihe ab 1979. Ein einzelner Stationswert, etwa von Mauna Loa, wäre für diesen globalen Vergleich eine andere Größe. Die bislang verwendete Rundung 425,6 ppm bleibt damit praktisch unverändert. [3, 4]

Die neben dem NOAA-Jahreswert ausgegebene Unsicherheit beträgt 0,05 ppm und beschreibt die dort dokumentierte Netzwerk-/Monte-Carlo-Unsicherheit. Sie wird hier nicht als vollständiges 95-%-Intervall aller strukturellen Fehler ausgegeben. Der WMO-Bericht Nr. 22 nennt für sein globales Oberflächenprodukt 426,8 ± 0,2 ppm. Beide Produkte werden weder gemittelt noch in einer Kurve vermischt. Der Produktunterschied von 1,17 ppm ändert die grundlegende Modellbewertung nicht. [3, 11]

Fall / Modell	CO_2 2025 [ppm]	Abstand NOAA [ppm]	Vorher [ppm]
Schwach / IV	456,53	30,90	463,82
Schwach / V	445,77	20,14	452,18
Schwach / VI	445,51	19,88	451,30
Mittel / IV	490,17	64,54	511,45
Mittel / V	486,55	60,92	505,86
Mittel / VI	486,29	60,66	505,24
Stark / IV	538,36	112,73	582,20
Stark / V	542,37	116,74	584,10
Stark / VI	542,02	116,39	583,77

Jahresmittel, Jahresendwert und Jahreswachstum

Die Zahlen in der Tabelle sind Jahresmittel. So beträgt das Jahresmittel des schwachen VI-Laufs 445,51 ppm, sein Wert am Ende 2025 jedoch 446,71 ppm. Eine Vermischung dieser Größen verschiebt den Vergleich bereits um mehr als ein ppm.

NOAA nennt im aktuellen Datenstand für den Zuwachs innerhalb 2025, von Jahresanfang zu Jahresanfang, 2,03 ± 0,08 ppm. Die Differenz der NOAA-Jahresmittel 2025 minus 2024 beträgt dagegen 2,84 ppm. Im schwachen Modell VI lauten die entsprechenden Größen 2,35 und 2,43 ppm. Ein vermeintlicher Widerspruch entsteht, wenn die beiden Definitionen vermischt werden. Die GCB-Vorabfassung nennt noch einen anderen Datenstand des innerhalbjährlichen Zuwachses; für diese Prüfung gilt konsistent die aktuelle NOAA-Reihe. [3, 4, 9]

