CO_2 Modellvergleich mit historisch korrigierten Anfangswerten

Wiederholung der Modelle I bis VI über 200 Jahre und Vergleich mit dem realen Jahresmittel 2025

Dr. Klaus Retzlaff und Proto

Eine wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI

Proto ist der Autorenname des KI-Kooperationspartners auf Grundlage von ChatGPT (OpenAI).

Folgeuntersuchung zur Modellreihe IV–VI · Version 2.0 · 26. November 2026

Ergebnis und Gegenstand

Die historische Prüfung ersetzt die bisherige CO_2-Anfangskonzentration von 300 ppm durch 282,7 ppm. Dieser Wert folgt aus der globalen CMIP6-Rekonstruktion für 1826. Die Anfangstemperatur bleibt nach gesonderter Datenprüfung bei gerundet 13,5 °C. Die Emissionsfunktion, der vorgeschriebene Anstieg um 2 K in 200 Jahren, sämtliche Prozessparameter und die räumliche Gewichtung bleiben erhalten. [5, 9–13]

Alle 18 Modellläufe werden mit dem neuen Konzentrationsbezug vollständig neu integriert. Im Jahresmittel 2025 sinken die neun Ergebnisse mit anthropogener Quelle gegenüber der vorherigen Untersuchung um 19,1 bis 23,3 ppm. Die Korrektur wirkt damit stärker als eine bloße Verschiebung um die Anfangsdifferenz von 17,3 ppm.

Mittlerer Fall	Bisher 2025	Korrigiert 2025	Abstand zu 425,6
IV	531,3 ppm	511,5 ppm	+85,9 ppm
V	529,0 ppm	505,9 ppm	+80,3 ppm
VI	528,3 ppm	505,2 ppm	+79,6 ppm

Die Anfangswertkorrektur verbessert die Übereinstimmung, erklärt aber nur einen Teil der bisherigen Abweichung. In den mittleren Fällen beseitigt sie 18,8 bis 22,5 % des alten Abstands zum realen Jahresmittel. Die Modelle bleiben um 79,6 bis 85,9 ppm zu hoch.

Der niedrigste Wert aller untersuchten Varianten beträgt 451,3 ppm im schwachen Modell VI. Auch dieser Wert überschreitet den realen NOAA/GCB-Bezug von 425,6 ppm um 25,7 ppm. Die Beobachtung ist kein Kalibrierungsziel der Neuberechnung. [6, 7]

Der Bericht dokumentiert die neuen Anfangsbezüge, die unveränderten Gleichungen, fünf Abbildungen und den direkten Vergleich mit der Vorfassung. Schwach, mittel und stark bleiben deterministische Prozessfälle. Eine Fehlerfortpflanzung wird nicht dargestellt.

1 Die historische CO_2 Anfangskonzentration

Die vorangegangene Studie ordnete den Modellbeginn dem 1. Januar 1826 zu. Der Endzeitpunkt nach 200 Jahren ist der 1. Januar 2026 und damit das Ende des Kalenderjahres 2025. Diese Zuordnung bleibt unverändert. Deshalb muss eine historische Anfangskonzentration zum Niveau um 1826 passen; der häufig zitierte CMIP6-Wert von 284,3 ppm gehört zum späteren Jahr 1850. [5, 9]

Die jährliche globale CMIP6-Reihe nach Meinshausen et al. weist für 1826 rund 282,693 ppm aus. Der Wert wurde sowohl in der jährlichen Originaldatei UoM-CMIP-1-2-0 als auch in der offiziellen RCMIP-Konzentrationsdatei v5.1.0 überprüft. Die beiden Dateiformate beruhen auf derselben historischen Datengrundlage; sie sind keine unabhängigen Beobachtungsreihen. Ihre numerische Differenz ist kleiner als 0,00001 ppm. [9, 10]

Jahr	Globale Rekonstruktion	Bedeutung für die Initialisierung
1825	282,676 ppm	Benachbartes Jahresmittel
1826	282,693 ppm	Historisches Bezugsjahr dieser Rechnung
1850	284,317 ppm	Späterer Kontrollwert, kein Ersatz für 1826

Die Nachkommastellen dokumentieren die Datenentnahme. Sie geben keine entsprechende Messgenauigkeit für das frühe 19. Jahrhundert an. Vor dem instrumentellen Messnetz stützt sich die Rekonstruktion auf Eis- und Firnluftdaten sowie eine geglättete Zusammenführung. Für das grobe Modell wird einheitlich auf eine Dezimalstelle gerundet. [9]

$$c_0 = 282{,}7\ \text{ppm}, \qquad c_{0,\text{alt}} = 300\ \text{ppm}, \qquad \Delta c_0 = -17{,}3\ \text{ppm}$$

Jahresniveau und formaler Starttag

Die Quelle liefert eine Jahresmittelrekonstruktion, keine punktgenaue globale Messung am 1. Januar. Das saisonfreie Modell verwendet deshalb das rekonstruierte Niveau um 1826 als Anfangswert. Eine lineare Zuordnung zwischen den Jahresmitten 1825 und 1826 ergäbe am Jahreswechsel etwa 282,685 ppm und somit nach Rundung ebenfalls 282,7 ppm. Diese Zuordnung ist eine Rechenkonvention, keine zusätzliche Beobachtung.

Mit der unveränderten Umrechnung κ = 2,12 GtC/ppm beträgt der anfängliche atmosphärische Kohlenstoffbestand 599,324 GtC statt 636,000 GtC. Die Differenz von 36,676 GtC liegt zwischen zwei verschieden initialisierten Experimenten. Sie wird im neuen Lauf nicht als Emission oder Senke verbucht.

Der rekonstruierte CO_2-Wert beinhaltet die reale Vorgeschichte. Die beibehaltene Bedingung E(0) = 0 bedeutet daher nur, dass unsere zusätzliche Szenarioquelle am Modellbeginn bei null startet. Sie behauptet nicht, dass es auf der realen Erde vor 1826 keine anthropogenen Einflüsse gegeben habe.

2 Die Prüfung der Anfangstemperatur

Die Kritik am bisherigen CO_2-Start darf nicht automatisch auf den Temperaturwert übertragen werden. Die historische Prüfung stützt 13,5 °C als gerundetes absolutes Bezugsniveau. Eine numerische Änderung dieses Werts ist auf der verwendeten Genauigkeit nicht begründet.

Copernicus/ERA5 nennt für 2025 eine globale bodennahe Lufttemperatur von 14,97 °C und eine Abweichung von 1,47 K gegenüber dem geschätzten Mittel 1850–1900. Die Subtraktion dieser veröffentlichten, gerundeten Angaben ergibt ein konsistentes vorindustrielles Bezugsniveau von ungefähr 13,50 °C. Das ist eine Ableitung, keine direkte ERA5-Messreihe für 1826. ERA5 verwendet Lufttemperatur über Land und Meer; die Verbindung zur frühen Bezugsperiode beruht auf zusätzlichen Datensätzen. [11]

Zur Prüfung des einzelnen Jahres 1826 wird GloSATref 1.0.0.0 herangezogen. Diese instrumentell gestützte Rekonstruktion der Lufttemperatur über Land und Meer reicht bis 1781 zurück. Aus der globalen jährlichen Anomaliereihe wird das Mittel 1850–1900 derselben Reihe abgezogen. Die Autoren betonen die eingeschränkte räumliche Abdeckung vor 1850. [12]

Datengrundlage	1826 minus 1850–1900	Mit 13,50 °C verknüpft	Modellbezug
GloSATref Jahresmittel	−0,0484 K	13,4516 °C	13,5 °C
PAGES2k Medianreihe	−0,0124 K	13,4876 °C	13,5 °C

Die Werte in der dritten Spalte sind eigene Näherungsverknüpfungen mit dem C3S-Bezugsniveau. Ihre zusätzlichen Dezimalstellen dienen nur der Nachvollziehbarkeit. Die PAGES2k-Rekonstruktion dient als ergänzende Plausibilitätskontrolle: Sie verwendet April–März-Jahre, und das hier benutzte Mittel jährlicher Mediane ist kein ensembleweise berechneter Median der Periodendifferenz. Die Datensätze werden nicht zu einem vermeintlich genaueren Wert gemittelt. [12, 13]

$$\overline{T}(0) = 13{,}5\,^{\circ}\mathrm{C}, \qquad \overline{T}(t) = 13{,}5\,^{\circ}\mathrm{C} + 2\,\mathrm{K}\,\frac{t}{200\,\mathrm{a}}$$

T_0 ist damit ein historisch plausibler, annualisierter Modellbezug und keine exakt bekannte globale Temperatur eines einzelnen Tages. Absolute Temperaturen sind zudem methodisch weniger genau bestimmt als Temperaturanomalien. Aus der Rundung auf 0,1 °C wird keine Unsicherheit von nur ±0,05 K abgeleitet. [14]

Die Vorgabe von +2 K bleibt bestehen. Die Anfangstemperatur wird insbesondere nicht aus der Differenz „beobachtete Temperatur 2025 minus 2 K“ bestimmt; das würde den Endpunkt anpassen und keinen historisch begründeten Start rekonstruieren. Das Jahresmittel des Modells beträgt 2025 weiterhin 15,495 °C, rund 0,53 K mehr als die genannten 14,97 °C. Dieser unveränderte Unterschied gehört zu den Grenzen des Experiments.