17 Vergleich der ganzen beobachteten Zeitreihe

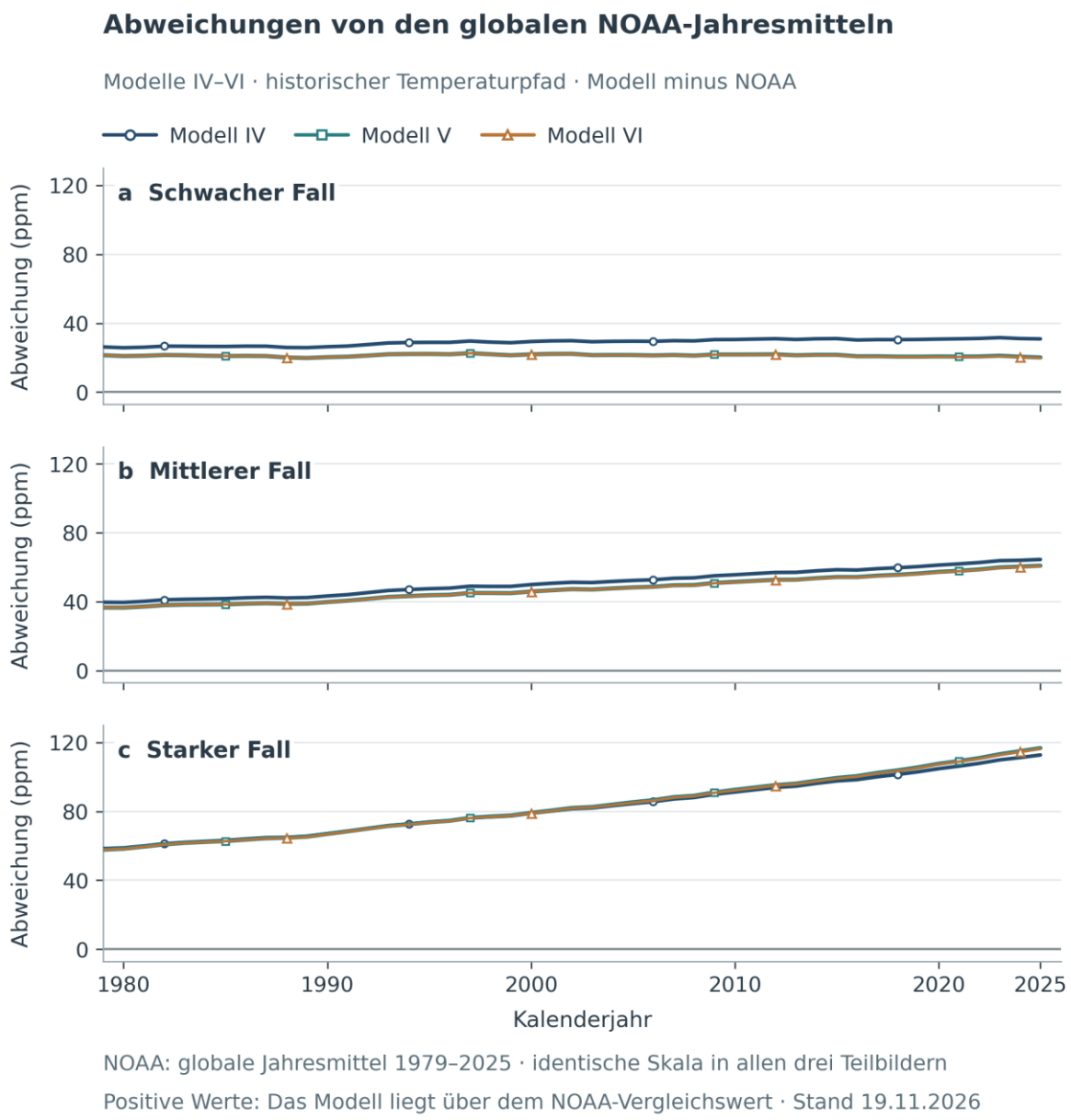

Abbildung 7. Modelljahresmittel minus NOAA-Jahresmittel 1979–2025. Die drei Teilbilder verwenden dieselbe ppm-Skala. Die Nullinie bedeutet Übereinstimmung. Besonders in den schwachen Fällen V und VI bleibt ein weitgehend konstanter positiver Niveaufehler; in den mittleren und starken Fällen wächst die Abweichung deutlicher. Keine Kurve wurde zur Darstellung verschoben oder neu angepasst. [3; eigene Rechnung]

Der Vergleich über 47 Jahre verhindert, dass die Modellgüte nur aus dem letzten Punkt beurteilt wird. Alle anthropogenen Fälle liegen in jedem dieser Jahre oberhalb der NOAA-Reihe. Die Form und der zeitliche Wandel des Fehlers unterscheiden sich aber erheblich zwischen den Parameterfällen.

18 Modellgüte: Niveaufehler und Verlauf getrennt

Für die N = 47 NOAA-Jahreswerte 1979–2025 wird jeweils das Modelljahresmittel minus das NOAA-Jahresmittel als Fehler e_y berechnet. Der mittlere Fehler b beschreibt das Niveau. Der quadratische Mittelwert RMSE erfasst den gesamten Fehler. Die verbleibende Streuung um b beschreibt, wie stark die Form des Verlaufs abweicht:

$$b = N^{-1} \sum_y e_y \,, \qquad s_e = [N^{-1} \sum_y (e_y - b)^2]^{1/2}$$

$$\mathrm{RMSE}^2 = b^2 + s_e^2$$

Diese Zerlegung ist eine Diagnose der unveränderten Ergebnisse. Der Mittelwert b wird nicht von einer Modellkurve abgezogen, um sie nachträglich als erfolgreiche Konzentrationsprognose auszugeben. Die zentrierte Fehlergröße s_e ist keine absolute Vorhersagegenauigkeit und keine statistische Signifikanzprüfung.

Fall / Modell	Mittlerer Fehler b [ppm]	RMSE [ppm]	Zentrierter RMS s_e [ppm]
Schwach / IV	28,99	29,05	1,82
Schwach / V	21,29	21,30	0,63
Schwach / VI	21,22	21,23	0,66
Mittel / IV	51,18	51,73	7,55
Mittel / V	47,38	47,94	7,27
Mittel / VI	47,28	47,82	7,20
Stark / IV	82,50	84,05	16,06
Stark / V	83,36	85,14	17,29
Stark / VI	83,16	84,92	17,21

Die schwachen V- und VI-Läufe haben nur etwa 0,63 beziehungsweise 0,66 ppm zentrierten RMS, aber rund 21,3 beziehungsweise 21,2 ppm mittleren Niveaufehler. Ihre Zunahmen von 1979 bis 2025 liegen mit 87,50 und 87,17 ppm nahe an den beobachteten 88,78 ppm. Das ist ein belastbarer positiver Befund zur Form dieses Zeitabschnitts; die Überschätzung des absoluten Niveaus bleibt zugleich bestehen.

Im mittleren Fall beträgt der zentrierte RMS etwa 7,2–7,5 ppm, im starken Fall 16–17 ppm. Dort wächst die Konzentration über 1979–2025 zusätzlich zu schnell. In allen neun Fällen ist der gesamte RMSE kleiner als beim alten linearen Temperaturpfad. Die Formgüte verbessert sich jedoch nicht in jedem Fall; manche zentrierten Fehler steigen. „Verbessert“ bezeichnet deshalb vorrangig die verringerte Niveauabweichung und den gesamten RMSE, nicht jeden Aspekt der zeitlichen Dynamik.

19 Kohlenstoffbilanz der zugeschalteten Quelle

Für eine saubere Quellenbilanz werden die Bestände eines anthropogenen Laufs mit dem jeweils zugehörigen Lauf bei E = 0 verglichen. Die folgende Tabelle betrifft den mittleren Parameterfall und den Endzeitpunkt 1. Januar 2026. Positive Werte bezeichnen zusätzliche Speicherung durch das Zuschalten der Quelle. Die Differenz aller Speicher summiert sich auf die unveränderten 759,739882 GtC.

Zusätzlicher Bestand [GtC]	IV minus I	V minus II	VI minus III
Atmosphäre	408,121	398,562	399,552
Ozean gesamt	158,507	154,938	155,581
Reguläres Land	192,510	205,651	204,006
Permafrost	0,000	0,000	0,000
Gletschervorfelder	0,000	0,000	0,000
Geologische Bilanz	0,602	0,588	0,600
Summe	759,740	759,740	759,740

Im mittleren VI-Paar entfallen rund 52,59 % der zugeführten Zusatzmenge auf die Atmosphäre, 20,48 % auf den Ozean, 26,85 % auf das reguläre Land und 0,08 % auf die geologische Bilanz. Diese Quoten sind integrierte Unterschiede zweier Modellläufe bei gleichem Temperaturpfad. Sie sind keine unmittelbar beobachtete reale „airborne fraction“ und keine molekulare Herkunftsmarkierung.

Permafrost und Gletschervorfelder unterscheiden sich innerhalb der Paare nicht, weil sie in den übernommenen Gleichungen ausschließlich vom gemeinsamen Temperaturantrieb abhängen. Ihre Flüsse beeinflussen beide Läufe, fallen in der Paardifferenz aber heraus. Land- und Ozeanspeicherung reagieren dagegen auf die veränderte CO_2-Konzentration und unterscheiden sich deshalb deutlich.

Warum sinkt die CO_2-Anreicherung?

Das signierte Integral der Temperaturanomalie beträgt historisch 56,206 K·a, gegenüber 200 K·a im alten linearen Experiment. Wegen der Verzögerungszeiten entscheidet darüber hinaus die zeitliche Reihenfolge. Am Ende ergeben die Temperaturgedächtnisse q_{50} = 0,64837 K und q_{100} = 0,41193 K.