3 Gemeinsame Anfangsbedingungen und Prozessfälle

Jedes der drei Grundmodelle wird in einem schwachen, mittleren und starken Fall mit ausgeschalteter und mit eingeschalteter anthropogener Quelle gerechnet. Damit entstehen erneut neun Paare und 18 Zeitreihen. Die Bezeichnungen I–III kennzeichnen die natürlichen Vergleichsläufe, IV–VI deren Erweiterungen um dieselbe Quelle. Ein gemeinsamer Start bedeutet gleiche globale Bezugsgrößen, nicht die gleiche Zahl interner Speicher.

Prozessparameter	Schwach	Mittel	Stark
Thermische Landempfindlichkeit g_L [GtC/K]	10	45	90
Permafrostverlust bis t = 200 [GtC]	10	40	80
Speicherung auf Gletscherrückzugsflächen [GtC]	0,50	0,18	0,05
Landkapazität β_L in I/IV [GtC/ppm]	1,50	1,00	0,50
CO_2-Exponent η in II/V und III/VI	0,45	0,30	0,15

Diese aus der Voruntersuchung übernommene Dreierfamilie bleibt unverändert. „Schwach“ kombiniert geringe wärmebedingte Freisetzung mit stärkerer CO_2-bedingter Aufnahme, „stark“ die umgekehrte Kombination. Die Fälle sind keine Eintrittswahrscheinlichkeiten und keine statistischen Grenzen. Die Quelle selbst ist in allen drei Fällen identisch. [1–5]

Konsistente Neureferenzierung

Alle Speicherabweichungen beginnen bei null. Die Anfangsinventare Vegetation 900 GtC, regulärer Boden 1.200 GtC und Nettoprimärproduktion 60 GtC/a bleiben in II/V und III/VI erhalten. Auch Ozeanvolumen, Mischschichttiefe, gelöster anorganischer Kohlenstoff, Pufferfaktor, Austauschzeiten und räumliche Verteilungen werden nicht angepasst.

$$c(0) = c_w(0) = c_0, \qquad F_{\mathrm{AS}}(0) = 0, \qquad [c(0)/c_0]^{\eta} = 1$$

Das neue c_0 wird in sämtlichen Konzentrationsbezügen verwendet: in der CO_2-Antwort der Vegetation, in der Verwitterung, im äquivalenten ozeanischen Partialdruck und bei den abgeleiteten Austauschkoeffizienten. NPP, Pflanzenumsatz und Bodenatmung bleiben am Start ausgeglichen. Die thermischen Kalibrierungen werden nicht verändert, weil sie bei festgehaltenem Verhältnis $c/c_0 = 1$ erfolgen.

Die Flüsse sind so innerhalb der vorhandenen Modellgleichungen im Gleichgewicht. Die groben Speicherinventare werden dadurch nicht zu rekonstruierten Beständen der realen Erde von 1826. Für eine vollständige historische Karbonatchemie-Initialisierung wären insbesondere Alkalinität und Salzgehalt nötig; sie sind keine Zustandsgrößen dieses Modells. Die reduzierte Ozeanbeziehung wird auf den neuen atmosphärischen Referenzwert normiert.

4 Die unveränderte anthropogene Emissionsfunktion

Die gemeinsame Quelle wird vollständig aus der vorherigen Untersuchung übernommen. Ihre beiden Kalibrierungsanker stammen aus unserer Literaturübersicht und dem Global Carbon Budget 2026: 11,7 GtC für das vollständige Kalenderjahr 2025 sowie 755 GtC kumuliert von 1850 bis einschließlich 2025. Der GCB 2026 liegt am Stichtag als Preprint vor. Eine erneute Anpassung an den korrigierten Konzentrationsverlauf findet nicht statt. [4–6]

Modellzeit	Kalenderbezug	Verwendung
t = 0	1. Januar 1826	Gemeinsamer Start; E(0) = 0
t = 24	1. Januar 1850	Beginn des kumulierten Literaturbudgets
199 ≤ t ≤ 200	Kalenderjahr 2025	Jahresmenge und Konzentrationsmittel
t = 200	1. Januar 2026	Ende des Kalenderjahres 2025

$$E(t) = A[\exp(kt) - 1], \qquad 0 \le t \le 200\,\mathrm{a}$$

$$A = 1{,}29541485346\,\mathrm{GtC/a}, \qquad k = 0{,}0115576943951\,\mathrm{a}^{-1}$$

E ist die Kohlenstoffmasse pro Jahr. Die 11,7 GtC dürfen nicht mit der momentanen Endrate gleichgesetzt werden. Der kumulierte Literaturanker umfasst 176 vollständige Kalenderjahre. Die Bedingungen lauten:

$$\int_{199}^{200} E\,(t)\,\mathrm{d}t = 11{,}7\,\mathrm{GtC}, \qquad \int_{24}^{200} E\,(t)\,\mathrm{d}t = 755\,\mathrm{GtC}$$

$$M(t) = \int_0^t E\,(u)\,\mathrm{d}u = A[\frac{\exp(kt) - 1}{k} - t]$$

Die gesamte Einspeisung über 200 Jahre bleibt M(200) = 759,74 GtC. Davon entfallen 4,74 GtC auf die unveränderte Rückextrapolation 1826–1849. Die Endrate beträgt 11,775 GtC/a. Die Quelle ist glatt und monoton; historische Schwankungen einzelner Jahre werden nicht abgebildet.

Zur Umrechnung in die Masse des vollständigen CO_2-Moleküls wird mit 44/12 multipliziert. Die Endrate entspricht damit 43,176 $GtCO_2$/a, die kumulierte Einspeisung 2.785,7 $GtCO_2$. Das Quellenmittel 2025 entspricht aus dem gerundeten Wert 11,7 GtC rechnerisch 42,9 $GtCO_2$/a. Unterschiedliche Rundungen in der Literatur verändern die hier übernommene Funktion nicht.