Im mittleren Fall sinkt der kumulierte Permafrostverlust dadurch von früher 40 GtC auf 14,513 GtC. Die thermische Landfreisetzung von I/IV beträgt rund 38,67 statt 90 GtC. Die Speicherung auf Gletschervorfeldern sinkt ebenfalls, von 0,18 auf 0,0506 GtC; dieser Verlust einer kleinen Senke wirkt der CO_2-Absenkung entgegen. Gleichzeitig ändern sich Ozean- und Biosphärenflüsse nichtlinear. Die einzelnen Beiträge lassen sich deshalb nicht aus dem Endtemperaturunterschied allein ableiten.

20 Sensitivität und verbleibende Unsicherheit

Zusatzrechnung	Geänderte Annahme	Maximal 2025 [ppm]	Maximal alle Jahresmittel [ppm]
Tagesauflösung ab 1940	historische Tagesstruktur statt Monatsmittel	0,0078	0,0111
Irreversibler Permafrost	keine negative Verlusttendenz	0,1961	1,6222
Halbe Integrationsschritte	numerische Verfeinerung	< 0,00000001	< 0,00000001

Die Maxima beziehen sich auf alle 18 Fälle und, in der letzten Spalte, alle 200 Jahresmittel. Die Tagesrechnung verwendet denselben Monatsverlauf mit zusätzlicher innerer Struktur. Die Unterschiede zwischen Monats- und Tagesantrieb sind für die hier gewählten globalen und trägen Speicher sehr klein. Das erlaubt, die monatliche Hauptrechnung für die berichteten CO_2-Jahresmittel als ausreichend zeitlich aufgelöst anzusehen.

Diese Aussage ist modellspezifisch: Ein Modell mit Wetterextremen, Feuerereignissen, Bodenfeuchteschwellen oder schnellen regionalen biologischen Prozessen könnte auf Tageswerte stärker reagieren. Die vorhandenen Modelle enthalten solche Prozesse nicht in entsprechender Auflösung. Ihr Fehlen wird durch kleine Tagesdifferenzen nicht widerlegt.

Welche Unsicherheiten hier nicht quantifiziert sind

Die Temperaturrekonstruktion besitzt zeitlich korrelierte Beobachtungs- und Strukturfehler. Hinzu kommen Unsicherheit der Quellenhistorie, vereinfachte Land- und Ozeanparameter, langfristige Referenzbestände, räumliche Gewichtung und eine bei 13,5 °C angesetzte Gleichgewichtsbasis. Die Fälle schwach, mittel und stark decken ausgewählte Parameterkombinationen ab; sie sind keine Stichprobe aus einer gemeinsamen posterioren Wahrscheinlichkeitsverteilung.

Deshalb werden aus diesen drei Fällen keine 95-%-Schranken und keine maximal garantierte Variationsbreite abgeleitet. Die Sensitivitätswerte in der Tabelle sind konkrete Unterschiede zwischen definierten Rechnungen. Sie sind nicht mit der gesamten physikalischen Modellunsicherheit gleichzusetzen. Eine Fehlerfortpflanzungsdarstellung wird in dieser Fortsetzung entsprechend der Vorgabe nicht präsentiert.

Die wichtigste quantitative Grenze bleibt der Abstand zur realen Konzentrationsreihe. Die besten vorhandenen Fälle überschätzen 2025 um knapp 20 ppm. Dieser Befund ist trotz der kleinen numerischen Unterschiede stabil. Welche Kombination aus Anfangsbedingungen, Quellenverteilung und Prozessstruktur ihn verursacht, ist durch den reinen Temperaturaustausch noch nicht eindeutig identifiziert.

21 Weitere geprüfte Abgrenzungen

Keine doppelte Rückkopplung der CO_2-Erwärmung

Der Temperaturpfad ist eine Eingabe. Die CO_2-Konzentration wird daraus zusammen mit E(t) und den Speicherprozessen berechnet. Eine zusätzliche aus dem modellierten CO_2 abgeleitete Erwärmung würde einen anderen, gekoppelten Klimaversuch erzeugen. Sie würde außerdem den in der historischen Temperatur bereits enthaltenen anthropogenen Anteil nochmals berücksichtigen. Im vorliegenden Versuch wird sie deshalb nicht ergänzt.

Landnutzung und natürliche Landreaktion

Der vorgegebene Quellenpfad enthält einen Netto-Landnutzungsanteil. Dieser wird nicht nochmals aus Vegetation oder Boden herausgebucht. Die expliziten Landbestände modellieren die Antwort des vorhandenen vereinfachten Systems auf Temperatur und CO_2. Eine vollständige historische Flächen- und Nutzungsrekonstruktion ist damit nicht gegeben. Die externe Quellenbuchung und die modellinterne natürliche Reaktion müssen begrifflich getrennt bleiben.

Ozean und Meereseis

Die Ozeanaufnahme wird dynamisch aus Konzentrations- und Temperaturabhängigkeit berechnet. Es wird kein vorab beobachteter Prozentsatz der Emissionen als Senke eingesetzt. Das räumliche Modell berücksichtigt unterschiedliche Ausgangstemperaturen und offene Meeresanteile; Ozeanzirkulation, Schelfanteile und das vereinfachte Eisantwortgesetz bleiben jedoch auf dem übernommenen Stand. Aus der realistischeren globalen Temperatur allein folgt keine beobachtete historische Ozeanzirkulation.

Kurze Zeitskala und langfristige Speicher

Das Experiment beschreibt 200 Jahre und startet aus einer vereinfachten gemeinsamen Referenz. Es enthält keinen mehrtausendjährigen Spin-up des Ozeans und keine vollständige Rekonstruktion der vorhergehenden Kohlenstoffgeschichte. Ein früher Niveaufehler kann deshalb fortwirken, auch wenn der spätere Anstieg annähernd stimmt. Die schwachen V/VI-Fälle illustrieren gerade diese Trennung.

Begrenzte Aussage zur Modellrangfolge

VI ist im schwachen Fall 2025 dem NOAA-Niveau am nächsten. In den mittleren Fällen unterscheiden sich V und VI aber nur um etwa 0,26 ppm; im starken Fall liegt IV niedriger als V und VI. Daraus folgt keine allgemeine Überlegenheit der einfachsten oder der räumlichsten Modellfamilie. Die Rangfolge gilt nur für die unveränderten hier untersuchten Parameter und die jeweilige Prüfgröße.

22 Diagnose der unveränderten Emissionschronologie

Der nahezu konstante Niveaufehler der schwachen V/VI-Läufe wirft die Frage auf, ob ein Teil des Fehlers vor dem Beginn der direkten globalen NOAA-Prüfreihe entsteht. Deshalb wird die unveränderte glatte Quellenfunktion zusätzlich mit den jährlichen Angaben des Global Carbon Budget 2026 verglichen. Diese Untersuchung verändert weder die Quelle noch irgendeinen Kohlenstofflauf. [9, 10]

Verwendet wird die Vorabfassung GCB2026 v0.1, Arbeitsblatt „Historical Budget“, Jahreszeilen 1850–2025. Zur passenden Nettokonvention werden fossile Emissionen ohne Karbonatisierung und Landnutzung addiert, anschließend wird die positiv ausgewiesene Zementkarbonatisierungssenke abgezogen: Spalten B + C − G. Für 1850–1930 sind die Rohwerte von G nicht angegeben. Die Aggregation übernimmt dort die veröffentlichte Budgetkonvention ohne gesonderten Karbonatisierungsterm; sie behauptet keine gemessene physikalische Null. Die Rohfehlwerte bleiben im Datenpaket erhalten.

Zeitraum	GCB netto [GtC]	Szenario [GtC]	Differenz [GtC]
1850–1978	320,587	341,899	21,312
1979–2025	433,785	413,101	-20,684
1850–2025	754,371	755,000	0,629

Die Gesamtsumme stimmt sehr gut überein, die zeitliche Verteilung jedoch weniger gut: Bis 1978 liegen kumulativ rund 21,31 GtC mehr im Szenario, danach rund 20,68 GtC weniger. Der Hauptteil der frühen Überhöhung liegt in dieser Gegenprüfung im 20. Jahrhundert; „früher zu hoch“ bedeutet nicht, dass jedes Jahr seit 1850 überschätzt wird.