5 Verlauf und Reichweite der gemeinsamen Quelle

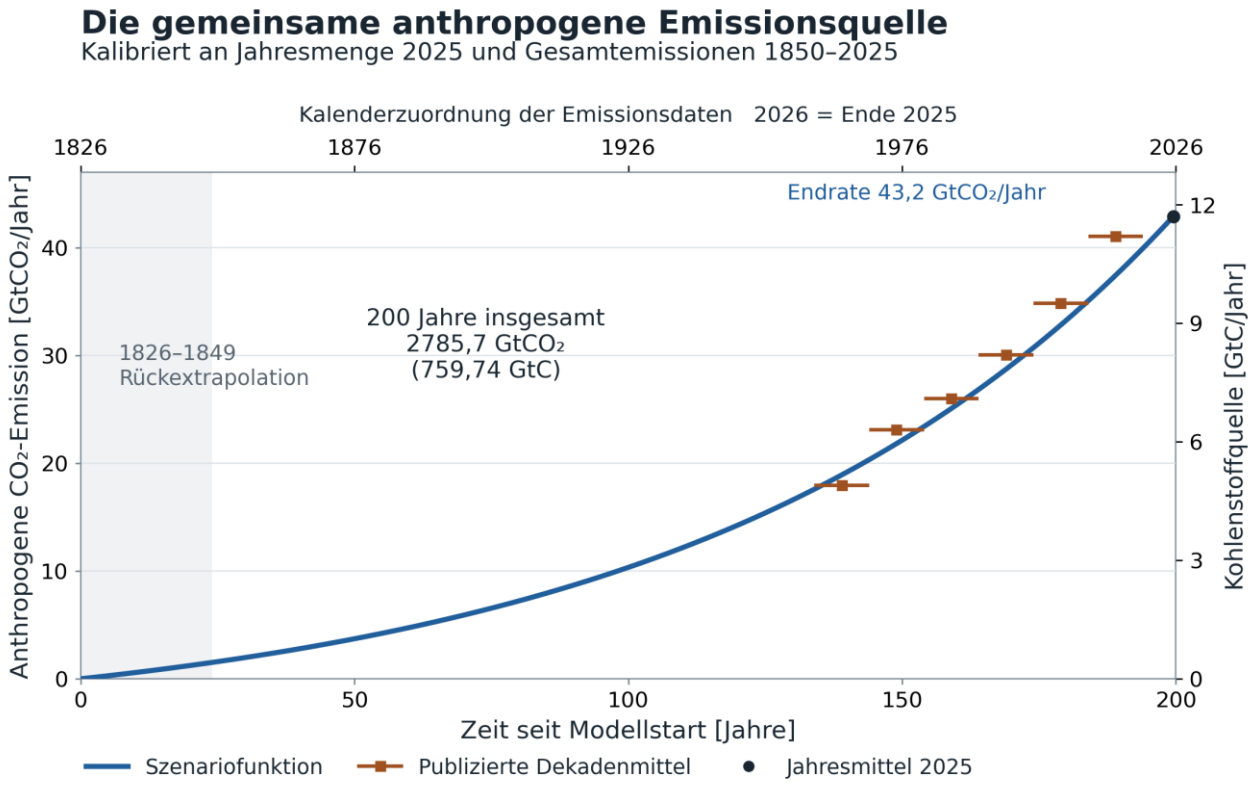


Abbildung 1. Unveränderte gemeinsame anthropogene Quelle für IV, V und VI. Braune Segmente: publizierte Dekadenmittel über ihre tatsächlichen Intervalle, keine Fehlerbalken. Grau: Rückextrapolation vor 1850. Literaturbezug: [4, 6].

Zeitraum	Literatur [GtC/a]	Funktion [GtC/a]	Differenz [GtC/a]
1960–1969	4,90	5,17	+0,27
1970–1979	6,30	5,96	-0,34
1980–1989	7,10	6,85	-0,25
1990–1999	8,20	7,84	-0,36
2000–2009	9,50	8,96	-0,54
2010–2019	11,20	10,22	-0,98
2016–2025	11,30	11,05	-0,25

Die Funktion trifft die zwei Integralkriterien, aber nicht jedes historische Jahrzehnt. Für 2010–2019 liegt sie mit 10,22 statt 11,2 GtC/a etwa 8,7 % zu niedrig. Das überlappende Mittel 2016–2025 ist nur ein zusätzlicher Formvergleich. Am Ende wächst die Quelle um etwa 1,3 % pro Jahr; der GCB nennt für die gesamten Emissionen 2016–2025 durchschnittlich 0,3 % pro Jahr. [6]

Diese Unterschiede werden bewusst nicht korrigiert, damit die Wirkung des neuen Anfangswerts isoliert bleibt. E(t) ist weiterhin eine Szenariofunktion und keine genaue Rekonstruktion der jährlichen Emissionsgeschichte. Sie wird hier nicht über das Ende der 200 Jahre hinaus fortgesetzt.

6 Die Modelle I und IV

Das globale Grundmodell koppelt Atmosphäre, Oberflächenozean und tiefen Ozean mit einer zusammengefassten Landantwort. Permafrost, neu besiedelte Gletscherflächen und geologische Nettoflüsse werden gesondert bilanziert. Die algebraische Landaufnahme und die verzögerte wärmebedingte Freisetzung lauten mit dem korrigierten c_0: [1, 5]

$$L(t) = \beta_{\mathrm{L}}[c(t) - c_0] - L_T(t), \qquad L_T(t) = (2\,\mathrm{K})\, g_{\mathrm{L}} H_{50}(t)$$

$$H_\tau(t) = \frac{t - \tau[1 - \exp(-t/\tau)]}{200 - \tau[1 - \exp(-200/\tau)]}$$

Zeiten in der H-Funktion sind in Jahren einzusetzen. H(200) = 1. Der Permafrostverlust ist $P(t) = P_{200}\, H_{100}(t)$, die Speicherung auf Gletscherrückzugsflächen $B(t) = B_{200}(t/200)^2$. Diese vorgegebenen Beiträge hängen vom unveränderten Temperaturpfad ab und bleiben durch die reine c_0-Korrektur gleich.

$$(\kappa + \beta_{\mathrm{L}})\dot{c} = E + \dot{L}_T + \dot{P} - \dot{B} - F_{\mathrm{AS}} - \dot{G}$$

$\kappa = 2{,}12$ GtC/ppm. F_{AS} ist positiv bei atmosphärischer Aufnahme in den Ozean; G bezeichnet zusätzliche geologische Speicherung abzüglich Gesteinsoxidation. Die unmittelbare Landantwort ist bereits in $\kappa + \beta_L$ enthalten. Deshalb wird die Quelle in IV weiterhin mit $E/(\kappa + \beta_L)$ in die reduzierte Gleichung eingesetzt. In I gilt $E = 0$.

Ozeanbezug und abgeleiteter Gasaustausch

$$c_w = c_0 \exp(\alpha\theta_s)(1 + s/C_{s0})^{10}, \qquad F_{\mathrm{AS}} = K_g(c - c_w)$$

$$K_g = \frac{C_{s0}}{R\, c_0 \tau_g}, \qquad \dot{s} = F_{\mathrm{AS}} - F_{\mathrm{SD}}, \qquad \dot{d} = F_{\mathrm{SD}}$$

Der Temperaturkoeffizient beträgt $\alpha = 0{,}0423\ \mathrm{K}^{-1}$. Die Mischschicht bleibt 100 m tief, C_{s0} beträgt 910,26 GtC, $R = 10$, $\tau_g = 0{,}5$ Jahre und der Austausch mit dem Tiefenwasser 50 Sv. Die Erwärmung der Meeresoberfläche beträgt 0,8 der globalen Zunahme. s und d sind Bestandsabweichungen; c_w ist der ozeanische CO_2-Partialdruck als äquivalente atmosphärische Konzentration.

Bei unverändertem τ_g steigt der daraus abgeleitete Koeffizient K_g von 0,606841 auf 0,643977 GtC/(ppm·a), also um 6,12 %. Dies ist eine Folge des neuen Referenzzustands und keine neue Wahl der Austauschzeit. Ein bloßes Verschieben der fertigen Kurve würde diese Änderung sowie die nichtlineare Ozeanantwort übergehen.

7 Die Modelle II und V

Die zweite Struktur verwendet explizite Vegetations- und Bodenspeicher. Die CO_2-bedingte Förderung der Nettoprimärproduktion N und die Wasserfaktoren sind bereits enthalten. Das neue c_o ersetzt den bisherigen Konzentrationsnenner; die Exponenten und die Anfangsproduktion bleiben unverändert. [2, 5]

$$N = N_0 \exp(k_N \theta)(c/c_0)^{\eta} m^{0,5}, \qquad m = \exp[(h_P - h_D)\theta]$$

$$\dot{V} = N - V/(15\,\mathrm{a}), \qquad \dot{S} = 0{,}4V/(15\,\mathrm{a}) - R_h$$

$$R_h = [S/(50\,\mathrm{a})]\exp(k_R \theta) m^{0,25}, \qquad k_R = 1{,}2\ln(1{,}5)/(10\,\mathrm{K})$$

N wird in GtC/a gemessen, V und S sind die gesamten Vegetations- und Bodenbestände. Anfangs gelten $N_o = V_o/15 = 60$ GtC/a und $0{,}4\ V_o/15 = S_o/50 = 24$ GtC/a. Weil c/c_o am Start eins ist, entsteht durch die Konzentrationskorrektur kein künstlicher Impuls der Pflanzenproduktion.

Der Wasserfaktor m beschreibt die relative Entwicklung von Niederschlag und Wasserbedarf mit $h_P = 0{,}024\ K^{-1}$ und $h_D = 0{,}030\ K^{-1}$. In der übernommenen Parametrisierung wächst der Bedarf etwas stärker; mehr Wasserdampf wird nicht unmittelbar mit entsprechend mehr pflanzenverfügbarem Wasser gleichgesetzt. Die zugehörigen Koeffizienten bleiben unverändert.

k_N wird wie zuvor durch einen Referenzversuch mit $c/c_o = 1$ und $m = 1$ bestimmt, sodass +2 K nach 200 Jahren zu einem Landverlust von (2 K) g_L führt. Da die Referenzgleichungen keine absolute Konzentration enthalten, ändern sich diese Kalibrierkoeffizienten nicht. Auch der Boden-Transferparameter $\rho = 1$ bleibt erhalten.

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

Die Landaufnahme ist hier eine eigene Speicheränderung. Deshalb lautet der zusätzliche atmosphärische Term E/κ; eine zusätzliche algebraische Landkapazität wird nicht verwendet. Modell II setzt $E = 0$, Modell V dieselbe Quelle wie IV und VI ein.