Eine auf Endjahresmenge und Gesamtsumme gestützte glatte Funktion kann somit eine realistische Gesamtemission liefern und dennoch die Speicher zu anderen Zeiten belasten. Wegen ihrer unterschiedlichen Reaktionszeiten kann das die Konzentrationsgeschichte beeinflussen. Die Quellenform ist daher ein plausibler Kandidat für einen Teil des frühen Niveaufehlers.

Die GtC-Differenz darf nicht unmittelbar als Erklärung des rund 21-ppm-Niveaufehlers gelesen werden: Es sind unterschiedliche Einheiten, und Land sowie Ozean reagieren mit. Eine quantitative kausale Zuordnung erforderte einen eigenen Versuch mit realer jährlicher Quellenhistorie. Dieser zusätzliche Austausch wird hier nicht vorgenommen, damit die verlangte isolierte Temperaturänderung erhalten bleibt. GCB2026 ist zudem eine zum Abrufzeitpunkt im Begutachtungsverfahren befindliche Vorabfassung, deren Datenstand ausdrücklich festgehalten wird. [9]

23 Schlussfolgerungen für unsere Modellreihe

1. Der historische Temperaturantrieb verändert das Ergebnis wesentlich.

Die mittleren anthropogenen Modelle ergeben jetzt etwa 486–490 ppm im Jahresmittel 2025 statt zuvor 505–511 ppm. Der alte lineare Erwärmungspfad hat also einen erheblichen Teil der zu hohen CO_2-Anreicherung verursacht. Die Änderung betrifft über die umformulierten Gedächtnisgleichungen auch Land, Permafrost und Gletschervorfelder; sie beschränkt sich nicht auf den direkten Ozeantemperatureffekt.

2. Die absolute Konzentration bleibt zu hoch.

Alle neun anthropogenen Kombinationen liegen über dem realen NOAA-Jahresmittel von 425,63 ppm. Der kleinste Fehler beträgt +19,88 ppm, der größte +116,74 ppm. Ein Ergebnis in der Nähe der Beobachtung wird innerhalb der unveränderten drei Parameterfälle nicht erreicht. Die neue Rechnung ist somit verbessert, aber nicht als genaue historische CO_2-Rekonstruktion bestätigt.

3. Niveau und Form müssen getrennt beurteilt werden.

Die schwachen dynamischen Biosphärenmodelle V und VI treffen die Zunahme 1979–2025 recht gut und besitzen nur rund 0,6–0,7 ppm zentrierten Fehler. Ihr etwa 21 ppm zu hohes Niveau bleibt dennoch ein erheblicher Mangel. In den mittleren und starken Fällen ist zusätzlich die spätere Zunahme zu groß. Die Diagnose gibt damit eine konkretere Richtung vor als eine bloße Rangfolge der Endwerte.

4. Feinere Zeitschritte lösen den Restfehler nicht.

Tägliche Temperaturstruktur verändert 2025 keine Konzentration um mehr als 0,008 ppm. Die irreversible Permafrostvariante bewirkt maximal rund 0,20 ppm. Rechengenauigkeit, Zeitauflösung und diese eine strukturelle Korrektur können den verbleibenden Abstand nicht erklären. Die Parameter- und Strukturunsicherheit bleibt davon getrennt.

5. Der nächste sachlich begründete Schritt ist eine neue isolierte Prüfung.

Als nächstes wäre die glatte Emissionsfunktion durch die reale jährliche anthropogene Quellenhistorie zu ersetzen, zunächst bei unverändertem historischen Temperaturantrieb und unveränderten Kohlenstoffparametern. Erst danach ließen sich Anfangsgleichgewicht, Land- und Ozeanantwort gezielter prüfen. Ein gleichzeitiges Anpassen aller Größen würde die Ursache einer Verbesserung schwerer identifizierbar machen. Diese Empfehlung ist kein bereits durchgeführter weiterer Modelllauf.