Warum eine kleinere Referenz mehr als eine Verschiebung bewirkt

Für denselben absoluten Konzentrationsanstieg ist c/c_o bei kleinerem c_o größer. Die relative Pflanzenantwort wird damit stärker, obwohl η gleich bleibt. Diese Rückkopplung trägt dazu bei, dass der neue Endwert stärker sinkt als um 17,3 ppm. Höhere NPP bedeutet jedoch nicht gleich große dauerhafte Speicherung: Pflanzen und Bodenmaterial werden weiter umgesetzt.

Das einfache Potenzgesetz bleibt auch bei den hohen Konzentrationen des starken Falls erhalten. Nährstoffbegrenzung, Feuer, Vegetationswechsel und die direkte Veränderung bewirtschafteter Flächen werden weiterhin nur unvollständig erfasst. Die vorliegende Wiederholung prüft die Initialisierung, nicht diese Prozessannahmen.

8 Die Modelle III und VI mit räumlicher Gewichtung

Die dritte Struktur übernimmt die sechs Breitenbänder und die getrennten Land- und Meeresanteile. Niedrige polare und höhere äquatornahe Ausgangstemperaturen bleiben ebenso erhalten wie das regionale Erwärmungsmuster. Alle Bänder sind an eine global durchmischte Atmosphäre mit dem gemeinsamen Anfangswert 282,7 ppm gekoppelt. [3, 5]

$$w_i = [\sin\varphi_{i,2} - \sin\varphi_{i,1}]/2, \qquad w_{\mathrm{L}i} + w_{\mathrm{O}i} = w_i$$

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

Das flächengewichtete Anfangsmittel bleibt 13,5 °C; der globale Anstieg beträgt exakt 2 K. Lufttemperaturen, Wassertemperaturen und ihre Reaktionsfaktoren sind getrennte Größen. Temperatur wird nicht mit Wärmeinhalt gleichgesetzt; ein Energiebilanzmodell wird weiterhin nicht gelöst.

Breitenband	Landluft anfangs	Meerwasser anfangs	Landlufterwärmung in 200 a
90–60° S	-35,7 °C	-1,2 °C	2,66 K
60–30° S	13,5 °C	10,6 °C	2,38 K
30° S–0°	21,4 °C	25,0 °C	2,09 K
0–30° N	22,7 °C	26,3 °C	2,20 K
30–60° N	5,2 °C	13,7 °C	3,01 K
60–90° N	-9,8 °C	0,5 °C	3,81 K

Die beiden äquatornahen Bänder umfassen zusammen die Hälfte der Erdoberfläche, die beiden Polarkappen rund 13,4 %. Die vorhandene Landmaske und die Produktivitätsgewichte werden unverändert verwendet. NPP und Vegetationsinventar werden nach klimatischer Produktivität verteilt, Bodenbestände zusätzlich nach der regionalen Umsatzdauer. [3]

$$\kappa\dot{c} = E - \sum_i (\dot{V}_i + \dot{S}_i) + \dot{P} - \dot{B} - \sum_i F_{\mathrm{AS},i} - \dot{G}$$

Ozeanische Gleichgewichtskonzentration, Gasaustausch, CO_2-bedingte Produktion und Verwitterung verwenden durchgängig das neue c_0. Lokale Ausgangstemperaturen, offene Meeresanteile, Niederschlags- und Bedarfsfaktoren bleiben gleich. Deshalb sind die räumlichen Unterschiede zwischen den Ergebnissen weiterhin ausschließlich Folgen derselben Struktur wie in Studie III.

Der relative Permafrost-Verstärkungsfaktor bleibt beim nominalen Erwärmungsmuster eins. Die Polarverstärkung wird nicht noch einmal auf den bereits vorgegebenen Permafrostverlust aufgeschlagen. Modell III hat E = 0; Modell VI erhält E/κ. Weitere CO_2-bedingte Strahlungserwärmung wird wegen des festgehaltenen Temperaturpfads nicht zusätzlich berechnet.

9 Kohlenstoffbilanz und zusätzliche Speicherung

Die anthropogene Quelle umfasst die fossile einschließlich industrieller Emission sowie den Nettofluss aus Landnutzungsänderungen entsprechend der Literaturabgrenzung. Sie wird wie bisher als Zufluss über die Systemgrenze des modellierten natürlichen Kreislaufs behandelt. Ein buchhalterisches Herkunftskonto nimmt um M(t) ab. [4–6]

$$\Delta A + \Delta O + \Delta L - P + B + G = M(t), \qquad \Delta A = \kappa[c(t) - c_0]$$

ΔO ist die Ozeanänderung, ΔL die reguläre Landänderung. P ist als positive Entleerung des gesonderten Permafrostspeichers definiert und steht deshalb mit negativem Vorzeichen in der Bestandsbilanz. B und G sind zusätzliche Speicherung. Ohne anthropogene Quelle ist die rechte Seite null. Alle Änderungen beziehen sich jetzt auf den jeweils neu referenzierten Anfangszustand.

Der externe Landnutzungsanteil wird nicht nochmals von V oder S abgezogen. Das würde innerhalb dieser gewählten Buchhaltung denselben Nettofluss doppelt zählen. Eine räumlich explizite Entwaldung und die damit verbundene Änderung künftiger Aufnahmeflächen bleiben deshalb weiterhin außerhalb der Modellstruktur.

Paarvergleich im mittleren Fall am Ende der 200 Jahre

Die Tabelle zeigt für jeden Speicher die Differenz „mit Quelle minus ohne Quelle“. Sie isoliert die Zusatzwirkung der Quelle unter demselben vorgegebenen Temperaturpfad. Sie ordnet keine einzelnen Kohlenstoffatome ihrer Herkunft zu.

Zusätzlicher Bestand [GtC]	IV minus I	V minus II	VI minus III
Atmosphäre	412,43	407,33	407,96
Ozean	152,14	151,26	151,95
Reguläres Land	194,54	200,53	199,18
Geologische Bilanz	0,63	0,62	0,65
Summe	759,74	759,74	759,74

Die zusätzlichen atmosphärischen Anteile betragen 54,3 %, 53,6 % und 53,7 % der gesamten Quelle von 759,74 GtC. Permafrost und Gletscherbeiträge sind innerhalb jedes Paars gleich; ihre Differenz ist null. Die Kohlenstoffbilanz bleibt erhalten, obwohl die Verteilung zwischen den Speichern auf das geänderte c_o reagiert.

Diese kumulierten Anteile sind Ergebnisse des 200-jährigen Experiments. Sie sind keine vorab angesetzte konstante Senkenquote und dürfen nicht unmittelbar mit den Aufnahmeanteilen einzelner realer Jahre oder Jahrzehnte gleichgesetzt werden. Auch die gesamte atmosphärische Änderung gegenüber 1826 ist von dieser Paardifferenz zu unterscheiden: Sie enthält zusätzlich die natürliche Reaktion auf den vorgegebenen Temperaturanstieg.

Im mittleren Fall bewirkt die zugeschaltete Quelle am Ende eine zusätzliche Konzentration von 192,1 bis 194,5 ppm. Die Anfangswertkorrektur reduziert somit die berechnete Gesamtanreicherung, beseitigt aber die große Zusatzwirkung der anthropogenen Quelle innerhalb der Modelle nicht.