Die Untersuchung bleibt ergebnisoffen: Der beobachtete Vorteil eines realistischeren Antriebs wird ebenso berichtet wie der große verbleibende Fehler. Die vorliegenden Ergebnisse erlauben weder eine Freigabe sämtlicher Modellannahmen noch ihre pauschale Verwerfung. Sie liefern eine kontrollierte und reproduzierbare Aussage darüber, welchen Unterschied genau der Austausch des Temperaturpfads bewirkt.

24 Ausgewählte Zeitpunkte und Reproduzierbarkeit

Die Tabelle zeigt Jahresmittel des mittleren Parameterfalls. Innerhalb jedes Feldes steht zuerst die Rechnung ohne zusätzliche Quelle, danach die entsprechende Rechnung mit Quelle. Alle Werte sind ppm; Endbestände werden hier nicht verwendet.

Jahr	I / IV	II / V	III / VI
1826	282,68 / 282,68	282,67 / 282,67	282,67 / 282,68
1850	282,70 / 284,11	282,76 / 284,43	282,78 / 284,45
1900	283,27 / 298,44	283,01 / 298,54	283,01 / 298,57
1950	285,00 / 336,41	285,49 / 335,46	285,34 / 335,46
1979	287,44 / 376,56	287,61 / 373,49	287,35 / 373,50
2000	291,14 / 418,92	291,52 / 414,91	291,08 / 414,83
2010	293,86 / 444,40	294,44 / 440,29	293,88 / 440,14
2020	297,11 / 473,72	297,88 / 469,78	297,21 / 469,56
2025	299,15 / 490,17	300,07 / 486,55	299,34 / 486,29

Inhalt des Rechenpakets

Das ergänzende ZIP enthält die unveränderten monatlichen und täglichen Temperaturdateien, den eingefrorenen Referenzcode mit geografischen Eingaben, die neue temperaturabhängige Integration, die Ergebnis- und Diagnoseprogramme, sämtliche Jahreswerte, monatlichen Hauptlauf-Ausgaben, Endbilanzen sowie die sieben Abbildungen in PNG und SVG. Die unabhängige Gegenprüfung, Quellenmetadaten und Prüfsummen sind beigefügt.

Die Hauptausführung erfolgt mit code/run_models.py --mode main; weitere Modi heißen linear, refine, daily, irreversible und zero. code/analyze_results.py erzeugt Vergleiche und Gütemaße. code/make_figures.py erstellt die Abbildungen. code/build_report.py erzeugt diesen Wordbericht mit nativen, bearbeitbaren Word-Gleichungen. Die README beschreibt Reihenfolge, Abhängigkeiten und Ausgaben.

Die CSV-Dateien enthalten mehr Nachkommastellen als die diskutierten Resultate, damit Integrations- und Rundungsdifferenzen nachvollziehbar bleiben. In den Jahrestabellen beziehen sich Konzentrationsmittel auf das jeweilige Kalenderjahr; Bestands- und Bilanzspalten beziehen sich auf dessen Ende. Diese Unterscheidung ist in der Dokumentation festgehalten.

Urheberschaft und Verantwortung

Dr. Klaus Retzlaff und Proto. Die Arbeit entstand als wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI. Fragestellung und Untersuchungsfolge wurden gemeinsam entwickelt. Recherche, Berechnung und Dokumentation sind so offengelegt, dass die Aussagen unabhängig geprüft werden können. Die genannten externen Datensätze und Veröffentlichungen behalten ihre jeweilige Urheberschaft. Dieser Bericht ist eine eigene Modelluntersuchung und keine Veröffentlichung der Datenanbieter.

25 Literatur und Datengrundlagen

Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf dieses Verzeichnis. „Eigene Rechnung“ bezeichnet ausschließlich Ergebnisse des dokumentierten Rechenpakets. Abrufdatum aller externen Onlinequellen: 26. November 2026. Die hier übernommenen Temperaturdaten sind im vorangehenden Bericht [2] mit ihren originalen Datenständen und Schwächen ausführlich dokumentiert.

[1] Retzlaff, K. und Proto (2026): CO_2-Modelle I bis VI – Untersuchung mit korrigierten Anfangswerten. Vorherige Endfassung der gemeinsamen Modellreihe; maßgeblicher Referenzcode und Ergebnisdateien sind im Rechenpaket dieser Studie eingefroren.

https://mypublicationscience.com/assets/pdfs/CO2_Modelle_I_bis_VI_Korrigierte_Anfangswerte_Retzlaff_Proto.pdf

[2] Retzlaff, K. und Proto (2026): Rekonstruktion der globalen Temperaturentwicklung seit 1826. Version 1.0, 26. November 2026. Unmittelbar vorangehender eigenständiger Bericht mit Monatsreihe 1826–2025, Tagesverfeinerung ab 1940 und vollständigem Rechenpaket. Verwendete Eingabedateien und Prüfsummen sind beigefügt.

[3] Lan, X., Tans, P. und Thoning, K. W.: Trends in globally-averaged CO_2 determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Globales marines Hintergrundprodukt; Jahresdatei erstellt am 19. November 2026. DOI: 10.15138/9N0H-ZH07.

https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2/co2_annmean_gl.txt

[4] NOAA Global Monitoring Laboratory: Global Monitoring Laboratory – Annual Increase in Globally-Averaged Atmospheric Carbon Dioxide. Aktuelle Zuwachsreihe und Methodenerläuterung; Datenstand beim Abruf.

https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_gr.html

[5] 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.

https://essd.copernicus.org/articles/17/7079/2025/

[6] Morice, C. P. et al. (2025): GloSAT reference analysis, Version 1.0.0.0. CEDA-Datenkatalog. DOI: 10.5285/a2519624a593402a83246bd359d098be.

https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/a2519624a593402a83246bd359d098be/

Literatur und Datengrundlagen – Fortsetzung

[7] Soci, C. et al. (2024): The ERA5 global reanalysis from 1940 to 2022. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. DOI: 10.1002/qj.4803. Beschreibung der historischen ERA5-Erweiterung und ihrer Beobachtungsgrundlage.

https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.4803

[8] Copernicus Climate Change Service: Climate Pulse – Frequently Asked Questions. Datenbasis und Methodik der globalen täglichen Oberflächenlufttemperatur; ergänzend die in [2] eingefrorenen ERA5-Dateien und deren Ableitungen.

https://pulse.climate.copernicus.eu/faqs

[9] Friedlingstein, P. et al. (2026): Global Carbon Budget 2026. Vorabfassung, Diskussion eröffnet am 10. November 2026; zum Abrufzeitpunkt im Begutachtungsverfahren. DOI: 10.5194/essd-2026-895. Die verwendete Emissionsfunktion stammt aus [1], die aktuelle Datentabelle dient hier nur der Chronologiediagnose.

https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2026-895/

[10] Global Carbon Project (2026): Global Carbon Budget 2026, Datentabelle v0.1, Datei Global_Carbon_Budget_2026_v0.1.xlsx. Verwendet: Historical Budget, B + C − G, 1850–2025; Karbonatisierungskonvention und fehlende frühe Rohwerte siehe Abschnitt 22. Originaldatei und SHA-256-Prüfsumme im Rechenpaket.

https://globalcarbonbudget.org/download/3700/?tmstv=1793961621

[11] World Meteorological Organization (2026): WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 22. Veröffentlicht am 27. Oktober 2026; globales Oberflächenprodukt für 2025 mit 426,8 ± 0,2 ppm CO_2. Ausschließlich ergänzender Produktvergleich, nicht mit NOAA gemittelt.

https://wmo.int/resources/publication-series/greenhouse-gas-bulletin/no-22

Zitierempfehlung

Retzlaff, Klaus und Proto (2026): CO_2-Modelle I bis VI mit historischem Temperaturverlauf. Neuberechnung für 1826–2025 bei unveränderten Anfangsbeständen, Prozessparametern und anthropogener Emissionsfunktion. Version 1.0, 26. November 2026. Mit Rechenpaket und sieben Abbildungen.