10 Schwacher Prozessfall

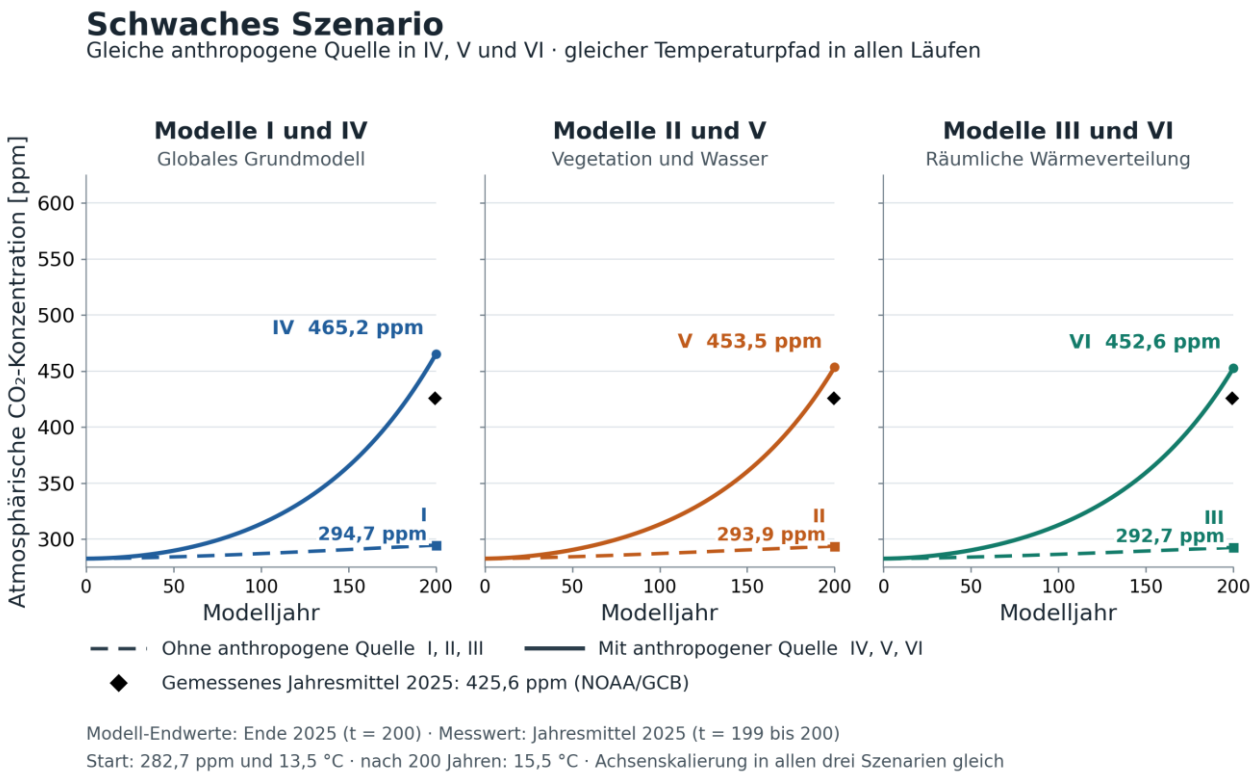


Abbildung 2. Schwacher Fall mit korrigiertem Startwert. Gestrichelt: ohne anthropogene Quelle; durchgezogen: mit identischer Quelle. Endbeschriftungen: c(200), Ende 2025. Schwarze Raute: reales NOAA/GCB-Jahresmittel 2025 von 425,6 ppm. Der Vergleich gleicher Jahresmittel folgt in Abschnitt 14. [6, 7]

Modellpaar	Ohne Quelle [ppm]	Mit Quelle [ppm]	Quellenwirkung [ppm]
I → IV	294,7	465,2	+170,4
II → V	293,9	453,5	+159,6
III → VI	292,7	452,6	+159,9

Im schwachen Fall begrenzen geringe thermische Landverluste und geringe Permafrostfreisetzung die natürliche Anreicherung. Zusammen mit der stärkeren CO_2-bedingten Aufnahme ergeben die natürlichen Läufe nach 200 Jahren 292,7 bis 294,7 ppm, also rund 10 bis 12 ppm mehr als am Anfang.

Die gemeinsame anthropogene Quelle erhöht die Endwerte um 159,6 bis 170,4 ppm. Die dynamischen Landmodelle V und VI speichern in dieser Konfiguration mehr zusätzlichen Kohlenstoff außerhalb der Atmosphäre als IV.

Die Jahresmittel 2025 betragen 463,8 ppm in IV, 452,2 ppm in V und 451,3 ppm in VI. Die Anfangswertkorrektur erklärt hier 33,4 bis 46,8 % des bisherigen Abstands zur Beobachtung. Der verbleibende Abstand von mindestens 25,7 ppm ist jedoch weiterhin erheblich.

11 Mittlerer Prozessfall

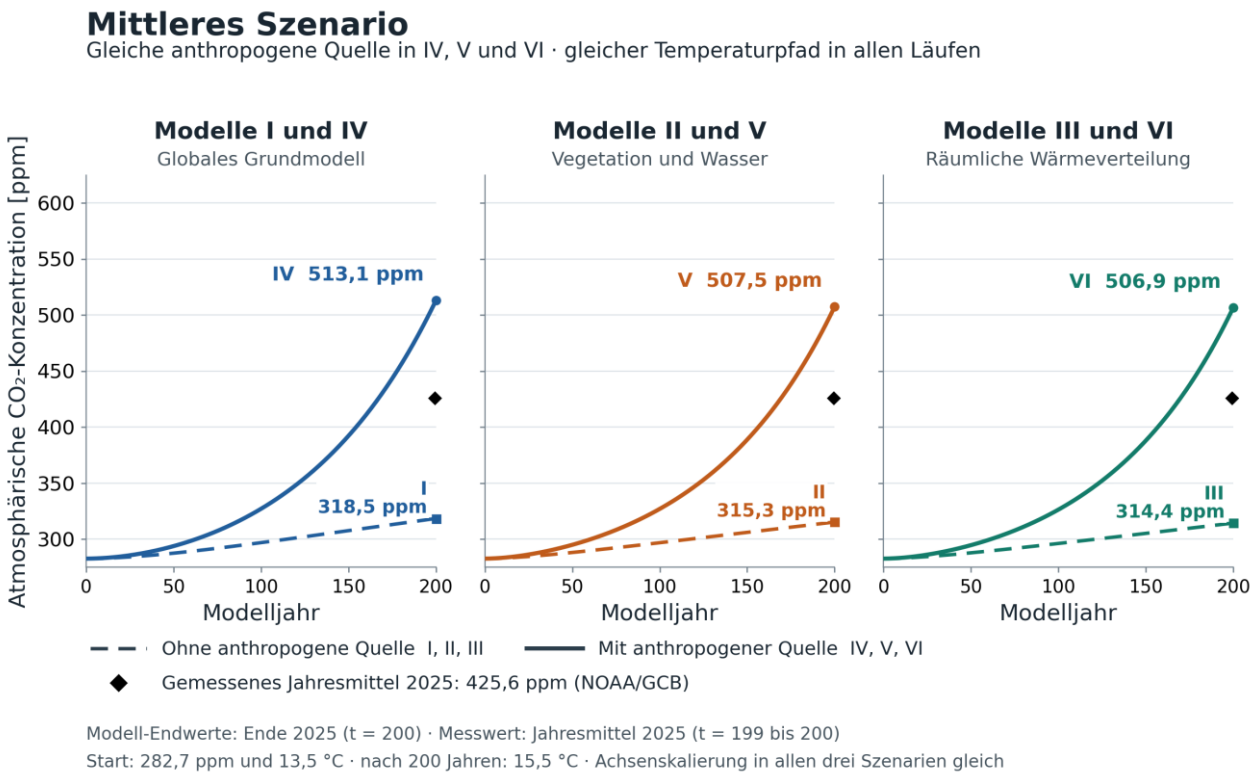


Abbildung 3. Mittlerer Fall mit korrigiertem Startwert. Gestrichelt: ohne anthropogene Quelle; durchgezogen: mit identischer Quelle. Endbeschriftungen: c(200), Ende 2025. Schwarze Raute: reales NOAA/GCB-Jahresmittel 2025 von 425,6 ppm. Der Vergleich gleicher Jahresmittel folgt in Abschnitt 14. [6, 7]

Modellpaar	Ohne Quelle [ppm]	Mit Quelle [ppm]	Quellenwirkung [ppm]
I → IV	318,5	513,1	+194,5
II → V	315,3	507,5	+192,1
III → VI	314,4	506,9	+192,4

Der mittlere Fall behält sämtliche Nominalparameter der Voruntersuchung. Mit dem korrigierten Konzentrationsbezug enden die natürlichen Läufe bei 318,5, 315,3 und 314,4 ppm. Die anthropogene Quelle führt zu 513,1, 507,5 und 506,9 ppm.

Die Zusatzwirkungen der Quelle liegen mit 192,1 bis 194,5 ppm nahe beieinander. Pflanzenförderung durch CO_2, Wasserfaktoren und konzentrationsabhängige Ozeanaufnahme sind bereits eingerechnet. Eine nachträgliche pauschale Senkenquote würde diese Aufnahme ein zweites Mal abziehen.

Für den Vergleich mit Beobachtungen gelten die etwas niedrigeren Jahresmittel: 511,5, 505,9 und 505,2 ppm. Die räumliche Erweiterung von V zu VI senkt das Mittel um rund 0,6 ppm. Der Abstand von VI zur realen Konzentration beträgt dagegen rund 79,6 ppm.

12 Starker Prozessfall

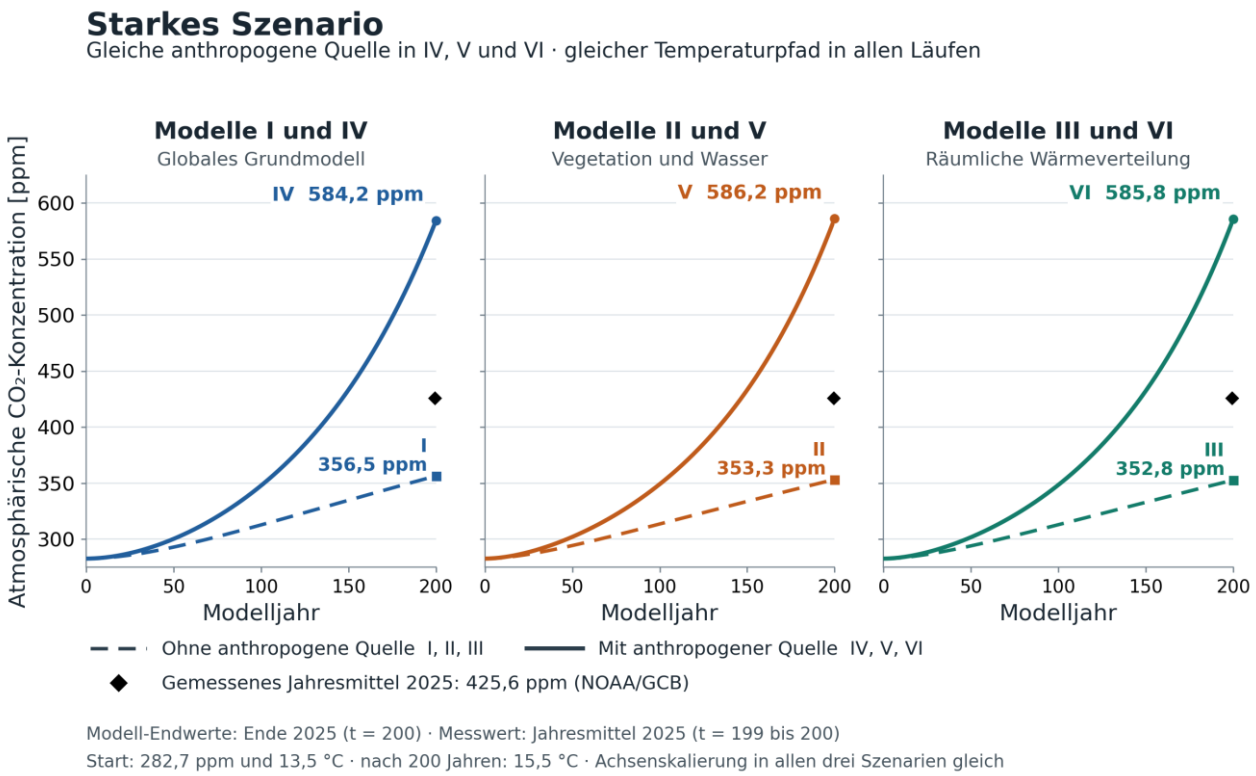


Abbildung 4. Starker Fall mit korrigiertem Startwert. Gestrichelt: ohne anthropogene Quelle; durchgezogen: mit identischer Quelle. Endbeschriftungen: c(200), Ende 2025. Schwarze Raute: reales NOAA/GCB-Jahresmittel 2025 von 425,6 ppm. Der Vergleich gleicher Jahresmittel folgt in Abschnitt 14. [6, 7]

Modellpaar	Ohne Quelle [ppm]	Mit Quelle [ppm]	Quellenwirkung [ppm]
I → IV	356,5	584,2	+227,7
II → V	353,3	586,2	+232,8
III → VI	352,8	585,8	+233,0

Größere thermische Landverluste und Permafrostfreisetzung treffen hier auf eine schwächere CO_2-bedingte Landaufnahme. Die natürlichen Endwerte liegen bereits bei 352,8 bis 356,5 ppm. Die Quelle erhöht sie zusätzlich um 227,7 bis 233,0 ppm.

In den drei Paarvergleichen verbleiben 63,5 bis 65,0 % der kumulierten Quelle zusätzlich in der Atmosphäre. Die dynamischen Landmodelle V und VI ergeben in dieser Konfiguration etwas höhere Konzentrationen als IV. Mehr räumliche oder biologische Prozessdetails führen somit nicht automatisch zu stärkerer Speicherung.

Die Jahresmittel 2025 betragen 582,2 bis 584,1 ppm. Gegenüber der Vorfassung sinken sie um 21,0 bis 23,3 ppm; das entspricht nur 11,8 bis 12,8 % des alten Fehlbetrags. Mit mindestens 156,6 ppm Überschätzung bleibt dieser Fall am weitesten vom realen Bezug entfernt.

13 Die Wirkung gegenüber der vorangegangenen Studie

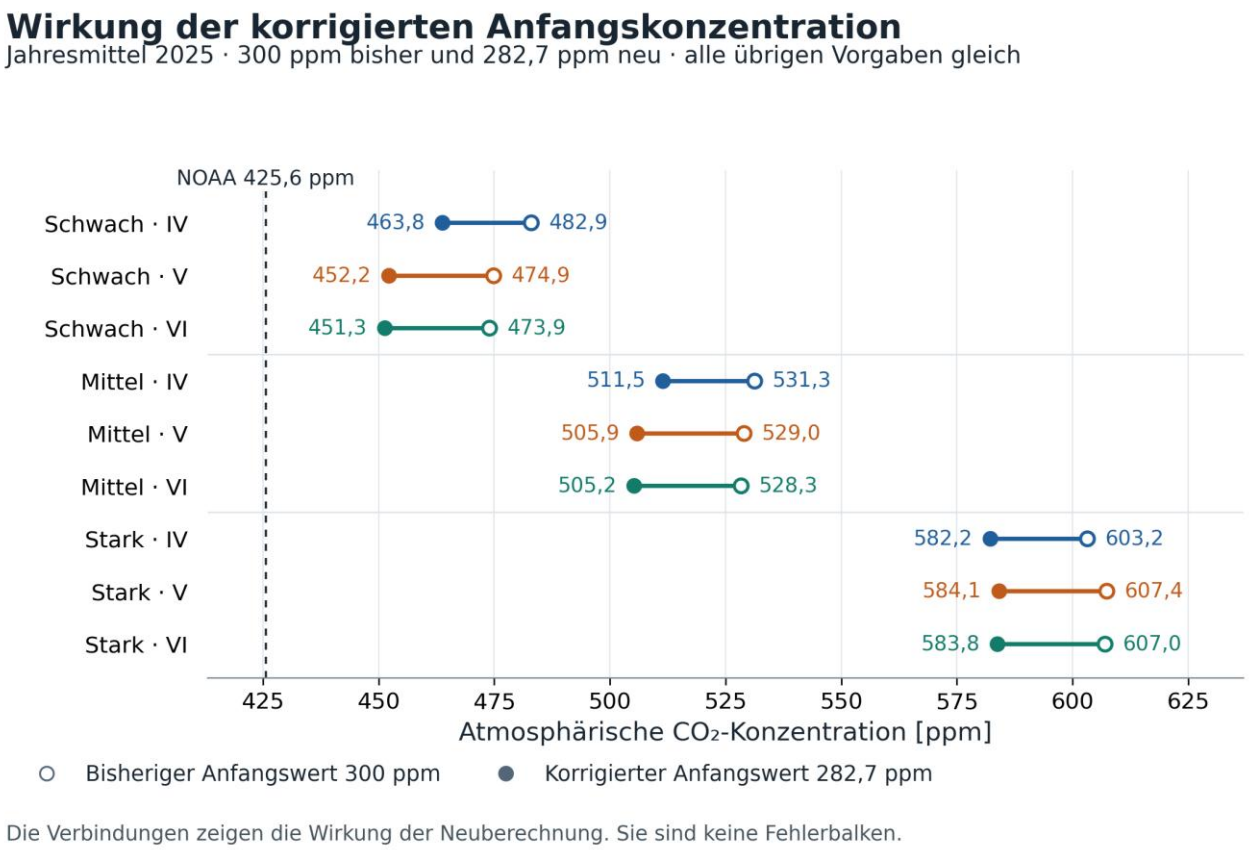


Abbildung 5. Direkter Vergleich gleicher Jahresmittel 2025. Offene Punkte: Vorfassung mit 300 ppm; ausgefüllte Punkte: vollständige Neuberechnung mit 282,7 ppm. Verbindungen kennzeichnen die Änderung, keine Fehlerbalken. Die senkrechte Linie ist der reale Beobachtungsbezug 425,6 ppm. [5, 7]

Die Wirkung der Korrektur ist in allen neun erweiterten Fällen negativ: Die berechnete Konzentration fällt um 19,1 bis 23,3 ppm. Ein reiner Abzug der Anfangsdifferenz würde nur 17,3 ppm liefern. Durch die geänderten Rückkopplungen kommen im Ergebnis weitere 1,8 bis 6,0 ppm hinzu.

$$D = \overline{c}_{2025,\mathrm{neu}} - \overline{c}_{2025,\mathrm{alt}}, \qquad D_{\mathrm{dynamisch}} = D - (282{,}7 - 300)\,\mathrm{ppm}$$

Diese Zerlegung vergleicht zwei vollständige Modelllösungen und eine rechnerische konstante Verschiebung. Sie ist keine eindeutige kausale Aufteilung der Zusatzwirkung auf Pflanzen, Ozean und Verwitterung; diese Prozesse sind gekoppelt. Sie zeigt aber unmittelbar, warum eine Neuintegration erforderlich war.

Im mittleren Modell VI sinkt das Jahresmittel von 528,35 auf 505,24 ppm. Von der gesamten Veränderung um −23,11 ppm entfallen rechnerisch −17,30 ppm auf den anderen Konzentrationsnullpunkt und −5,81 ppm auf die abweichende dynamische Antwort. Der Konzentrationsfehler gegenüber 425,6 ppm sinkt von 102,75 auf 79,64 ppm.

Die Anfangskonzentration war damit ein relevanter Teil des Problems. Sie war jedoch in keinem der neun Fälle die alleinige Ursache der zu hohen Konzentration. Diese Aussage folgt aus dem kontrollierten Vergleich bei ansonsten identischen Vorgaben.

14 Vergleich mit der realen CO_2 Konzentration 2025

NOAA nennt für die globale marine Hintergrundluft ein Jahresmittel 2025 von 425,62 ppm. Wie in der Voruntersuchung wird für Tabellen und Modellabweichungen der gerundete NOAA/GCB-Bezug 425,6 ppm verwendet. Das gesonderte bodennahe WMO-Produkt nennt 426,8 ppm. Die Produkte werden nicht gemittelt. [6–8]

c(200) ist der Jahresendwert und darf nicht unmittelbar einem Jahresmittel gleichgesetzt werden. Deshalb wird aus der kontinuierlichen Modelllösung für jedes Modell das vollständige Mittel über 199 ≤ t ≤ 200 berechnet:

$$\overline{c}_{2025} = \frac{1}{1\,\mathrm{a}} \int_{199}^{200} c\,(t)\,\mathrm{d}t, \qquad b = \overline{c}_{2025} - 425{,}6\,\mathrm{ppm}$$

Fall und Modell	Bisher [ppm]	Neu [ppm]	Änderung [ppm]	Restabstand [ppm]
Schwach · IV	482,9	463,8	-19,1	+38,2
Schwach · V	474,9	452,2	-22,7	+26,6
Schwach · VI	473,9	451,3	-22,6	+25,7
Mittel · IV	531,3	511,5	-19,9	+85,9
Mittel · V	529,0	505,9	-23,2	+80,3
Mittel · VI	528,3	505,2	-23,1	+79,6
Stark · IV	603,2	582,2	-21,0	+156,6
Stark · V	607,4	584,1	-23,3	+158,5
Stark · VI	607,0	583,8	-23,3	+158,2

Die Tabellendifferenzen wurden aus ungerundeten Werten berechnet. Alle neun Fälle liegen weiterhin oberhalb der Beobachtung. Der geringste Restabstand beträgt +25,7 ppm im schwachen VI-Fall, der größte +158,5 ppm im starken V-Fall. Im mittleren Fall liegen die Abweichungen bei +79,6 bis +85,9 ppm beziehungsweise rund 18,7 bis 20,2 % der gesamten beobachteten Konzentration.

Die Ausgangskorrektur beseitigt in den mittleren Fällen 18,8 bis 22,5 % des bisherigen Abstands. Diese Prozentangabe bezieht sich auf den alten Modellfehler, nicht auf den Anteil anthropogenen Kohlenstoffs. Die verbleibenden Konzentrationsabweichungen entsprechen bei κ = 2,12 GtC/ppm rechnerisch rund 169 bis 182 GtC atmosphärischem Kohlenstoff.

Mit dem WMO-Bezug verringert sich jeder Abstand um 1,2 ppm; der niedrigste Rest beträgt dann 24,5 ppm. Auch die Unterscheidung zwischen Jahresende und Jahresmittel verändert die Modellwerte nur um etwa 1,3 bis 2,1 ppm. Beide Unterschiede sind gegenüber dem verbleibenden Modellabstand klein.

15 Schlussfolgerungen für die Modellgüte

15.1 Die Korrektur verbessert die Übereinstimmung

Die Neuberechnung bestätigt die Kritik am ursprünglichen CO_2-Startwert. Die Korrektur auf 282,7 ppm senkt die Ergebnisse aller Modellstrukturen und aller drei Prozessfälle. Für den gerundeten Temperaturstart von 13,5 °C ergibt sich dagegen kein belastbarer Änderungsbedarf. Beide Entscheidungen beruhen auf historischen Datengrundlagen und wurden vor dem Vergleich der neuen Endwerte festgelegt.

15.2 Der reale Endzustand wird weiterhin nicht getroffen

Die mittleren Jahresmittel bleiben bei 505 bis 511 ppm und der günstigste untersuchte Fall bei 451 ppm. Daher sind die korrigierten Modelle mit diesen Parametern weiterhin keine ausreichende quantitative Rekonstruktion der realen Konzentration von 2025. Die bessere Initialisierung beseitigt einen bekannten Fehler, validiert aber nicht automatisch die übrigen Annahmen.

15.3 Auch die Zunahme im letzten Jahr bleibt zu groß

NOAA weist für den Zuwachs vom 1. Januar 2025 bis zum 1. Januar 2026 2,06 ppm aus. Der entsprechende Modellvergleich ist c(200) − c(199), nicht die Differenz zweier Jahresmittel. [7]

Prozessfall	IV [ppm/Jahr]	V [ppm/Jahr]	VI [ppm/Jahr]
Schwach	2,70	2,55	2,56
Mittel	3,22	3,23	3,24
Stark	3,96	4,09	4,10
NOAA 2025	2,06	2,06	2,06

Die korrigierten Zuwächse liegen in sämtlichen Fällen über dem beobachteten Jahr. Die Abweichung besteht somit nicht ausschließlich in einem konstanten Konzentrationsversatz. Ein einzelnes Jahr kann allerdings langfristige Modellfehler nicht von fehlender natürlicher Jahr-zu-Jahr-Variabilität trennen.

15.4 Die Modellunterschiede erklären den Restabstand nicht

Die räumliche Erweiterung von V zu VI verändert das mittlere Jahresmittel nur um rund −0,63 ppm, während ein Rest von etwa +79,64 ppm verbleibt. Die unveränderte regionale Gewichtung ist sachlich sinnvoll, aber in dieser Konfiguration keine Lösung der großen empirischen Abweichung. Auch das Hinzufügen von Prozessdetails ist für sich genommen kein Gütenachweis.

Bei derselben Quelle und denselben Anfangsbezügen müsste für eine Übereinstimmung netto mehr Kohlenstoff außerhalb der Atmosphäre verbleiben. Das kann stärkere Aufnahme, geringere natürliche Freisetzung oder beides bedeuten. Aus dem einzelnen Endwert folgt jedoch kein eindeutiger neuer Pflanzen-, Boden- oder Ozeanparameter.

16 Aussagegrenzen und Nachvollziehbarkeit

Die Untersuchung isoliert den Wechsel des atmosphärischen Referenzzustands. Weiterhin vorgegeben bleiben +2 K als linearer Temperaturpfad, die geglättete Emissionsgeschichte, die idealisierten Speicher und deren Prozessantworten. Der reale Temperaturverlauf wird nicht nachgebildet. Die ursprüngliche solare Erwärmungsvorgabe bleibt eine experimentelle Randbedingung; der historische Anteil von Sonnenstrahlung oder Treibhausgasen an der realen Erwärmung wird mit diesem Modell nicht bestimmt.

Die natürlichen Vergleichsläufe I–III beschreiben ab dem gemeinsamen Start eine Welt ohne zusätzliche anthropogene Quelle. Weil sie denselben historisch begründeten atmosphärischen Anfangswert verwenden, sind sie keine vollständige Rekonstruktion einer Erde ohne jede menschliche Vorgeschichte. Für den kontrollierten Vergleich ist der gemeinsame Start zweckmäßig; für eine historische Attribution wäre eine weitergehende Rekonstruktion erforderlich.

Auch die Anfangsinventare von Land und Ozean bleiben Modellannahmen. Alkalinität, Nährstoffe, explizite Bewirtschaftungsflächen, variable Ozeanventilation sowie die Folge realer Dürren und Feuerjahre werden nicht neu eingeführt. Der verbleibende Abstand prüft daher das gesamte beibehaltene Experiment. Er erlaubt keine isolierte Widerlegung einer einzelnen realen Senke.

Numerische und strukturelle Prüfung

Die Originalmodule I–III und die geographischen Eingangsdaten sind unverändert. Ein erneuter Lauf mit 300 ppm reproduziert die gespeicherten Ergebnisse der Vorfassung. Der Vergleich der Parametersätze zeigt nur die beabsichtigte Konzentrationsänderung; Emissionsfunktion und sämtliche Prozessparameter stimmen überein. Der III/VI-Konzentrationsbezug wurde entsprechend vor der Ableitung der Austauschkoeffizienten umgestellt.

Alle 18 neuen Läufe erfüllen den gemeinsamen Anfangswert und die Kohlenstoffbilanz. Der größte Bilanzrest liegt unter 2×10^{-12} GtC; die physikalischen Anfangsflüsse sind bis auf numerische Rundung null. Eine verfeinerte Integration verändert die ausgewiesenen Konzentrationen um weniger als 10^{-6} ppm. Eine unabhängig implementierte Integration bestätigt die Jahresmittel 2025 auf besser als 10^{-7} ppm.

Diese Zahlen beschreiben Rechengenauigkeit und Konsistenz, nicht die empirische Unsicherheit des Kohlenstoffkreislaufs. Die drei Fälle sind Szenarien. Es werden keine Fehlerfortpflanzung und keine statistischen Vertrauensbereiche aus ihnen abgeleitet.

Gesamtergebnis

Der historisch korrigierte Start verbessert die Modellgüte messbar, reicht aber nicht aus. Die mittleren Ergebnisse bleiben rund 80 bis 86 ppm über dem realen Jahresmittel 2025. Damit ist die Anfangskonzentration als Teilursache quantifiziert; der größere Restabstand liegt in den übrigen unveränderten Randbedingungen und Prozessannahmen des Gesamtexperiments.

Die Berechnung ist mit gespeicherten Originalmodulen, Eingangsdaten, historischem Datenbezug und 18 vollständigen Zeitreihen nachvollziehbar. Der Bericht enthält fünf wissenschaftliche Abbildungen und native bearbeitbare Word-Formeln. Die Neufassung ergänzt die vorherige Studie und überschreibt deren dokumentierte Ergebnisse nicht.

Literatur und Datennachweise

Quellenstand 26. November 2026. Modellresultate sind eigene Rechnungen. Historische Konzentrationen und Temperaturanomalien wurden aus den angegebenen Datenprodukten entnommen. Die Autorenangabe der gesamten Studienreihe lautet Dr. Klaus Retzlaff und Proto.

[1] Retzlaff, K. und Proto (2026). Natürlicher CO_2 Kreislauf bei solarer Erwärmung. Ein Schätzmodell für eine menschenfreie Erde über 200 Jahre. Studie I, Modellversion 1.0, 25. November 2026. Verwendet: Grundgleichungen, Parameter und Prozessfälle.

[2] Retzlaff, K. und Proto (2026). Natürlicher CO_2 Kreislauf mit Pflanzenwachstum und Wasserhaushalt. Folgeuntersuchung zu solarer Erwärmung auf einer menschenfreien Erde. Studie II, Modellversion 2.0, 25. November 2026. Verwendet: dynamische Vegetations- und Bodenbestände, CO_2-Antwort und Hydrologie.

[3] Retzlaff, K. und Proto (2026). Natürlicher CO_2 Kreislauf mit räumlicher Wärmeverteilung und Fehlerfortpflanzung. Eine menschenfreie Erde bei solarer Erwärmung über 200 Jahre. Studie III, Modellversion 3.0, 25. November 2026. Verwendet: Nominalgleichungen und regionale Daten; keine Übernahme der Fehlerfortpflanzung.

[4] Retzlaff, K. und Proto (2026). Anthropogene CO_2 Emissionen und ihre Speicherung im Erdsystem. Literaturübersicht, Version 2.0, 25. November 2026. Verwendet: publizierte Emissionsentwicklung, kumulierte Budgets und Speicherabgrenzung.

[5] Retzlaff, K. und Proto (2026). Anthropogene CO_2 Emission im erweiterten Kohlenstoffkreislauf. Modelle IV, V und VI und der Vergleich mit der realen Konzentration im Jahr 2025. Version 1.0, 26. November 2026. Direkte Vergleichsstudie mit c_0 = 300 ppm; Emissionsfunktion und übrige Vorgaben werden unverändert übernommen.

https://mypublicationscience.com/publikationen/anthropogene-co2-emission-im-erweiterten-kohlenstoffkreislauf-pdf/

[6] Friedlingstein, P. et al. (2026). Global Carbon Budget 2026. Earth System Science Data Discussions. Preprint vom 10. November 2026, am Stichtag in Begutachtung. Verwendet: Abstract, Abschnitt 3.4 und Tabellen 7–8; 11,7 GtC für 2025 und 755 GtC für 1850–2025.

https://doi.org/10.5194/essd-2026-895

[7] NOAA Global Monitoring Laboratory (2026). The NOAA Annual Greenhouse Gas Index, Abschnitt Observations. Verwendet: globales CO_2-Jahresmittel 2025 der marinen Hintergrundluft 425,62 ppm und Jahreszuwachs 2,06 ppm.

https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html

[8] World Meteorological Organization (2026). WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 22. Global Observations through 2025. Veröffentlicht am 27. Oktober 2026. Verwendet: separates globales bodennahes Jahresmittel 2025 von 426,8 ppm.

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

Datengrundlagen der historischen Anfangswerte

[9] Meinshausen, M. et al. (2017). Historical greenhouse gas concentrations for climate modelling (CMIP6). Geoscientific Model Development 10, 2057–2116. Abschnitt 2.1.6 und jährliche globale Datei UoM-CMIP-1-2-0. Originaldatei mit Zeitraum 0000–2014, Variable mole_fraction_of_carbon_dioxide_in_air, globaler Sektor; Jahreswert 1826 = 282,692993 ppm. Originaldatei zusätzlich im AR6-Arbeitsarchiv DOI 10.5281/zenodo.6386979 geprüft.

https://doi.org/10.5194/gmd-10-2057-2017

[10] Nicholls, Z. R. J. et al. (2020). Reduced Complexity Model Intercomparison Project Phase 1. Geoscientific Model Development 13, 5175–5190. Offizielle Konzentrationsdatei rcmip-concentrations-annual-means-v5-1-0.csv, Version 5.1.0 vom 21. September 2020. Auswahl historical, World, Atmospheric Concentrations|CO2, CMIP6; 1826 = 282,692998 ppm. Daten und Provenienz unter rcmip.org.

https://www.rcmip.org/

[11] Copernicus Climate Change Service / ECMWF (2026). Copernicus 2025 was the third hottest year on record, 14. Januar 2026, und Global Climate Highlights 2025, About the data and methods. Verwendet: 14,97 °C, +1,47 K gegenüber 1850–1900 und Definition der globalen bodennahen Lufttemperatur.

https://climate.copernicus.eu/copernicus-2025-was-third-hottest-year-record

[12] 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. Datensatz GloSATref.1.0.0.0, DOI 10.5285/a2519624a593402a83246bd359d098be. Verwendet: analysis_summary-series_global_annual, tas_mean; 1826 und Mittel 1850–1900 derselben Reihe.

https://doi.org/10.5194/essd-17-7079-2025

[13] PAGES 2k Consortium (2019). Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. Nature Geoscience 12, 643–649. Offizielles NOAA/WDS-Archiv, Datei Full_ensemble_median_and_95pct_range.txt. Verwendet: jährliche Ensemblemediane, nicht die 31-jährig gefilterte Reihe; ergänzende Plausibilitätskontrolle.

https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0

[14] NASA GISS. The Elusive Absolute Surface Air Temperature. Methodische Erläuterung zur Unterscheidung absoluter globaler Temperatur und Temperaturanomalien. Abruf 26. November 2026.

https://data.giss.nasa.gov/gistemp/faq/abs_temp.html

Empfohlene Zitierangabe

Retzlaff, Klaus und Proto (2026). CO_2 Modellvergleich mit historisch korrigierten Anfangswerten. Wiederholung der Modelle I bis VI über 200 Jahre und Vergleich mit dem realen Jahresmittel 2025. Version 2.0, 26. November 2026. Eine wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI.