

**Dokument:** S26\_09\_44 · Rev. 13 · Stand: 22.09.2026

**Verfasser:** Jürgen Ruth, IGKR GmbH    **Fassung:** öffentlich

## Zweihundert Jahre Wissen

Chronologie der Erkenntnisse über die Klimawirkung der Gase in der Lufthülle und die Frage, warum aus diesem Wissen kein entsprechendes Handeln folgt

### Executive Summary

Diese Zusammenstellung beantwortet zwei Fragen. Erstens: Wann lag welche Einsicht darüber vor, dass die Gase in der Lufthülle die Temperatur der Erdoberfläche mitbestimmen — von den ersten Überlegungen des 17. Jahrhunderts bis zu den heutigen Sachstandsberichten? Zweitens: Warum ist aus diesem Wissen kein Handeln in vergleichbarem Umfang erfolgt?

Vorweg der Befund, der beim Lesen am meisten überrascht, weil er nicht historisch, sondern biographisch ist. Von allen Kohlendioxid-Emissionen, die seit 1850 aus Kohle, Öl und Gas freigesetzt wurden, entfallen rund vier Fünftel auf die Zeit nach 1964. Wer in diesem Jahr geboren wurde, hat also nur ein Fünftel davon als Vorgeschichte geerbt. Er hat die Hauptmenge im eigenen Leben erlebt — und im eigenen Leben mit verursacht. Die übliche Erzählung legt das Gegenteil nahe: Sie beginnt beim vorindustriellen Zeitalter und lässt die Kurve mit der Industrialisierung ansteigen. Damit rückt sie die Ursache in eine ferne Zeit, an der sich nichts mehr ändern lässt. Die Zahlen sagen etwas anderes. Das Problem ist nicht alt. Es ist ungefähr so alt wie die Menschen, die heute entscheiden — und damit noch innerhalb derselben Lebenszeit veränderbar. Abschnitt 3.1.1 führt das aus.

Teil A beantwortet die erste Frage mit einer belegten Chronologie in fünf Stufen. Die tragenden Schritte sind wenige. Die Wärmeschutzwirkung der Lufthülle wird 1824 von Fourier physikalisch begründet und 1856 von Foote sowie ab 1859 von Tyndall im Laborversuch den einzelnen Gasen zugeordnet. Arrhenius rechnet sie 1896 erstmals durch, Callendar findet sie 1938 in den Messreihen wieder, Keeling misst sie ab 1958 fortlaufend. 1979 bringt der Charney-Bericht sie auf eine Zahlenspanne, die bis heute Bestand hat. Alles Spätere ist Bestätigung und Verfeinerung, nicht Neuentdeckung. Abschnitt 2.7 stellt den Befund in den Zusammenhang der letzten 800.000 Jahre, gerechnet aus den Originaldaten der Eisbohrkerne: In dieser Zeit hat das Kohlendioxid nie 300 ppm überschritten; heute liegt es bei 427 ppm. Der Anstieg seit 1850 ist rund siebzigmal schneller als der natürliche Ausstieg aus der letzten Eiszeit. Die Belege dieser Zusammenstellung sind im September 2026 an den Originalarbeiten nachgeprüft worden; Anhang D hält fest, welcher Eintrag am Original geprüft ist.

Wesentlich ist dabei nicht nur die Abfolge der Einsichten, sondern die Verdichtung: Aus einzelnen Versatzstücken — einer Laborbeobachtung hier, einer Messreihe dort — wurden bis heute sechzehn voneinander unabhängige Nachweisketten, die sich gegenseitig stützen. Ab welchem Punkt eine Aussage nicht mehr sinnvoll bestreitbar ist, lässt sich daran ablesen (Abbildung 2).

Teil B beantwortet die zweite Frage. Ihr Kern lässt sich in einer Zahl fassen. Als der wissenschaftliche Beraterstab des amerikanischen Präsidenten im November 1965 erstmals eine Regierung förmlich

vor der Erwärmung durch Kohlendioxid warnte, waren weltweit rund 360 Milliarden Tonnen Kohlendioxid aus fossilen Quellen freigesetzt. Bis Ende 2023 waren es 1.811 Milliarden Tonnen. Vier von fünf Tonnen sind also erst nach dieser Warnung in die Luft gegangen. Das Wissen kam nicht zu spät — das Handeln blieb aus.

Teil B führt das auf fünf zusammenwirkende Mechanismen zurück: die zeitliche Asymmetrie zwischen Verursachung und Wirkung, den seit den achtziger Jahren organisierten Zweifel, die rechnerische Unsichtbarkeit des Klimarisikos in den Wirtschafts- und Finanzmodellen, die Interessenlage derjenigen, die die Botschaft überbringen müssten, und die Verwechslung von Ausgewogenheit mit Gleichgewichtung in der Berichterstattung.

Eine naheliegende Vermutung lautet, die Klimakommunikation und die Kommunikation von Klimarisiken an den Finanzmärkten entsprächen einander: Beide Male sei das Wissen vorhanden, werde aber nicht weitergegeben. Die Vermutung lässt sich belegen. Die Entsprechung verläuft allerdings genauer, als die Vermutung es nahelegt: Das Risiko wird an den Finanzmärkten nicht in erster Linie verschwiegen, sondern es ist in den verwendeten Rechenmodellen der Höhe nach gar nicht enthalten. Genau dies kritisieren seit 2023 Aktuarien (Versicherungsmathematiker, die Risiken für Versicherer und Pensionskassen bewerten und dafür haften), Klimaforscher und Anlegerschützer in einer Schärfe, die in der Fachwelt ungewöhnlich ist.<sup>1</sup> Die Abschnitte 3.2.3 und 3.3 führen das aus.

**Am Wissen hat es nicht gefehlt. Seit der ersten Warnung an eine Regierung sind vier Fünftel aller fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Menschheitsgeschichte freigesetzt worden — in der Zeitspanne eines einzigen Menschenlebens. Wer fragt, warum nicht gehandelt wird, findet die Antwort deshalb nicht in weiterer Forschung. Er findet sie in den Rechenwerken und in den Interessen derer, die aus der Forschung Entscheidungen ableiten sollen.**

---

<sup>1</sup> Carbon Tracker Initiative / Keen, Steve (2023): Loading the DICE Against Pensions. Bericht vom 27. Juli 2023, gemeinsam mit Make My Money Matter [Q16] Die Untersuchung verfolgt die Kette von der ökonomischen Fachliteratur über die Anlageberater bis zu den Mitteilungen der Pensionsfonds an ihre Mitglieder: Diesen wurde mitgeteilt, eine Erwärmung von 2 bis 4,3 Grad werde ihre Anlagen nur geringfügig beeinträchtigen.

# Inhalt

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Executive Summary.....</b>                                  | <b>1</b>  |
| <b>1 Auswahlmaßstab — was hier „bahnbrechend“ heißt.....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1 Zwei Begriffe vorweg.....                                  | 4         |
| <b>2 Teil A — Die Chronologie.....</b>                         | <b>5</b>  |
| 2.1 Stufe 1: Die Vermutung (Antike bis 1800).....              | 5         |
| 2.2 Stufe 2: Die physikalische Begründung (1824 – 1901).....   | 7         |
| 2.3 Stufe 3: Messung und Modell (1920 – 1987).....             | 9         |
| 2.4 Stufe 4: Die Warnung an die Entscheider (1965 – 1990)..... | 12        |
| 2.5 Stufe 5: Bestätigung, Konsens und Recht (1992 – 2025)..... | 14        |
| 2.6 Die Verdichtung der Evidenz.....                           | 16        |
| 2.7 Der große Zusammenhang: 800.000 Jahre in zwei Bildern..... | 18        |
| <b>3 Teil B — Die Handlungslücke.....</b>                      | <b>23</b> |
| 3.1 Der Befund in Zahlen.....                                  | 23        |
| 3.1.1 Derselbe Befund als Lebensspanne.....                    | 25        |
| 3.2 Fünf Mechanismen.....                                      | 27        |
| 3.2.1 Die zeitliche Asymmetrie.....                            | 27        |
| 3.2.2 Der organisierte Zweifel.....                            | 27        |
| 3.2.3 Die Unsichtbarkeit im Rechenwerk.....                    | 28        |
| 3.2.4 Die Interessenlage des Boten.....                        | 30        |
| 3.2.5 Ausgewogenheit in der medialen Berichterstattung.....    | 31        |
| 3.3 Die gesuchte Entsprechung, geprüft.....                    | 34        |
| 3.4 Was gegen diese Lesart spricht.....                        | 35        |
| <b>4 Schluss.....</b>                                          | <b>36</b> |
| <b>5 Grenzen dieser Zusammenstellung.....</b>                  | <b>37</b> |
| 5.1 Zur Tragfähigkeit der Belege.....                          | 38        |
| <b>Anhang A Glossar.....</b>                                   | <b>39</b> |
| <b>Anhang B Literaturverzeichnis.....</b>                      | <b>44</b> |
| <b>Anhang C Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....</b>  | <b>55</b> |
| <b>Anhang D Primärquellen der Stufen 1 und 2.....</b>          | <b>57</b> |

# 1 Auswahlmaßstab — was hier „bahnbrechend“ heißt

Eine Chronologie ist nur so gut wie ihr Auswahlmaßstab. Wer alles aufnimmt, erzeugt eine Liste; wer nach Bekanntheit auswählt, erzeugt eine Heldengeschichte. Beides trägt keine Schlussfolgerung. Für diese Zusammenstellung gilt deshalb: Aufgenommen ist ein Beitrag dann, wenn er mindestens eines der vier folgenden Merkmale erfüllt.

| Maßstab                            | Bedeutung                                                                                 | Beispiel                                                                                                        |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Neue Größenordnung</b>          | Der Beitrag macht aus einer Vermutung eine Zahl, die man prüfen kann.                     | Arrhenius rechnet 1896 erstmals durch, wie stark sich die Erde bei Verdopplung des Kohlendioxidgehalts erwärmt. |
| <b>Neue Messbarkeit</b>            | Der Beitrag schafft ein Verfahren oder eine Messreihe, die den Streit entscheidbar macht. | Keeling misst ab 1958 den Kohlendioxidgehalt der Luft fortlaufend an einem Ort ohne örtliche Störeinflüsse.     |
| <b>Widerlegter Einwand</b>         | Der Beitrag räumt einen Einwand aus, der bis dahin gegen die These sprach.                | Revelle und Suess zeigen 1957, dass der Ozean das zusätzliche Kohlendioxid nicht einfach aufnimmt.              |
| <b>Übergang in Handlungswissen</b> | Der Befund wird an Entscheidungsträger gerichtet und verlässt den Fachkreis.              | Bericht des wissenschaftlichen Beraterstabs an US-Präsident Johnson, November 1965.                             |

Tabelle 1: Aufnahmekriterien für die Chronologie in Teil A.

Aus diesem Maßstab folgt bereits die Form des Ergebnisses, und das ist der eigentliche Punkt. Die vier Kriterien bezeichnen keine gleichrangigen Merkmale, sondern eine Reihenfolge. Eine These wird zuerst in Zahlen fassbar, dann messbar, dann widerstandsfähig gegen Einwände — und erst dann kann man sie einer Regierung vorlegen. Läuft diese Reihenfolge vollständig durch, ist die wissenschaftliche Arbeit im Kern abgeschlossen. Alles Weitere ist Genauigkeitsarbeit. Genau das lässt sich beim Kohlendioxid zeigen: Die Reihe ist spätestens 1979 vollständig durchlaufen. Wer danach noch grundsätzlichen Klärungsbedarf geltend machte, berief sich auf Restunsicherheiten in den Nachkommastellen, nicht auf eine offene Grundfrage. Die Chronologie belegt damit nicht nur, dass wir es wussten, sondern auch, ab wann der Einwand „noch nicht gesichert“ sachlich nicht mehr trug.

## 1.1 Zwei Begriffe vorweg

Der gebräuchliche Ausdruck *Treibhauseffekt* (die Wärmeschutzwirkung der Lufthülle: bestimmte Gase lassen das kurzwellige Sonnenlicht durch, bremsen aber die langwellige Wärmestrahlung der Erdoberfläche) ist physikalisch schief und hat die öffentliche Debatte belastet. Ein Gewächshaus wird warm, weil das Glas den Luftaustausch unterbindet; die Lufthülle wird warm, weil sie für Licht durchlässig und für Wärmestrahlung teilweise undurchlässig ist. Zutreffender wäre „Strahlungsbremse“. Wer die Wirkung in einem Vortrag erklärt, sollte mit der Wärmedämmung eines

Hauses vergleichen: Sie lässt die Heizung ungehindert arbeiten und verlangsamt nur den Wärmeabfluss — genau das tut Kohlendioxid.

Die zweite Größe, die im ganzen Dokument wiederkehrt, ist die *Klimasensitivität* (die Erwärmung der Erdoberfläche im Gleichgewicht bei Verdopplung des Kohlendioxidgehalts). Sie ist die eine Zahl, an der sich der Fortschritt der Forschung ablesen lässt: 1896 bei Arrhenius 5 bis 6 Grad, 1956 bei Plass 3,6 Grad für den wolkenfreien Fall, 1967 bei Manabe und Wetherald 2,4 Grad bei festgehaltener relativer Feuchte und mittlerer Bewölkung, 1979 im Charney-Bericht 1,5 bis 4,5 Grad mit 3 Grad als wahrscheinlichstem Wert, 2021 im sechsten IPCC-Sachstandsbericht ebenfalls 3 Grad als bestem Schätzwert, mit einer wahrscheinlichen Spanne von 2,5 bis 4,0 und einer sehr wahrscheinlichen von 2,0 bis 5,0 Grad.<sup>2</sup> Über vier Jahrzehnte und sechs Sachstandsberichte hinweg ist der wahrscheinlichste Wert bei rund 3 Grad geblieben. Eine Wissenschaft, deren Kernzahl sich in vierzig Jahren nicht verschiebt, ist keine Wissenschaft im Umbruch.

Abbildung 1: Der Pfad der Erkenntnis in fünf Stufen

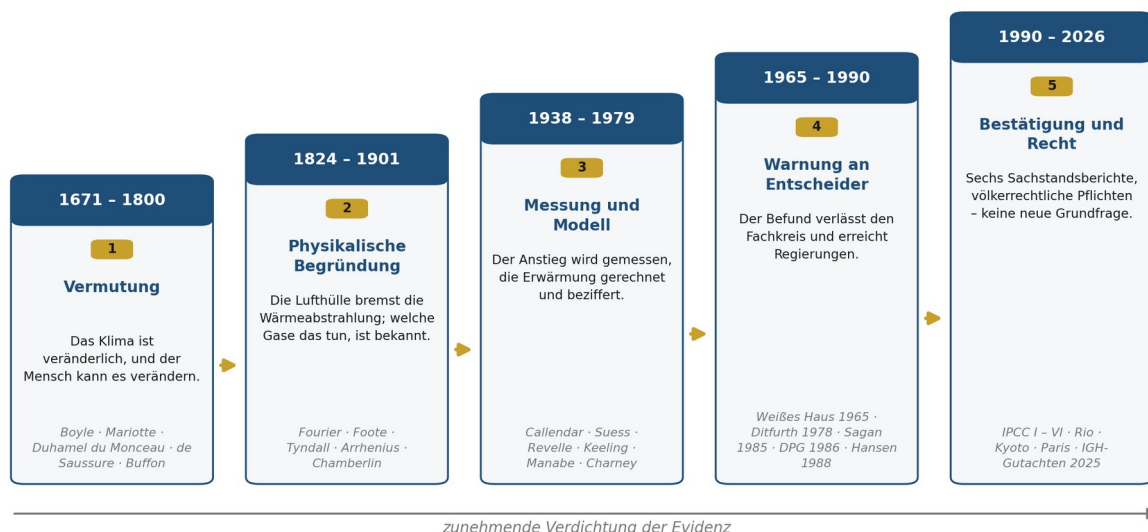


Abbildung 1: Die fünf Stufen, nach denen Teil A gegliedert ist. Die Stufen überlappen zeitlich — die Forschung lief weiter, während der Befund bereits an Regierungen ging.

## 2 Teil A — Die Chronologie

### 2.1 Stufe 1: Die Vermutung (Antike bis 1800)

Am Anfang steht keine Gastheorie, sondern ein Gedanke: dass das Klima kein feststehender Rahmen ist, sondern sich ändert, und dass der Mensch daran beteiligt sein kann. Dieser Gedanke ist alt und entsteht aus der Landwirtschaft, nicht aus der Physik. Beobachtet wurden die Folgen von Rodung, Trockenlegung und Bewässerung — also Landnutzung, nicht die Zusammensetzung der Luft.

<sup>2</sup> National Research Council (Vorsitz Jule G. Charney) (1979): Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment. Bericht der US-amerikanischen National Academy of Sciences, Woods Hole [Q06] Der Bericht hielt ausdrücklich fest, man habe nach gründlicher Suche keinen übersehenen physikalischen Effekt gefunden, der die Erwärmung verhindern könnte.

| Jahr           | Wer                             | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Quelle                      |
|----------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| um 300 v. Chr. | Theophrastos von Eresos         | Beschreibt in „De causis plantarum“ (Buch V, Kap. 14) an zwei Beispielen, dass menschliches Eingreifen das örtliche Klima ändert: Bei Philippi wurde es wärmer, nachdem fast alle Bäume für den Ackerbau gefallen und die Böden entwässert waren — Frost, zuvor häufig, wurde selten. Um Larisa in Thessalien wurde es umgekehrt kälter, nachdem der See abgelassen war; Frost trat häufiger auf, Ölbaum und Weinstock gingen ein. Älteste überlieferte Aussage über einen menschlichen Einfluss auf das Klima; Plinius gibt beide Beispiele später wieder. | Q02;<br>Q44;<br>Q52;<br>Q53 |
| 1671           | Robert Boyle                    | Wirft die Frage auf, ob wirtschaftliche Entwicklung das Klima verändern kann.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Q02                         |
| 1681           | Edme Mariotte                   | Zeigt, dass Glas Licht und Wärme der Sonne durchlässt, die Wärme eines Feuers dagegen zurückhält. Der Gegensatz ist der zwischen zwei Strahlungsquellen, nicht zwischen ein- und ausgehender Strahlung; die Deutung als Richtungsabhängigkeit stammt aus dem 19. Jahrhundert.                                                                                                                                                                                                                                                                               | Q01                         |
| 1743 / 1765    | Henri-Louis Duhamel du Monceau  | Führt Klimaveränderungen auf Rodung und Trockenlegung zurück.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Q02                         |
| um 1767 / 1774 | Horace-Bénédict de Saussure     | Baut den Heliothermometer, einen mit Glasplatten abgedeckten, geschwärzten Kasten, der sich in der Sonne weit über die Lufttemperatur erwärmt, und führt 1774 den Bergversuch am Mont Cramont durch. Das Jahr 1774 nennt er selbst; die Jahresangabe 1767 für den Bau des Geräts stammt aus der Sekundärliteratur.                                                                                                                                                                                                                                          | Q01                         |
| 1778           | Georges-Louis Leclerc de Buffon | Beschreibt in „Les Époques de la Nature“ den Menschen als Gestalter des Klimas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Q02                         |

Tabelle 2: Stufe 1 — die vorwissenschaftliche Phase.

Für die Fragestellung dieses Dokuments sind zwei Einträge dieser Tabelle wichtiger als die übrigen. Mariotte beobachtete 1681, dass Glas Licht und Wärme der Sonne durchlässt, die Wärme eines Feuers dagegen zurückhält — sein Gegensatz ist der zwischen zwei Strahlungsquellen; erst das 19. Jahrhundert hat daraus den Gegensatz zwischen ein- und ausgehender Strahlung gemacht, auf dem die spätere Physik beruht. Und de Saussures Heliothermometer — ein mit Glasplatten abgedeckter, geschwärzter Kasten, der sich in der Sonne weit über die Lufttemperatur erwärmt — ist das Gerät, an

dem Fourier fünfzig Jahre später seine Überlegung entwickelte. Der irreführende Vergleich mit dem Gewächshaus stammt aus genau dieser Linie.<sup>3</sup>

Die Grenze dieser Stufe ist ebenso wichtig: Keine dieser Aussagen ist prüfbar. Sie benennen weder eine Größenordnung noch einen Mechanismus. Wer heute argumentiert, man habe „schon immer“ vom menschlichen Klimaeinfluss gewusst, verwechselt eine Vermutung mit einem Befund. Die Stufe liefert die Frage, nicht die Antwort.<sup>4</sup>

## 2.2 Stufe 2: Die physikalische Begründung (1824 – 1901)

In dieser Stufe wird aus der Vermutung Physik. Sie dauert 77 Jahre und besteht aus drei Schritten, die aufeinander aufbauen: die Bilanz, das Experiment und die Rechnung.

| Jahr        | Wer                 | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Quelle      |
|-------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1824 / 1827 | Joseph Fourier      | Begründet, dass die Erdoberfläche ohne Lufthülle erheblich kälter wäre: Die Lufthülle lässt das Sonnenlicht herein und behindert den Abfluss der Wärmestrahlung.                                                                                                                                                                           | Q01         |
| 1838        | Claude Pouillet     | Beschreibt die Lufthülle als wärmedurchlässige Schicht, die die Strahlung der Sonne und die der Erde unterschiedlich stark aufnimmt. Einzelne Gase benennt er dabei nicht; die verbreitete Zuschreibung an Wasserdampf und Kohlensäure ist durch den Originaltext nicht gedeckt.                                                           | Q01         |
| 1856        | Eunice Newton Foote | Weist im Versuch nach, dass ein mit Kohlendioxid gefülltes Gefäß sich in der Sonne stärker erwärmt als eines mit Luft (125 gegen 106 Grad Fahrenheit) und langsamer abkühlt, und schließt daraus auf eine wärmere Erde in einer früheren Periode mit kohlendioxidreicherer Luft. Ihren Aufsatz verliest Joseph Henry auf der Jahrestagung. | Q03;<br>Q04 |
| ab 1859     | John Tyndall        | Misst die Absorption langwelliger Wärmestrahlung durch einzelne Gase und zeigt, dass Stickstoff und Sauerstoff praktisch wirkungslos sind, Wasserdampf, Kohlensäure und Kohlenwasserstoffdämpfe dagegen nicht. Den Hauptanteil der Wirkung schreibt er ausdrücklich dem Wasserdampf zu.                                                    | Q01;<br>Q03 |

<sup>3</sup> Weart, Spencer R. / American Institute of Physics (laufend): The Discovery of Global Warming. Online-Standardwerk zur Geschichte der Klimaforschung, laufend aktualisiert [Q01] Weart zeichnet nach, wie de Saussures Kasten über Fourier zum Sprachbild des Treibhauses wurde, obwohl der zugrunde liegende Vorgang ein anderer ist.

<sup>4</sup> Encyclopédie de l'Environnement (Univ. Grenoble Alpes) (2021): Thinking about climate change (16th–21st centuries). Fachencyklopädischer Übersichtsbeitrag zur Ideengeschichte des Klimabegriffs [Q02] Der Beitrag ordnet die frühen Aussagen von Boyle, Duhamel du Monceau und Buffon der Landnutzungsdebatte zu und grenzt sie ausdrücklich von der späteren Gastheorie ab.

| Jahr | Wer                        | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Quelle      |
|------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1896 | Svante Arrhenius           | Rechnet erstmals durch, wie stark sich die Erde bei Verdopplung des Kohlendioxidgehalts erwärmt: 4,95 bis 6,05 Grad je nach Breitenzone. Arvid Högbom liefert die Abschätzung der Freisetzung durch die Kohleverbrennung. Seine bekannte Einschätzung, die Erwärmung werde Jahrhunderte brauchen und sei eher wünschenswert, stammt nicht aus dieser Arbeit, sondern aus dem Buch von 1906/1908 [Q48]. | Q01;<br>Q48 |
| 1899 | Thomas Chrowder Chamberlin | Entwickelt die Kohlendioxidtheorie des Klimawandels ausführlich und verbindet sie mit der Erdgeschichte.                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Q01         |
| 1901 | Nils Gustaf Ekholm         | Verwendet das Bild vom Glas eines Gewächshauses für die Wirkung der Lufthülle. Die feste englische Wendung „greenhouse effect“ führt erst Poynting 1907 ein; das Bild selbst ist älter.                                                                                                                                                                                                                | Q01         |

Tabelle 3: Stufe 2 — von Fourier bis Ekholm.

Der erste Schritt ist eine Bilanz. Fourier stellte 1824 fest, dass die Erde mehr Wärme behält, als sie bei freier Abstrahlung ins Weltall behalten dürfte, und schloss daraus auf eine Wirkung der Lufthülle. Er wusste nicht, welches Gas dafür verantwortlich ist — sein Beitrag besteht darin, überhaupt eine Bilanz aufzumachen und eine Lücke darin auszuweisen.

Der zweite Schritt ist das Experiment. Eunice Newton Foote füllte 1856 Glaszylinder mit verschiedenen Gasen, stellte sie in die Sonne und maß, welcher sich am stärksten erwärmte und am längsten warm blieb: der mit Kohlendioxid, 125 gegen 106 Grad Fahrenheit für gewöhnliche Luft. Sie zog daraus den Schluss, eine Lufthülle aus diesem Gas gäbe der Erde eine hohe Temperatur, und wenn die Luft — wie manche annahmen — in einer früheren Periode mehr davon enthalten habe, müsse daraus eine wärmere Erde gefolgt sein. Der Schluss weist also zurück in die Erdgeschichte, nicht voraus, und sie begründet ihn außer mit der Wirkung des Gases auch mit dessen größerem Gewicht. Ihren Aufsatz verlas auf der Jahrestagung der American Association for the Advancement of Science Joseph Henry, der Sekretär der Smithsonian Institution, mit den Worten, die Wissenschaft kenne kein Land und kein Geschlecht; danach geriet die Arbeit in Vergessenheit.<sup>5</sup> John Tyndall maß ab 1859 die Sache genauer und physikalisch richtig. Er untersuchte nicht die Erwärmung im Sonnenlicht, sondern die Absorption (das Verschlucken) der langwelligen Wärmestrahlung durch einzelne Gase. Das Ergebnis: Stickstoff und Sauerstoff, die 99 Prozent der Luft ausmachen, sind praktisch wirkungslos — ihre Wirkung sei so klein, schreibt er, dass die geringste Verunreinigung sie überdecke. Wasserdampf, Kohlensäure und Kohlenwasserstoffdämpfe sind es nicht. Den Hauptanteil

<sup>5</sup> Ashley, Steven / SPIE (2020): Something's a-foote with Climate Science History. Fachjournalistische Aufarbeitung der Foote-Tyndall-Kontroverse [Q04] Footes Arbeit wurde erst 2010 wiederentdeckt; seither wird über die Priorität gegenüber Tyndall diskutiert.

der Wirkung schreibt Tyndall dabei ausdrücklich dem Wasserdampf zu und nennt die Kohlensäure nachgeordnet.<sup>6</sup>

Der dritte Schritt ist die Rechnung. Arrhenius setzte 1896 die gemessenen Absorptionseigenschaften in eine Strahlungsbilanz ein und kam auf 5 bis 6 Grad Erwärmung bei Verdopplung des Kohlendioxidgehalts — genauer auf 4,95 Grad in den Tropen bis 6,05 Grad in hohen nördlichen Breiten. Der Wert liegt zu hoch, die Rechnung war von Hand ausgeführt und beruhte auf lückenhaften Daten — aber die Größenordnung stimmte, und zwar in einer Weise, die keine spätere Arbeit grundsätzlich revidiert hat. Bemerkenswert ist, was sein Kollege Arvid Högbom beisteuerte: eine Abschätzung, wieviel Kohlendioxid die Kohleverbrennung der Industrie freisetzt. Damit war der Zusammenhang zwischen Wirtschaftstätigkeit und Erdtemperatur erstmals vollständig formuliert — 1896.

Arrhenius selbst hielt das Ergebnis für eine ferne und eher wünschenswerte Aussicht und rechnete mit Jahrhunderten — allerdings nicht in dieser Arbeit, sondern erst zehn Jahre später in einem populärwissenschaftlichen Buch.<sup>7</sup> Mit den Kohlemengen seiner Zeit war das eine realistische Rechnung; die Beschleunigung, die erst die Generationen nach ihm in Gang setzten, konnte er nicht vorhersehen. Für diese Chronologie ist etwas anderes wesentlich: Schon die Entdecker sahen in dem Befund kein Problem. Die Erwärmung hatte von Anfang an kein Sprachbild, das zum Handeln drängt.

## 2.3 Stufe 3: Messung und Modell (1920 – 1987)

Die dritte Stufe ist die eigentliche Arbeitsphase. Hier entsteht, was eine These von einer Tatsachenbehauptung unterscheidet: Messreihen, widerlegte Einwände und Rechenmodelle, die man an unabhängigen Daten prüfen kann.

| Jahr        | Wer                   | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                      | Quelle |
|-------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1920 / 1941 | Milutin Milanković    | Berechnet die Wirkung der Schwankungen der Erdbahn auf die Sonneneinstrahlung und liefert die Erklärung der Eiszeitzyklen – die Grundlage, an der sich spätere Klimamodelle prüfen lassen. | Q01    |
| 1938        | Guy Stewart Callendar | Weist in den weltweiten Temperaturmessreihen eine Erwärmung nach und führt sie auf die Kohlendioxidemissionen zurück – die erste Verbindung von Theorie und Messung.                       | Q01    |

<sup>6</sup> The Royal Institution (2020): Who discovered the greenhouse effect?. Beitrag der Royal Institution zur Zuschreibungsfrage Foote/Tyndall [Q03] Die Royal Institution ordnet beide Beiträge als eigenständig ein und weist Foote die zeitlich frühere Beobachtung zu.

<sup>7</sup> Arrhenius, Svante (1906 / 1908): Das Werden der Welten (englisch: Worlds in the Making). Leipzig 1907 bzw. London 1908 [Q48] In der Arbeit von 1896 steht weder etwas über Wünschbarkeit noch über Zeiträume; die Zuordnung an das Buch ist hier nach der Fachliteratur geführt, die Fundstelle im Original nicht nachgeschlagen.

| Jahr        | Wer                                          | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Quelle |
|-------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>1955</b> | Hans E. Suess                                | Zeigt über die Kohlenstoffisotope (Spielarten desselben Elements mit unterschiedlich schwerem Kern), dass das zusätzliche Kohlendioxid aus fossilen Quellen stammt – eine Herkunftsbestimmung, die keine Modellannahme braucht.                                                                                                                                                                         | Q01    |
| <b>1956</b> | Gilbert N. Plass                             | Rechnet die Strahlungsbilanz mit den damals neuen Rechenanlagen nach und kommt für den wolkenfreien Fall auf 3,6 Grad bei Verdopplung und 3,8 Grad Abkühlung bei Halbierung; mit Bewölkung ergeben sich rund 2,5 Grad.                                                                                                                                                                                  | Q01    |
| <b>1957</b> | Roger Revelle und Hans E. Suess              | Untersuchen den Austausch von Kohlendioxid zwischen Luft und Meer und sprechen vom „geophysikalischen Großexperiment“. Ihre veröffentlichte Kernaussage lautet, der Ozean habe den größten Teil des bisher freigesetzten Kohlendioxids bereits aufgenommen; die Begrenzung dieser Aufnahme durch den Pufferfaktor ist ein Nebenstrang der Arbeit, der erst später zum „Revelle-Faktor“ ausgebaut wurde. | Q28    |
| <b>1958</b> | Charles David Keeling                        | Beginnt die fortlaufende Messung des Kohlendioxidgehalts am Mauna Loa auf Hawaii. Die Auswertung von 1960 belegt zunächst den Jahresgang; den Anstieg weist Keeling dort am Südpol mit rund 1,3 ppm im Jahr nach und bezeichnet die Schätzung ausdrücklich als vorläufig. Die frühen Werte liegen bei rund 311 bis 315 ppm.                                                                             | Q01    |
| <b>1967</b> | Syukuro Manabe und Richard Wetherald         | Legen das erste physikalisch geschlossene Modell aus Strahlung und Konvektion (Wärmemitführung durch aufsteigende Luft) vor und kommen bei festgehaltener relativer Feuchte und mittlerer Bewölkung auf 2,36 Grad bei Verdopplung — gegenüber 1,33 Grad ohne Wasserdampfdruckkopplung.                                                                                                                  | Q01    |
| <b>1975</b> | Wallace S. Broecker                          | Fragt in „Science“, ob wir am Rand einer ausgeprägten globalen Erwärmung stehen, und führt den Ausdruck „global warming“ ein.                                                                                                                                                                                                                                                                           | Q01    |
| <b>1976</b> | James Hays, John Imbrie, Nicholas Shackleton | Bestätigen die Erdbahnzyklen an Tiefseebohrkernen – das Klimasystem reagiert nachweislich auf kleine Änderungen des Strahlungshaushalts.                                                                                                                                                                                                                                                                | Q01    |

| Jahr | Wer                                               | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                     | Quelle |
|------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1979 | Jule Charney und die National Academy of Sciences | Beziffern die Erwärmung bei Verdopplung auf 1,5 bis 4,5 Grad und halten fest, dass kein übersehener Effekt sie verhindern kann. Im selben Jahr findet die erste Weltklimakonferenz statt. | Q06    |
| 1987 | Jean-Marc Barnola, Claude Lorius u. a.            | Weisen im Eisbohrkern von Wostok über 160.000 Jahre die enge Kopplung von Kohlendioxidgehalt und Temperatur nach.                                                                         | Q01    |

Tabelle 4: Stufe 3 — von Milanković bis zu den Eisbohrkernen von Wostok.

Drei Einträge dieser Tabelle verdienen eine Erläuterung, weil sie die Beweislage jeweils grundsätzlich verändert haben. Der erste ist Callendar 1938. Er trug die Temperaturmessreihen von rund zweihundert Wetterstationen zusammen, fand eine Erwärmung und führte sie auf die Kohlendioxidemissionen zurück. Damit war die Theorie zum ersten Mal an Messdaten angeschlossen. Die Fachwelt blieb skeptisch — zu Recht, denn die Datenbasis war dünn. Der zweite ist Suess 1955. Er zeigte über das Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope (Spielarten desselben Elements mit unterschiedlich schwerem Kern), dass das zusätzliche Kohlendioxid aus fossilen Quellen stammt. Fossiler Kohlenstoff ist so alt, dass er kein radioaktives Kohlenstoff-14 mehr enthält; die Luft wird also messbar „älter“. Diese Herkunftsbestimmung braucht kein Modell und keine Annahme.

Der dritte ist Revelle und Suess 1957. Bis dahin lautete der stärkste Einwand gegen die ganze These: Der Ozean ist riesig, er wird das zusätzliche Gas schlucken. Die beiden zeigten über die Karbonatchemie des Meerwassers (die Chemie der Kalk- und Kohlensäureverbindungen im Meer), dass die Aufnahme durch den *Pufferfaktor* (eine Kennzahl, die angibt, um wieviel der Kohlendioxidgehalt der Luft steigen muss, damit der Ozean eine zusätzliche Menge aufnimmt) begrenzt ist. Aus derselben Arbeit stammt der Satz, die Menschheit führe ein geophysikalisches Großexperiment durch, wie es sich in der Vergangenheit nicht ereignet hat und in Zukunft nicht wiederholen lässt.<sup>8</sup>

Diese Arbeit ist der unmittelbare Anlass für den nächsten Eintrag: Charles David Keeling begann 1958, den Kohlendioxidgehalt der Luft am Mauna Loa auf Hawaii fortlaufend zu messen — weit genug von Industrie und Vegetation entfernt, um ein sauberes Signal zu bekommen. Die *Keeling-Kurve* (die seit 1958 lückenlose Messreihe des Kohlendioxidgehalts) zeigte zunächst den Jahresgang; den Anstieg selbst wies Keeling in seiner Auswertung von 1960 am Südpol nach, wo die längste Reihe vorlag, mit rund 1,3 ppm im Jahr. Er bezeichnete die Schätzung ausdrücklich als vorläufig. Binnen weniger Jahre war die Frage „steigt es überhaupt?“ dennoch nicht mehr diskutierbar. Die frühen

<sup>8</sup> Revelle, Roger; Suess, Hans E. (1957): Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO<sub>2</sub> during the past decades. *Tellus* 9, S. 18–27 [Q28] Die Arbeit ist in diesem Punkt nicht eindeutig: Ihre veröffentlichte Kernaussage lautet, der Ozean habe den größten Teil des bisher freigesetzten Kohlendioxids bereits aufgenommen. Die Begrenzung durch den Pufferfaktor ist ein Nebenstrang, der erst später zum „Revelle-Faktor“ ausgebaut wurde. Dass die Arbeit die Messreihe am Mauna Loa auslöste, ist eine Zuschreibung der Wissenschaftsgeschichte; im Text steht nur der Aufruf, die Gelegenheit des Internationalen Geophysikalischen Jahres zu nutzen.

Werte lagen bei rund 311 bis 315 ppm — Millionstel Anteilen am Gasgemisch —, heute liegt der Wert über 420 ppm.<sup>9</sup>

Am Ende dieser Stufe steht der Charney-Bericht von 1979. Er fasste mehrere unabhängige Modelle zusammen, verglich sie und kam zu einer Spanne von 1,5 bis 4,5 Grad mit 3 Grad als wahrscheinlichstem Wert. Wichtiger als die Zahl ist die Begründung, die die Verfasser mitlieferten: Sie hatten ausdrücklich nach einem übersehenen physikalischen Effekt gesucht, der die Erwärmung auf eine vernachlässigbare Größe mindern oder umkehren könnte, und keinen gefunden. Damit war die naturwissenschaftliche Grundfrage 1979 beantwortet. Alles, was danach an Forschung folgte, betraf Geschwindigkeit, regionale Verteilung und Folgen — nicht mehr das Ob.

## 2.4 Stufe 4: Die Warnung an die Entscheider (1965 – 1990)

Die vierte Stufe überlappt die dritte. Sie beginnt, bevor die Forschung abgeschlossen ist, und sie ist für die Frage dieses Dokuments die entscheidende: Ab hier kann sich niemand mehr auf Unkenntnis berufen, der Verantwortung trägt.

| Jahr | Wer                                                                           | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                    | Quelle |
|------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1965 | Wissenschaftlicher Beraterstab des US-Präsidenten                             | Erster Regierungsbericht, der vor der Erwärmung durch Kohlendioxid warnt; vorgelegt an Präsident Johnson im November 1965.                               | Q05    |
| 1972 | Club of Rome                                                                  | „Die Grenzen des Wachstums“ macht die Endlichkeit der Senken – auch der Lufthülle – einem Massenpublikum bewusst, behandelt das Klima aber nur am Rande. | Q01    |
| 1978 | Hoimar von Ditfurth                                                           | Erklärt im ZDF zur besten Sendezeit den Kohlendioxidanstieg und seine Folgen – der Befund erreicht in Deutschland ein Millionenpublikum.                 | Q07    |
| 1985 | Carl Sagan                                                                    | Erläutert dem US-Senat den Treibhauseffekt am Beispiel der Venus; die Anhörungsreihe geht auf Al Gore zurück.                                            | Q08    |
| 1985 | UNEP/WMO-Konferenz von Villach                                                | Erklärt erstmals international, dass eine erhebliche Erwärmung zu erwarten ist – die Vorstufe des IPCC.                                                  | Q01    |
| 1986 | Deutsche Physikalische Gesellschaft und Deutsche Meteorologische Gesellschaft | Gemeinsamer Warnruf vor der Klimaänderung; der „Spiegel“ macht daraus im August 1986 das Titelbild mit dem Kölner Dom im Wasser.                         | Q09    |

<sup>9</sup> World Meteorological Organization (2025): State of the Global Climate 2025. Jahresbericht der Weltorganisation für Meteorologie [Q22] Der Bericht dokumentiert Konzentration, Temperatur, Ozeanwärmeinhalt und Meeresspiegel für das Jahr 2025. Der oft genannte Ausgangswert von 315 ppm für 1958 stammt aus der später neu kalibrierten Scripps-Reihe, nicht aus Keelings Arbeit von 1960.

| Jahr        | Wer                                     | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                 | Quelle |
|-------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>1987</b> | Deutscher Bundestag                     | Setzt die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ ein.                                                                                                                                                                                             | Q10    |
| <b>1988</b> | James E. Hansen                         | Erklärt am 23. Juni 1988 vor dem US-Senat, die Erwärmung sei bereits eingetreten und mit 99-prozentiger Sicherheit nicht natürlichen Ursprungs; im selben Jahr wird der IPCC (Weltklimarat, der den Stand der Forschung für die Regierungen zusammenfasst) gegründet. | Q01    |
| <b>1990</b> | Deutscher Bundestag und Bundesregierung | Abschlussbericht der Enquete-Kommission; die Bundesregierung erklärt das Ziel, die Kohlendioxidemissionen bis 2005 um 25 Prozent zu senken. Im selben Jahr erscheint der erste IPCC-Sachstandsbericht.                                                                | Q10    |

Tabelle 5: Stufe 4 — der Weg des Befunds aus dem Fachkreis heraus.

Der Bericht des wissenschaftlichen Beraterstabs an Präsident Johnson vom November 1965 ist der Nullpunkt der Rechnung in Abschnitt 3.1. Der von Roger Revelle geführte Unterausschuss sagte einen Anstieg des Kohlendioxidgehalts um rund 25 Prozent gegenüber dem Stand des 19. Jahrhunderts bis zum Jahr 2000 voraus und benannte Eisschmelze, Meeresspiegelanstieg und Erwärmung der Ozeane als Folgen. Aufschlussreich ist, was der Bericht nicht enthält: Eine Verminderung der Emissionen wird nicht erwogen. Stattdessen empfiehlt er ausdrücklich, absichtliche gegensteuernde Klimaänderungen gründlich zu prüfen, und nennt als Beispiel das Ausbringen kleiner reflektierender Partikel über großen Meeresflächen — für eine Änderung der Reflexion um ein Prozent veranschlagt er rund 500 Millionen Dollar im Jahr. Die Denkrichtung „wir ändern das Klima zurück“ ist also nicht neu, sondern stand am Anfang.<sup>10</sup>

Für den deutschen Sprachraum sind drei Einträge bemerkenswert. Hoimar von Ditfurth erklärte 1978 im ZDF zur besten Sendezeit, in der Reihe „Querschnitte“ unter dem Titel „Der Ast, auf dem wir sitzen“, den Kohlendioxidanstieg seit Beginn der Industrialisierung und leitete daraus Erwärmung, Abschmelzen der Eismassen und Meeresspiegelanstieg ab — sachlich, mit Schautafeln, ohne Alarmton.<sup>11</sup> Acht Jahre später, 1986, warnten die Deutsche Physikalische Gesellschaft und die Deutsche Meteorologische Gesellschaft in einem gemeinsamen Aufruf und forderten eine drastische

<sup>10</sup> President's Science Advisory Committee (Unterausschuss Revelle) (1965): Restoring the Quality of Our Environment, Appendix Y4: Atmospheric Carbon Dioxide. Bericht an US-Präsident Lyndon B. Johnson, November 1965 [Q05] Die 25 Prozent sind das mittlere von mehreren Szenarien; die Spanne reicht von 14 bis 30 Prozent. Der Bericht ist der erste an einen Präsidenten gerichtete Regierungsbericht, der die Erwärmung durch Kohlendioxid ausführlich als ernstzunehmendes Problem behandelt; angesprochen hatte Präsident Johnson das Thema bereits im Februar 1965 in einer Botschaft an den Kongress.

<sup>11</sup> Ditfurth, Hoimar von / ZDF (1978): Der Ast, auf dem wir sitzen (Reihe „Querschnitte“). Fernsehsendung des ZDF; Ausschnitt im ZDF-Schulportal, Einordnung bei heise online [Q07] Ditfurth trug denselben Befund 1985 in seinem Buch „So laßt uns denn ein Apfelbäumchen pflanzen“ zusammen.

Verminderung der Emissionen; „Der Spiegel“ machte daraus im August 1986 das Titelbild mit dem halb im Wasser stehenden Kölner Dom und prägte damit das Wort von der „Klimakatastrophe“.<sup>12</sup>

Der dritte Eintrag ist der wichtigste, weil er den deutschen Gesetzgeber betrifft: 1987 setzte der Deutsche Bundestag die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ ein — eine aus Abgeordneten und Sachverständigen zusammengesetzte Untersuchungskommission —, die 1990 einen mehrbändigen Abschlussbericht vorlegte und eine Verminderung der deutschen Kohlendioxidemissionen um 25 bis 30 Prozent bis 2005 empfahl. Die Bundesregierung machte sich das 25-Prozent-Ziel zu eigen.<sup>13</sup> Der Vorgang ist der deutsche Beleg für den Befund des Teils B: Es fehlte weder an Wissen noch an Konsens noch an einem beschlossenen Ziel.

## 2.5 Stufe 5: Bestätigung, Konsens und Recht (1992 – 2025)

Die fünfte Stufe enthält keine neue Grundeinsicht mehr. Sie besteht aus Bestätigung, Präzisierung und aus der Übersetzung des Befunds in Verträge und Rechtspflichten.

| Jahr        | Wer                                       | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                    | Quelle |
|-------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1992        | Vereinte Nationen / Potsdam               | Klimarahmenkonvention von Rio; Gründung des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung.                                                                                                                                                                  | Q01    |
| 1995 / 1996 | IPCC, Benjamin Santer u. a.               | Der zweite Sachstandsbericht erkennt einen „erkennbaren menschlichen Einfluss“; die Fingerabdruckmethode (Vergleich der beobachteten Erwärmungsmuster mit denen, die verschiedene Ursachen erzeugen würden) trennt menschliche von natürlichen Ursachen. | Q01    |
| 1997 / 2015 | Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention | Protokoll von Kyoto; Übereinkommen von Paris mit der 1,5-Grad-Marke.                                                                                                                                                                                     | Q25    |
| 1999        | Jean-Robert Petit, Jean Jouzel u. a.      | Der Eisbohrkern von Wostok liefert vier vollständige Eiszeitzyklen über 420.000 Jahre: Temperatur und Kohlendioxid laufen eng gekoppelt, der Kohlendioxidgehalt lag nie über rund 300 ppm. Vorlage der bekannten Grafik „400.000 Jahre“.                 | Q40    |

<sup>12</sup> Deutsche Physikalische Gesellschaft und Deutsche Meteorologische Gesellschaft (1986/87): Warnung vor drohenden weltweiten Klimaänderungen durch den Menschen. Gemeinsamer Aufruf, abgedruckt in: Physikalische Blätter 43 (1987), Heft 8 [Q09] Klimaforscher wie Hartmut Graßl würdigten die Wirkung als Weckruf, bezeichneten die Bildsprache aber als stark übertrieben — der Meeresspiegel ist seither um rund zehn Zentimeter gestiegen.

<sup>13</sup> Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (1990): Schutz der Erde. Abschlussbericht, BT-Drucksache 11/8030. Abschlussbericht der 1987 eingesetzten Kommission des 11. Deutschen Bundestages [Q10] Der Abschlussbericht wurde parteiübergreifend getragen; das Ziel wurde nicht erreicht.

| Jahr        | Wer                                                                                    | Beitrag und Bedeutung                                                                                                                                                                                                                                                   | Quelle      |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 2004 / 2008 | EPICA-Gemeinschaft<br>(Augustin u. a. 2004;<br>Lüthi u. a. 2008; Jouzel u.<br>a. 2007) | Der Bohrkern Dome C verlängert die Reihen auf 800.000 Jahre und acht Eiszeitzyklen. Die zusammengeführte Kohlendioxidreihe (Bereiter u. a. 2015) ist die Grundlage von Abbildung 3; der heutige Wert liegt rund 40 Prozent über dem höchsten Wert dieser 800.000 Jahre. | Q35;<br>Q36 |
| 2015        | Daniel Feldman u. a.                                                                   | Messen den zusätzlichen Strahlungsantrieb des Kohlendioxids unmittelbar am Erdboden – die letzte Lücke der Beweiskette schließt sich.                                                                                                                                   | Q11         |
| 2021        | IPCC                                                                                   | Der sechste Sachstandsbericht nennt den menschlichen Einfluss „eindeutig“ – ohne Wahrscheinlichkeitszusatz.                                                                                                                                                             | Q25         |
| 2023        | Geoffrey Supran, Stefan Rahmstorf, Naomi Oreskes                                       | Weisen nach, dass die konzerneigenen Klimamodelle von Exxon seit 1977 zutreffend rechneten, während der Konzern öffentlich Unsicherheit betonte.                                                                                                                        | Q12         |
| 2024 / 2025 | WMO                                                                                    | 2024 ist das erste Kalenderjahr mit rund 1,5 Grad über vorindustriellem Niveau; 2025 gehört zu den drei wärmsten je gemessenen Jahren.                                                                                                                                  | Q22         |
| 2025        | Internationaler Gerichtshof                                                            | Gutachten vom 23. Juli 2025: Der Klimaschutz ist eine völkerrechtliche Pflicht der Staaten gegenüber der Staatengemeinschaft.                                                                                                                                           | Q27         |

Tabelle 6: Stufe 5 — feste Gremien, Bestätigung und der Übergang in geltendes Recht.

Zwei Einträge sind für die Argumentation wichtig. Der erste ist Feldman und Mitarbeiter 2015. Bis dahin war der *Strahlungsantrieb* (die zusätzliche Energie je Quadratmeter, die durch die veränderte Zusammensetzung der Lufthülle im System bleibt) aus Labormessungen und Modellen erschlossen. Feldman maß die zurückgestrahlte Wärme unmittelbar am Erdboden, an zwei Stationen über elf Jahre, und fand die Zunahme, die aus dem gemessenen Kohlendioxidanstieg zu erwarten war. Damit ist die Kette vollständig geschlossen: Laborspektroskopie (die Messung im Labor, welche Strahlung ein Gas verschluckt), Modellrechnung und Freilandmessung fügen sich zusammen.<sup>14</sup>

Der zweite ist das Gutachten des Internationalen Gerichtshofs vom 23. Juli 2025. Der Gerichtshof stellte fest, dass Staaten völkerrechtlich verpflichtet sind, das Klimasystem zu schützen, dass die 1,5-Grad-Grenze hierfür der maßgebliche Bezugspunkt ist und dass diese Pflichten gegenüber der

<sup>14</sup> Feldman, D. R. u. a. (2015): Observational determination of surface radiative forcing by CO<sub>2</sub> from 2000 to 2010. *Nature* 519, S. 339–343  
[Q11] Gemessen wurde an zwei Messfeldern des amerikanischen Energieministeriums, in den Southern Great Plains und an der Nordküste Alaskas, eine Zunahme um  $0,2 \pm 0,06$  beziehungsweise  $0,2 \pm 0,07$  Watt je Quadratmeter und Jahrzehnt, jeweils unter wolkenfreien Bedingungen. Strahlungstransportrechnungen gehen in die Auswertung mit ein; es handelt sich also nicht um einen unabhängigen Vergleich von Messwert und Modellwert.

Staatengemeinschaft insgesamt wirken.<sup>15</sup> Damit ist die Frage des Handelns aus dem politischen in den rechtlichen Bereich verschoben. Das verschiebt zugleich die Begründungslast: Zu begründen ist nicht mehr der Schutz des Klimasystems, sondern sein Unterlassen.

## 2.6 Die Verdichtung der Evidenz

Die bisherige Darstellung folgt der Zeit. Für die Frage, ab wann eine Aussage nicht mehr vernünftig bestreitbar ist, taugt die Zeitachse allein aber nicht. Man muss zählen, wie viele voneinander unabhängige Nachweisketten es gibt — wie dicht also die Evidenz ist, die Gesamtheit der Belege. Unabhängig heißt hier: Die eine Kette bräuchte nicht zu stimmen, damit die andere gilt. Wer die Aussage bestreiten will, muss nicht eine Messung erklären, sondern alle.

Abbildung 2: Verdichtung der Evidenz – aus Versatzstücken wird ein Gebäude

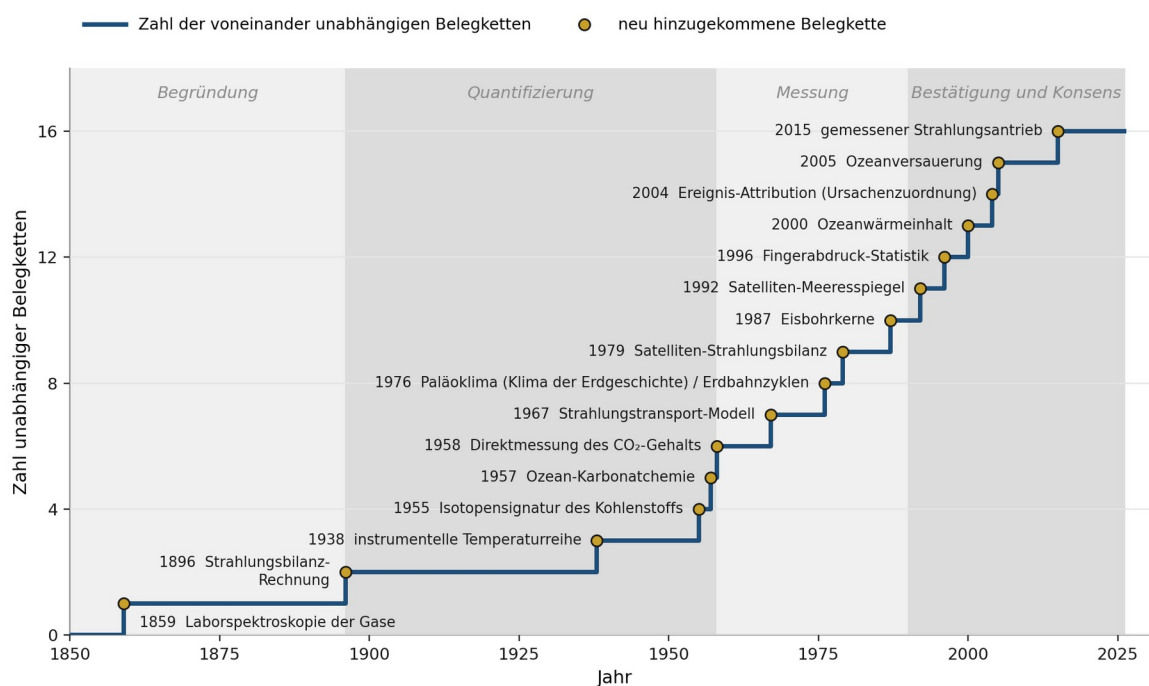


Abbildung 2: Zahl der voneinander unabhängigen Belegketten, 1850 bis heute. Die Einzelnachweise stehen in Tabelle 7.

| Jahr | Belegkette                     | Was sie zeigt                                                                            |
|------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1859 | Laborspektroskopie der Gase    | Absorption (Verschlucken) langwelliger Wärmestrahlung, gemessen an reinen Gasen im Labor |
| 1896 | Strahlungsbilanz-Rechnung      | Durchgerechnete Temperaturwirkung einer Verdopplung des Kohlendioxidgehalts              |
| 1938 | instrumentelle Temperaturreihe | Weltweite Thermometerdaten zeigen einen Erwärmungstrend                                  |

<sup>15</sup> Internationaler Gerichtshof (2025): Obligations of States in respect of Climate Change, Advisory Opinion. Gutachten vom 23. Juli 2025, Az. 187 (auf Ersuchen der UN-Generalversammlung, Res. 77/276) [Q27] Das Gutachten erging auf Ersuchen der UN-Generalversammlung, zurückgehend auf eine Initiative Vanuatus.

| Jahr | Belegkette                                           | Was sie zeigt                                                                                 |
|------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1955 | Isotopensignatur des Kohlenstoffs                    | Das zusätzliche Kohlendioxid stammt nachweislich aus fossilen Quellen                         |
| 1957 | Ozean-Karbonatchemie                                 | Der Pufferfaktor begrenzt die Aufnahme durch den Ozean                                        |
| 1958 | Direktmessung des CO <sub>2</sub> -Gehalts           | Fortlaufende Messreihe am Mauna Loa (Keeling-Kurve)                                           |
| 1967 | Strahlungstransport-Modell                           | Physikalisch geschlossene Modellrechnung aus Strahlung und Konvektion                         |
| 1976 | Paläoklima (Klima der Erdgeschichte) / Erdbahnzyklen | Tiefseebohrkerne bestätigen die Reaktion des Klimas auf kleine Antriebsänderungen             |
| 1979 | Satelliten-Strahlungsbilanz                          | Messung des Strahlungshaushalts der Erde vom Orbit aus                                        |
| 1987 | Eisbohrkerne                                         | Kopplung von Kohlendioxidgehalt und Temperatur über 160.000 Jahre (Wostok)                    |
| 1992 | Satelliten-Meeresspiegel                             | Radar-Höhenmessung vom Satelliten liefert eine vom Küstenpegel unabhängige Meeresspiegelreihe |
| 1996 | Fingerabdruck-Statistik                              | Statistische Trennung menschlicher und natürlicher Ursachen                                   |
| 2000 | Ozeanwärmeinhalt                                     | Der weitaus größte Teil der zusätzlichen Wärme steckt im Ozean                                |
| 2004 | Ereignis-Attribution (Ursachenzuordnung)             | Zuordnung einzelner Extremereignisse zum veränderten Klima                                    |
| 2005 | Ozeanversauerung                                     | Sinkender pH-Wert des Meerwassers als unabhängiger Beleg der CO <sub>2</sub> -Aufnahme        |
| 2015 | gemessener Strahlungsantrieb                         | Direkte Messung der zusätzlichen Gegenstrahlung am Erdboden                                   |

Tabelle 7: Die sechzehn Belegketten im Einzelnen.

Die Abbildung zeigt, wie sich die Belege verdichtet haben. Bis etwa 1950 gibt es drei Belegketten — eine Labormessung, eine Rechnung und eine Temperaturreihe —, und jede einzelne ließe sich mit gutem Grund anzweifeln. In den fünfziger Jahren kommen binnen vier Jahren drei weitere hinzu, die jeweils einen anderen Zugang wählen: Isotope, Meerwasserchemie, Direktmessung. Ab den achtziger

Jahren kommen die Ketten hinzu, die aus ganz anderen Fächern stammen — Eiskernbohrung, Satellitenphysik, Meereschemie, Statistik. Heute sind es sechzehn.

Daraus folgt eine Aussage, die sich in einer Diskussion verwenden lässt: Eine Widerlegung müsste erklären, warum sechzehn unabhängige Verfahren aus sieben Fachgebieten übereinstimmend zum selben Ergebnis kommen. Der Punkt ist erkenntnistheoretisch, nicht politisch. Er gilt auch dann, wenn eine einzelne Kette später korrigiert wird — und das ist mehrfach geschehen.<sup>16</sup>

## 2.7 Der große Zusammenhang: 800.000 Jahre in zwei Bildern

Die Chronologie hat gezeigt, wann das Wissen vorlag. Wer ihr bis hierher gefolgt ist, stellt an dieser Stelle zu Recht eine Frage: Woher weiß man, dass die heutige Erwärmung nicht eine der natürlichen Schwankungen ist, die es immer gegeben hat? Die Antwort liefern die Eisbohrkerne (Bohrkerne aus dem antarktischen Eisschild, in deren Luftbläschen die Luft vergangener Jahrtausende eingeschlossen ist). Sie reichen 800.000 Jahre zurück und enthalten beides: den Kohlendioxidgehalt der eingeschlossenen Luft und, über das Verhältnis der Wasserstoff-Isotope im Eis, die Temperatur, bei der der Schnee fiel. Die beiden folgenden Abbildungen sind aus diesen Originaldaten gerechnet, nicht aus einer Vorlage nachgezeichnet.

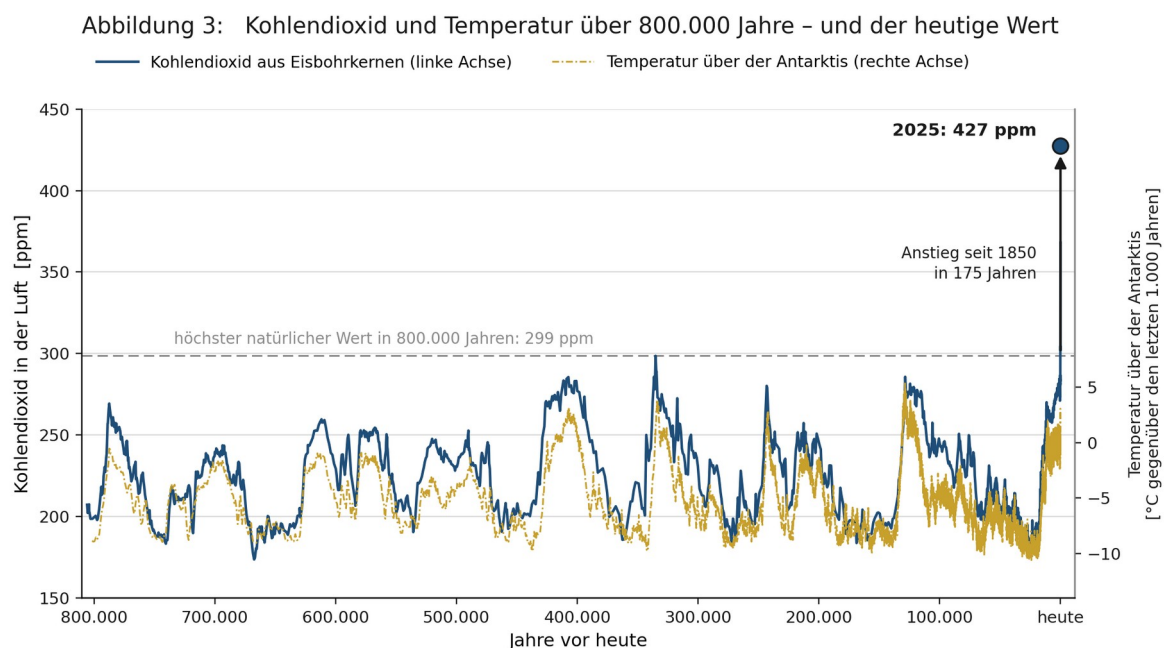


Abbildung 3: Kohlendioxidgehalt der Luft (blau, linke Achse) und Temperatur über der Antarktis (gold, rechte Achse) über die letzten 800.000 Jahre aus antarktischen Eisbohrkernen; der blaue Punkt ist das Kohlendioxid-Jahresmittel 2025 am Mauna Loa. Die Temperatur über der Antarktis schwankt etwa zwei- bis dreimal so stark wie die Weltmitteltemperatur [Q47]. Datengrundlage: Bereiter u. a. 2015, Jouzel u. a. 2007, NOAA; unverändert übernommen, „vor heute“ bezogen auf 2025.

Abbildung 3 ist so zu lesen: Die blaue Linie ist der Kohlendioxidgehalt, die goldene die Temperatur über der Antarktis, beide über 800.000 Jahre bis heute. Acht Mal fällt die Temperatur in eine Eiszeit

<sup>16</sup> Weart, Spencer R. / American Institute of Physics (laufend): The Discovery of Global Warming. Online-Standardwerk zur Geschichte der Klimaforschung, laufend aktualisiert [Q01] Weart beschreibt die Korrekturen ausführlich, darunter die zeitweilige Abkühlungsdebatte der siebziger Jahre, die sich an verbesserten Aerosoldaten auflöste.

und steigt wieder — und jedes Mal geht das Kohlendioxid mit, zwischen rund 175 ppm und 300 ppm. Der blaue Punkt rechts oben ist der heutige Wert: 427 ppm im Jahresmittel 2025, gemessen am Mauna Loa. Er liegt 43 Prozent über dem höchsten Wert, der in 800.000 Jahren auf natürlichem Weg erreicht wurde.<sup>17</sup>

Die acht Zyklen haben eine bekannte Ursache, und sie ist nicht das Kohlendioxid. Es sind die Erdbahnzyklen (langsame Schwankungen der Erdbahn und der Erdachse — Form der Bahn, Neigung und Kreiselbewegung der Achse — mit Perioden von 20.000 bis 100.000 Jahren), die Milanković 1920 berechnete (Abschnitt 2.3) und die 1976 in den Meeressedimenten nachgewiesen wurden (Belegkette 8 in Tabelle 7). Sie verändern, wie viel Sonnenlicht im Sommer auf die Nordhalbkugel fällt. Das reicht aus, um die Eisschilde wachsen oder schmelzen zu lassen. Es reicht aber nicht aus, um den ganzen Temperaturhub zu erklären. Dafür braucht es die Rückkopplung (einen Vorgang, der seine eigene Ursache verstärkt): Erwärmt sich der Ozean, gibt er Kohlendioxid ab; das Kohlendioxid verstärkt die Erwärmung; der wärmere Ozean gibt mehr ab. So wird aus einem kleinen Anstoß ein ganzer Eiszeitzyklus.

Genau hier setzt der bekannteste Einwand an, und er verdient eine ehrliche Antwort. In den Eiskernen läuft beim Ausstieg aus einer Eiszeit die Temperatur über der Antarktis dem Kohlendioxid um einige Jahrhunderte voraus; für den Ausstieg vor 240.000 Jahren wurden  $800 \pm 200$  Jahre gemessen.<sup>18</sup> Wer daraus schließt, Kohlendioxid könne die Temperatur nicht antreiben, übersieht zwei Dinge. Erstens war die Reihenfolge damals eine andere: Der Anstoß kam von der Erdbahn, das Kohlendioxid folgte aus dem Ozean und verstärkte. Heute kommt das Kohlendioxid zuerst — aus Kohle, Öl und Gas. Dass es von dort stammt, zeigen die Isotope (Suess 1955, Belegkette 4), der messbare Rückgang des Sauerstoffs in der Luft und die Versauerung der Ozeane (Belegkette 15). Zweitens gilt der Vorlauf nur für die Antarktis. Aus achtzig weltweit verteilten Temperaturreihen ergibt sich, dass die Erde als Ganzes beim Ausstieg aus der letzten Eiszeit dem Kohlendioxid gefolgt ist, nicht umgekehrt.<sup>19</sup> Die Physik ist in beiden Fällen dieselbe: Mehr Kohlendioxid bedeutet eine wärmere Erde. Ob es als Verstärker oder als Auslöser wirkt, hängt allein davon ab, wer es in die Luft bringt.

---

<sup>17</sup> Bereiter, Bernhard u. a. (2015): Revision of the EPICA Dome C CO<sub>2</sub> record from 800 to 600 kyr before present. *Geophysical Research Letters* 42, S. 542–549; Datensatz „Antarctic Ice Cores Revised 800Kyr CO<sub>2</sub> Data“ bei NOAA NCEI [Q35] Die Zusammenstellung aus sieben Bohrkernen ist die maßgebliche Kohlendioxidreihe der letzten 800.000 Jahre; die Temperaturreihe stammt aus dem Bohrkern Dome C [Q36], der heutige Wert vom Mauna Loa [Q37].

<sup>18</sup> Caillon, Nicolas u. a. (2003): Timing of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Antarctic Temperature Changes Across Termination III. *Science* 299, S. 1728–1731 [Q41] Die Verfasser ziehen aus dem Vorlauf nicht den Schluss, Kohlendioxid sei wirkungslos, sondern schreiben ausdrücklich, der Strahlungsantrieb durch Kohlendioxid könne als Verstärker eines anfänglichen Erdbahnantriebs dienen. Gemessen wurde an einer einzelnen Termination und an der Temperatur über der Antarktis, nicht an der Weltmitteltemperatur.

<sup>19</sup> Shakun, Jeremy D. u. a. (2012): Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature* 484, S. 49–54 [Q42] Die weltweit gemittelte Temperatur folgt dem Kohlendioxid um  $460 \pm 340$  Jahre. Die Arbeit erklärt den größten Teil der mittleren Erwärmung an diesen achtzig Standorten durch den Kohlendioxidanstieg, während der Erdbahnantrieb unmittelbar nur wenig bewirkt; sie nennt aber auch eine Ausnahme, nämlich rund 0,3 Grad weltweite Erwärmung vor dem Einsetzen des Kohlendioxidanstiegs. Einen Betrag der gesamten Erwärmung nennt sie nicht; die rund sechs Grad in Abbildung 4 stammen aus Q43.

## Der Ausschnitt seit dem Eiszeitmaximum

Abbildung 4 zeigt den Ausschnitt, der für die heutige Lage am meisten sagt: die letzten 21.000 Jahre, vom Maximum der letzten Eiszeit bis heute, in vier Teilbildern.

Abbildung 4: Vom Eiszeitmaximum bis heute – 21.000 Jahre in einem Bild

4.1 und 4.2: Eisbohrkerne · 4.3 und 4.4: dieselben Größen seit 1750 mit den heutigen Messreihen · blauer Punkt: Jahresmittel 2025

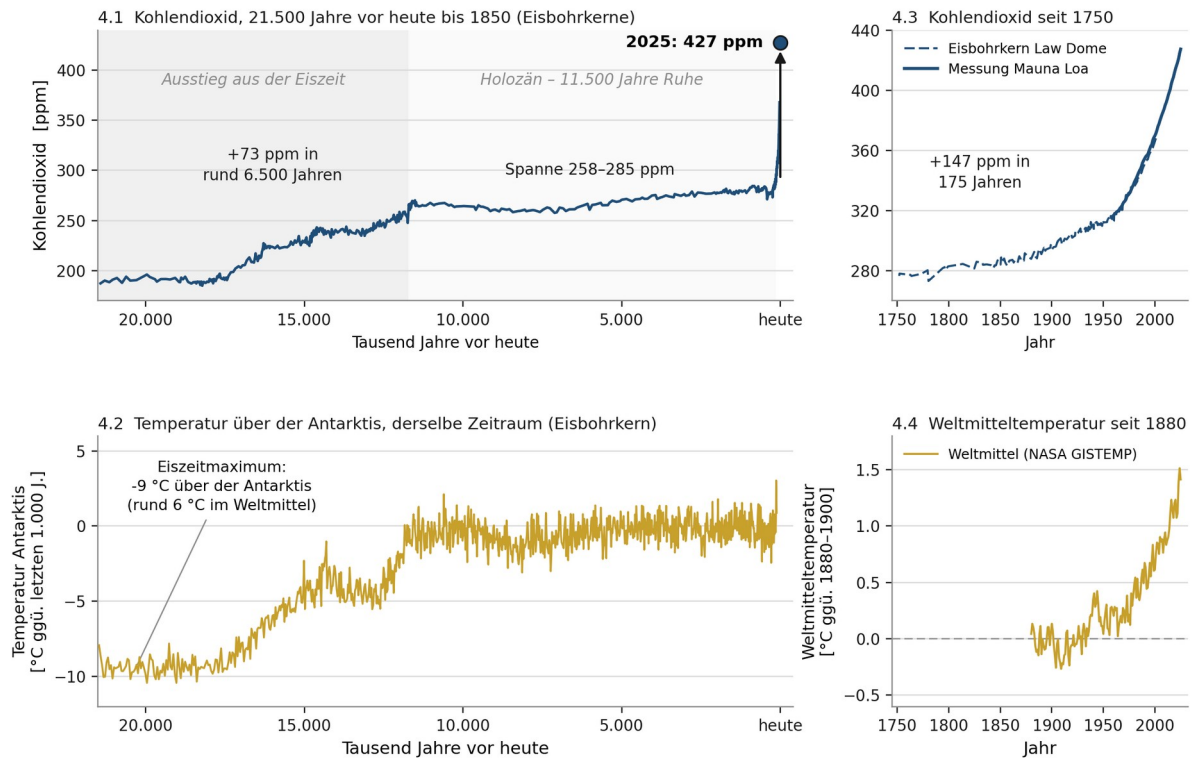


Abbildung 4: Vier Teilbilder. 4.1 Kohlendioxid und 4.2 Temperatur über der Antarktis aus Eisbohrkernen, von 21.500 Jahren vor heute bis 1850; 4.3 Kohlendioxid seit 1750 aus dem Bohrkern Law Dome (gestrichelt) und der Messreihe am Mauna Loa (durchgezogen); 4.4 Weltmitteltemperatur seit 1880 nach NASA GISTEMP gegenüber 1880–1900. Der blaue Punkt in 4.1 ist das Kohlendioxid-Jahresmittel 2025. Datengrundlage wie Abbildung 3, ergänzt um Q37 und Q38.

Die Teilbilder 4.1 und 4.2 zeigen die Eiskerndaten — oben das Kohlendioxid, unten die Temperatur über der Antarktis —, die Teilbilder 4.3 und 4.4 dieselben Größen seit 1750 mit den heutigen Messreihen. Zu erkennen sind drei Abschnitte. Der Ausstieg aus der Eiszeit (linker Teil von 4.1 und 4.2): Zwischen 18.000 und 11.500 Jahren vor heute stieg das Kohlendioxid um rund 73 ppm, von 190 ppm auf 265 ppm; die Antarktis erwärmte sich um neun Grad, die Welt im Mittel um rund sechs.<sup>20</sup> Das ist der größte natürliche Klimaumschwung, den Menschen je erlebt haben — und er brauchte 6.500 Jahre. Das Holozän (rechter Teil von 4.1; die jetzige Warmzeit, die vor 11.700 Jahren begann und in die die gesamte Geschichte von Landwirtschaft, Städten und Schrift fällt): 11.500 Jahre, in denen das Kohlendioxid zwischen 258 ppm und 285 ppm blieb, eine Spanne von 27 ppm. Und die letzten 175 Jahre (Teilbild 4.3): ein Anstieg um 147 ppm — doppelt so viel wie beim Ausstieg aus der Eiszeit, in einem Vierzigstel der Zeit.

<sup>20</sup> Tierney, Jessica E. u. a. (2020): Glacial cooling and climate sensitivity revisited. Nature 584, S. 569–573 [Q43] Die weltweite Zahl stammt aus einer Zusammenführung von Klimadaten und Modellrechnung: Im Maximum der letzten Eiszeit war die Erde im Mittel 6,1 Grad kälter als vorindustriell (Vertrauensbereich 6,5 bis 5,7 Grad). Dass die Antarktis stärker schwankt als das Weltmittel, ist an der Westantarktis belegt: Dort beträgt die Erwärmung seit der Eiszeit  $11,3 \pm 1,8$  Grad, nach Angabe der Verfasser das Zwei- bis Dreifache des Weltmittels [Q47]. Der Faktor streut regional; für die Ostantarktis ist die Höhe der Abkühlung fachlich strittig.

| Kennzahl                                                       | Wert    | Einheit            |
|----------------------------------------------------------------|---------|--------------------|
| CO <sub>2</sub> im Eiszeitmaximum (vor 19.000–23.000 Jahren)   | 190     | ppm                |
| CO <sub>2</sub> am Ende der Eiszeit (vor 11.000–11.700 Jahren) | 264     | ppm                |
| CO <sub>2</sub> im Holozän vor 1750 — niedrigster Wert         | 258     | ppm                |
| CO <sub>2</sub> im Holozän vor 1750 — höchster Wert            | 285     | ppm                |
| CO <sub>2</sub> vorindustriell (1700–1850)                     | 281     | ppm                |
| Höchster natürlicher CO <sub>2</sub> -Wert in 800.000 Jahren   | 299     | ppm                |
| CO <sub>2</sub> heute (Jahresmittel 2025, Mauna Loa)           | 427     | ppm                |
| Anstieg beim Ausstieg aus der Eiszeit                          | 73      | ppm                |
| Anstiegsrate beim Ausstieg aus der Eiszeit (6.500 Jahre)       | 1,1     | ppm je Jahrhundert |
| Anstieg seit der Industrialisierung (bis 2025)                 | 147     | ppm                |
| Anstiegsrate seit der Industrialisierung (175 Jahre)           | 83,8    | ppm je Jahrhundert |
| Anstiegsrate der letzten zehn Jahre                            | 263,4   | ppm je Jahrhundert |
| Verhältnis der Anstiegsraten (Industrialisierung zu Eiszeit)   | 74      | -                  |
| Heutiger Wert über dem höchsten natürlichen Wert               | 43 %    | %                  |
| Temperatur über der Antarktis im Eiszeitmaximum                | -9,4 °C | °C (Antarktis)     |
| Weltmitteltemperatur 2015–2024 gegenüber 1880–1900             | +1,2 °C | °C                 |
| Weltmitteltemperatur 2024 gegenüber 1880–1900                  | +1,5 °C | °C                 |

Tabelle 8: Kennzahlen des großen Zusammenhangs, gerechnet aus den Rohdaten der Abbildungen 3 und 4. Zeitfenster: Eiszeitmaximum 19.000 bis 23.000, Ende der Eiszeit 11.000 bis 11.700, Holozän 10.000 bis 200 Jahre vor 1950; Antarktistemperaturen gegenüber dem Mittel der letzten 1.000 Jahre.

Ein zweiter Befund aus den Bohrkernen gehört hierher, weil er später wiederkehrt. Hartmut Heinrich fand 1988 in Sedimentkernen aus dem Nordatlantik Lagen von Gesteinsschutt, den nur Eis vom Kontinent dorthin getragen haben kann, und datierte ihren mittleren Abstand auf 11.000 Jahre.<sup>21</sup> Woher der Schutt stammte, klärten erst die Arbeiten der neunziger Jahre: aus dem nordamerikanischen Eisschild, der durch die Hudsonstraße immer wieder massenhaft Eisberge entließ.<sup>22</sup> Das Schmelzwasser störte die atlantische Umwälzströmung (den Kreislauf, der warmes Oberflächenwasser nach Norden und kaltes Tiefenwasser nach Süden führt; der Golfstrom ist sein bekanntester Ast), und das Klima rund um den Nordatlantik kippte binnen Jahrzehnten.<sup>23</sup> Diese Heinrich-Ereignisse erklären nicht die Eiszeitzyklen — die kommen von der Erdbahn. Sie zeigen etwas anderes: Das Klimasystem hat Kipppunkte, an denen es nicht langsam, sondern sprunghaft reagiert. Genau diese Kipppunkte fehlen in den Rechenwerken, um die es in Abschnitt 3.2.3 geht.

**In 800.000 Jahren hat das Kohlendioxid nie 300 ppm überschritten. Heute stehen wir bei 427 ppm. Der natürliche Ausstieg aus der letzten Eiszeit brauchte 6.500 Jahre für 73 ppm; die Industrialisierung brauchte 175 Jahre für 147 ppm. Was heute geschieht, ist keine der Schwankungen, die es immer gab. Es ist ein sich beschleunigender Vorgang, der bereits rund siebzimal schneller abläuft als der natürliche Ausstieg aus der letzten Eiszeit — und im letzten Jahrzehnt noch einmal dreimal so schnell wie im Mittel seit 1850.**

---

<sup>21</sup> Heinrich, Hartmut (1988): Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary Research* 29, S. 142–152 [Q39] Heinrich nennt  $11.000 \pm 1.000$  Jahre, die halbe Periode der Kreiselbewegung der Erdbachse. Er gewichtet dabei Meereis stärker als Eisberge und nennt weder den nordamerikanischen Eisschild noch die Umwälzströmung; beides klärten erst die Folgearbeiten. Die Lagen wurden nach ihrem Entdecker benannt.

<sup>22</sup> Broecker, Wallace S. (1994): Massive iceberg discharges as triggers for global climate change. *Nature* 372, S. 421–424 [Q45] Broecker fasst den Befund zusammen und formuliert die Kausalkette; die Herkunft des Schutts wurde über seine Zusammensetzung und die Isotope bestimmt (Andrews und Tedesco 1992, Broecker u. a. 1992, Grousset u. a. 1993).

<sup>23</sup> Bond, Gerard u. a. (1993): Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature* 365, S. 143–147 [Q46] Erst die Verknüpfung der Sedimentlagen mit den grönländischen Eiskernen belegt, wie schnell das Klima dabei umschlug.

## 3 Teil B — Die Handlungslücke

### 3.1 Der Befund in Zahlen

Die Frage, warum nicht gehandelt wird, setzt voraus, dass sich das Nichthandeln beziffern lässt. Das ist der Fall. Die Bezugsgröße ist die Menge an Kohlendioxid, die seit 1850 aus fossilen Quellen freigesetzt wurde, und der Bezugszeitpunkt ist jeweils das Datum, an dem eine Warnung ausgesprochen wurde. Die folgende Abbildung zeigt denselben Sachverhalt zweimal: einmal als aufsummierten Stand und einmal als jährlichen Ausstoß.

**Abbildung 5: Wann das Wissen vorlag – und wann emittiert wurde**

Dieselben Daten zweimal: 5.1 der aufsummierte Stand, 5.2 der jährliche Ausstoß — die untere Kurve ist die Steigung der oberen. In beiden Teilbildern sind es 20 zu 80 Prozent.

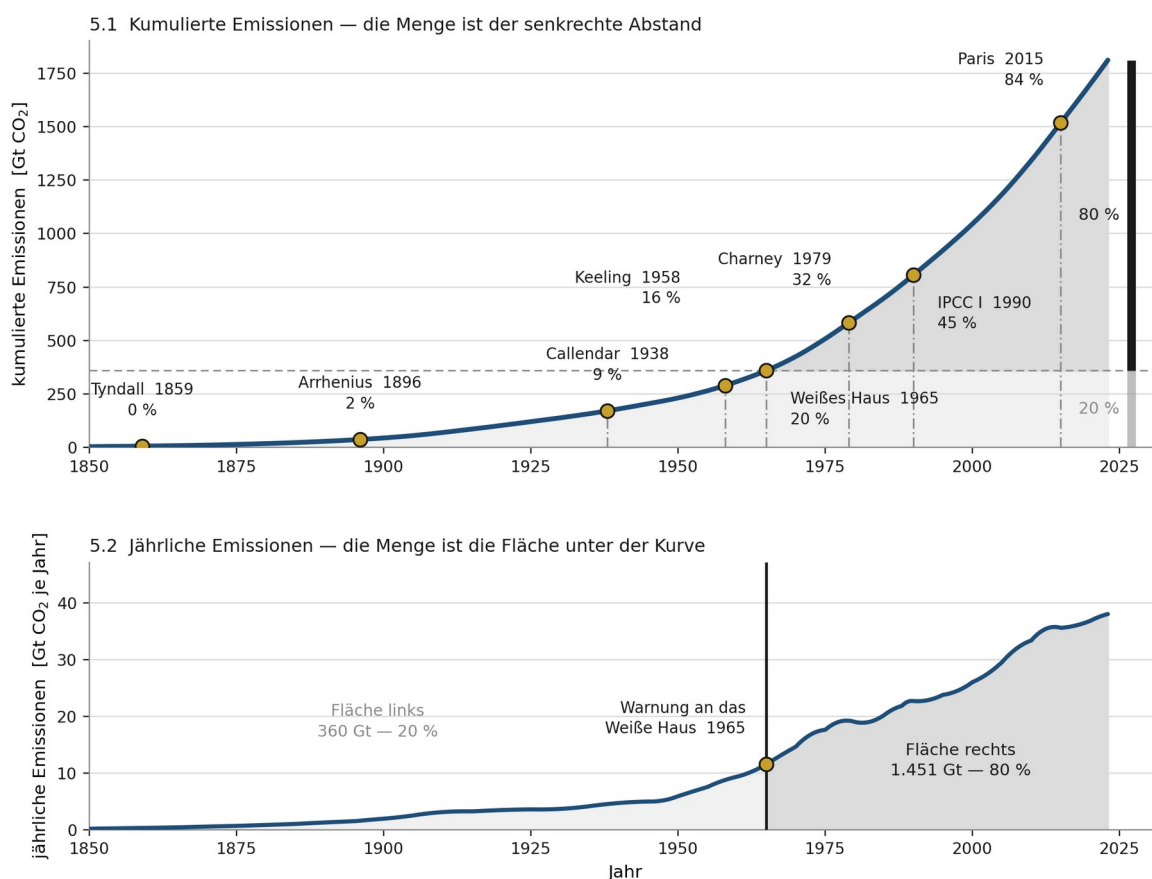


Abbildung 5: Fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1850 mit den Zeitpunkten der wichtigsten Erkenntnisse und Warnungen, in zwei Teilbildern. 5.1 zeigt die kumulierten Emissionen; die Prozentwerte an den Marken geben an, welcher Anteil der bis Ende 2023 insgesamt freigesetzten Menge zum jeweiligen Zeitpunkt bereits emittiert war. Auf dieser Kurve sind Mengen senkrechte Abstände, nicht Flächen — deshalb der zweigeteilte Maßstab am rechten Rand. 5.2 zeigt dieselben Daten als jährlichen Ausstoß, also als Steigung der oberen Kurve; hier ist die Menge die Fläche unter der Kurve, und der senkrechte Schnitt bei 1965 teilt sie in 360 Gt links und 1.451 Gt rechts — 20 zu 80 Prozent. Beide Teilbilder sagen dasselbe; 5.2 macht es unmittelbar als Fläche ablesbar.

| Jahr        | Ereignis                                           | bis dahin<br>freigesetzt [Gt<br>CO <sub>2</sub> ] | Anteil an der<br>Gesamtmenge | danach<br>freigesetzt |
|-------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| <b>1859</b> | Tyndall: Absorption der Gase gemessen              | 7                                                 | 0 %                          | 100 %                 |
| <b>1896</b> | Arrhenius: Erwärmung erstmals berechnet            | 38                                                | 2 %                          | 98 %                  |
| <b>1938</b> | Callendar: Erwärmung in Messreihen<br>nachgewiesen | 172                                               | 9 %                          | 91 %                  |
| <b>1958</b> | Keeling: laufende CO <sub>2</sub> -Messung beginnt | 290                                               | 16 %                         | 84 %                  |
| <b>1965</b> | Warnung an das Weiße Haus                          | 360                                               | 20 %                         | 80 %                  |
| <b>1979</b> | Charney-Bericht: 1,5 bis 4,5 Grad                  | 583                                               | 32 %                         | 68 %                  |
| <b>1988</b> | Hansen vor dem US-Senat; IPCC gegründet            | 762                                               | 42 %                         | 58 %                  |
| <b>1990</b> | Erster IPCC-Sachstandsbericht                      | 807                                               | 45 %                         | 55 %                  |
| <b>2015</b> | Übereinkommen von Paris                            | 1.518                                             | 84 %                         | 16 %                  |

*Tabelle 9: Emissionsstand zum Zeitpunkt der wichtigsten Warnungen. Gesamtmenge bis Ende 2023: 1.811 Gt CO<sub>2</sub>. Jahre ohne eigene Stützstelle in der Datenreihe sind interpoliert; sie sind hier als solche gekennzeichnet.*

Die Tabelle enthält drei Zahlen, die man sich merken sollte. Als 1965 die erste Warnung an eine Regierung ging, waren 20 Prozent der Gesamtmenge freigesetzt — vier Fünftel kamen danach. Als Hansen 1988 vor dem US-Senat aussagte und der IPCC gegründet wurde, waren es 42 Prozent — 58 Prozent kamen danach. Als 1990 der erste IPCC-Sachstandsbericht erschien und der Deutsche Bundestag sein 25-Prozent-Ziel beschloss, waren es 45 Prozent.<sup>24</sup>

Die Zahlen widerlegen zwei verbreitete Entlastungsargumente. Das erste lautet, die Erkenntnis sei zu spät gekommen. Sie kam, als vier Fünftel der Emissionen noch bevorstanden. Das zweite lautet, die eigentlichen Emissionen stammten aus der Vergangenheit, aus Kohle und Industrialisierung, und seien historisch nicht mehr zurechenbar. Das Gegenteil ist der Fall: Der überwiegende Teil ist jüngerer Datums, freigesetzt von Gesellschaften, die den Befund kannten. Die jährlichen Emissionen liegen heute bei 37,4 Milliarden Tonnen im Jahr, und ein Höhepunkt ist nicht zu erkennen: Seit 2015 wachsen sie zwar langsamer, mit 0,3 Prozent im Jahr gegenüber 1,9 Prozent im Jahrzehnt davor, erreichen aber weiterhin Jahr für Jahr neue Höchstwerte.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Our World in Data / Global Carbon Project (2025): Cumulative CO<sub>2</sub> emissions. Datenreihe der kumulierten globalen Kohlendioxidemissionen seit 1750 [Q21] Die Datenreihe ist unter der angegebenen Fundstelle vollständig einsehbar.

<sup>25</sup> Global Carbon Project / Friedlingstein, P. u. a. (2024): Global Carbon Budget 2024. Earth System Science Data 17, S. 965–1039; Begleitmaterial des Global Carbon Project [Q20] Einschließlich Landnutzungsänderungen waren es 2024 rund 41,6 Milliarden Tonnen. Die

### 3.1.1 Derselbe Befund als Lebensspanne

Die Zahlen des vorigen Abschnitts sind richtig, aber abstrakt. Sie werden greifbar, wenn man den Bezugspunkt wechselt: nicht das Jahr einer Warnung, sondern das Geburtsjahr eines Menschen.

Abbildung 6: Das Problem ist jünger, als die Erzählung nahelegt – und der Anteil wächst weiter

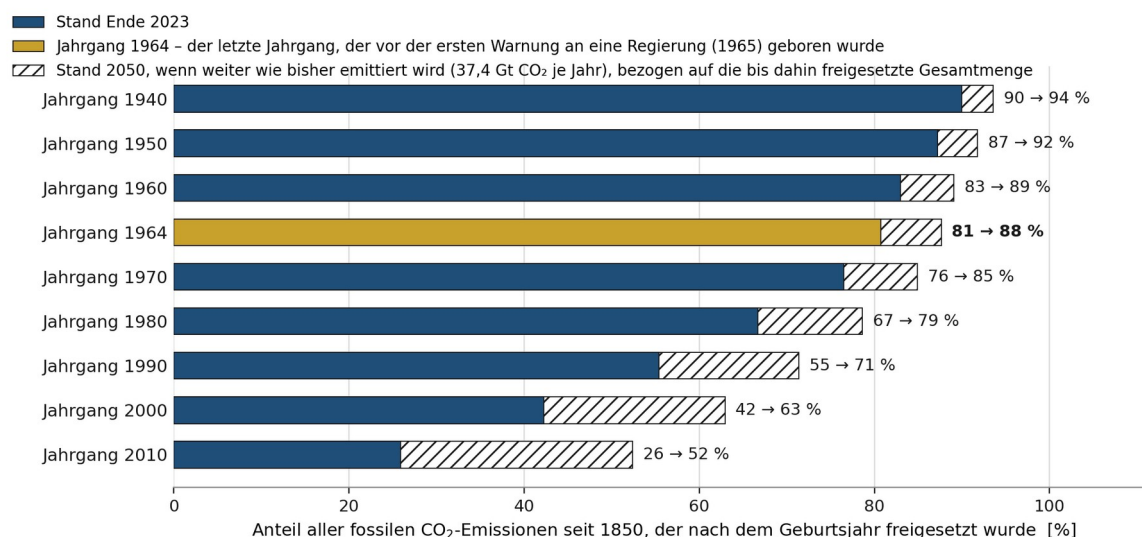


Abbildung 6: Anteil der weltweiten fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1850, der nach dem jeweiligen Geburtsjahr freigesetzt wurde. Volle Balken: Stand Ende 2023. Schraffierte Verlängerung: Stand 2050, wenn weiter mit 37,4 Milliarden Tonnen im Jahr emittiert wird, bezogen auf die bis dahin insgesamt freigesetzte Menge. Berechnet aus derselben Datenreihe wie Abbildung 5; Zwischenjahre sind interpoliert.

Abbildung 6 ist so zu lesen: Jeder Balken gibt an, welcher Anteil aller seit 1850 weltweit freigesetzten fossilen Kohlendioxid-Emissionen in die Zeit nach dem jeweiligen Geburtsjahr fällt. Der Balken misst also nicht, was ein Jahrgang verursacht hat, sondern was während seiner Lebenszeit geschehen ist — die Emissionen der ganzen Welt, nicht die eines Landes oder einer Person. Der Jahrgang 1964 ist hervorgehoben, weil er der letzte ist, der vor der ersten Warnung an eine Regierung geboren wurde: Wer ihm angehört, hat sein gesamtes Leben in einer Zeit verbracht, in der der Befund den Entscheidern bekannt war.

| Geburtsjahr | bis dahin weltweit freigesetzt [Gt CO <sub>2</sub> ] | danach freigesetzt, also zu Lebzeiten |
|-------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1940        | 181                                                  | 90 %                                  |
| 1950        | 232                                                  | 87 %                                  |
| 1960        | 308                                                  | 83 %                                  |
| 1964        | 349                                                  | 81 %                                  |

Zahlen sind der Stand des Global Carbon Budget 2024; die Ausgabe 2025 revidiert sie geringfügig nach oben (2024: 37,8 beziehungsweise 42,4 Milliarden Tonnen) und veranschlagt für 2025 rund 38,1 Milliarden Tonnen aus fossilen Quellen.

| Geburtsjahr | bis dahin weltweit freigesetzt [Gt CO <sub>2</sub> ] | danach freigesetzt, also zu Lebzeiten |
|-------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1970        | 426                                                  | 76 %                                  |
| 1980        | 603                                                  | 67 %                                  |
| 1990        | 807                                                  | 55 %                                  |
| 2000        | 1.045                                                | 42 %                                  |
| 2010        | 1.342                                                | 26 %                                  |

Tabelle 10: Derselbe Befund nach Geburtsjahrgängen. Gesamtmenge bis Ende 2023: 1.811 Gt CO<sub>2</sub>.

Wer 1964 geboren wurde, hat vier Fünftel aller fossilen Kohlendioxid-Emissionen seit 1850 zu Lebzeiten miterlebt. Bei den Jahrgängen der Elterngeneration sind es noch mehr. Das ist keine Schuldzuweisung an einen Jahrgang — kein Einzelner hat diese Menge zu verantworten, und wer 1964 geboren wurde, hatte als Kind auf nichts davon Einfluss. Es ist eine Aussage über die Lage der Verantwortung: Die Menschen, in deren Lebenszeit die Hauptmenge freigesetzt wurde, leben noch, und viele von ihnen entscheiden noch.

Und dieser Anteil steht nicht still. Er wächst, solange emittiert wird und solange der betreffende Jahrgang lebt. Der Grund ist einfach: Jede weitere Tonne fällt vollständig in die Lebenszeit aller, die heute leben, während die Menge vor ihrer Geburt unverändert bleibt. Wird weiter mit 37,4 Milliarden Tonnen im Jahr emittiert — dem Stand von 2024 —, dann steigt der Anteil bis 2050 für den Jahrgang 1964 von 81 auf 88 Prozent, für den Jahrgang 1940 von 90 auf 94 Prozent und für den Jahrgang 1990 von 55 auf 71 Prozent. Die schraffierten Verlängerungen in Abbildung 6 zeigen das. Für die eigene Lebensbilanz heißt das: Der Anteil ist noch nicht festgeschrieben. Er wird in den nächsten Jahrzehnten geschrieben, und zwar von denselben Menschen.

**Vier Fünftel aller fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1850 fallen in die Lebenszeit eines heute Zweiundsechzigjährigen — und dieser Anteil wächst weiter, solange emittiert wird. Wer die Geschichte beim vorindustriellen Zeitalter beginnen lässt, verlegt die Ursache in eine Zeit, in der erst 2,5 Prozent angefallen waren.**

Damit lässt sich eine verbreitete Denkfigur entkräften. Die übliche Darstellung beginnt beim vorindustriellen Zeitalter und lässt die Kurve mit der Industrialisierung ansteigen. Sie ist sachlich richtig, erzeugt aber einen falschen Eindruck: Die Ursache erscheint als etwas, das im 19. Jahrhundert angelegt wurde und an dem sich ohnehin nichts mehr ändern lässt. Die Zahlen zeigen das Gegenteil.

Bis 1900 waren 45 der 1.811 Milliarden Tonnen freigesetzt — 2,5 Prozent. Die Industrialisierung hat den Vorgang begonnen, aber nicht verursacht.

Für einen Vortrag ist das die wirksamste Zahl des ganzen Dokuments. Sie enthält keine Prognose, keine Modellannahme und keine Wertung, sondern nur Vergangenheit, und sie lässt sich vom Zuhörer auf das eigene Leben beziehen. Und sie kehrt die Schlussfolgerung um: Wenn das Problem in einer Lebenszeit entstanden ist, kann es auch in einer Lebenszeit bearbeitet werden.

## 3.2 Fünf Mechanismen

Wenn es am Wissen nicht gefehlt hat, muss die Ursache woanders liegen. Die folgenden fünf Mechanismen — Wirkungsketten, die ohne Zutun einzelner Personen immer wieder dasselbe Ergebnis erzeugen — erklären das Nichthandeln nicht einzeln, sondern in ihrem Zusammenwirken: Der erste macht das Problem unwichtig, der zweite macht es strittig, der dritte macht es unsichtbar, der vierte macht es unaussprechlich, der fünfte macht es unentschieden.

### 3.2.1 Die zeitliche Asymmetrie

Verursachung und Wirkung fallen zeitlich auseinander — daher die Asymmetrie, die Ungleichzeitigkeit von Ursache und Folge. Eine heute freigesetzte Tonne Kohlendioxid wirkt über Jahrhunderte, ihre Kosten entstehen aber weit jenseits jedes Entscheidungshorizonts. Mark Carney hat das 2015 als *Tragik des Horizonts* bezeichnet: Die Folgen des Klimawandels liegen jenseits der Zeithorizonte der drei Gruppen, die entscheiden könnten — jenseits des Konjunkturzyklus, jenseits der Wahlperiode und jenseits des Auftrags von Notenbanken und Aufsichtsbehörden. Deshalb hat kein einzelner Akteur einen Anreiz, sie einzupreisen — und wenn der Klimawandel zu einer bestimmenden Frage der Finanzstabilität wird, ist es für Gegenmaßnahmen bereits zu spät.<sup>26</sup>

Der Mechanismus ist kein Vorwurf an einzelne Personen, sondern eine Eigenschaft der Anreizstruktur. Er erklärt, warum das Thema in jeder einzelnen Entscheidung nachrangig ist, obwohl es in der Summe aller Entscheidungen vorrangig wäre. Er erklärt allerdings nicht, warum aktiv dagegen gearbeitet wurde. Dafür braucht es den zweiten Mechanismus.

### 3.2.2 Der organisierte Zweifel

Naomi Oreskes und Erik Conway haben nachgewiesen, dass dieselben wenigen Personen und Institute nacheinander Zweifel am Zusammenhang von Rauchen und Krebs, an saurem Regen, am Ozonloch und am Klimawandel organisiert haben. Das Verfahren besteht nicht darin, eine Gegenthese zu belegen, sondern darin, den Eindruck einer offenen Fachdebatte zu erzeugen. Ein internes Strategiepapier des Zigarettenherstellers Brown & Williamson von 1969 benennt das Vorgehen mit dem Satz, der Zweifel sei das Produkt.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> Carney, Mark / Bank of England (2015): Breaking the tragedy of the horizon – climate change and financial stability. Rede vor Lloyd's of London, 29. September 2015 [Q14] Die Rede schlug eine solche Arbeitsgruppe vor; eingerichtet hat die Task Force on Climate-related Financial Disclosures das Financial Stability Board am 4. Dezember 2015 auf Bitte der G20-Finanzminister. Aus ihr sind die heutigen Offenlegungspflichten hervorgegangen.

<sup>27</sup> Oreskes, Naomi; Conway, Erik M. (2010): Merchants of Doubt. Bloomsbury Press, New York; deutsch: Die Machiavellis der Wissenschaft [Q13] Das Buch belegt die personellen und finanziellen Verbindungen zwischen den Kampagnen über vier Jahrzehnte. Das Papier trägt den Titel „Smoking and Health Proposal“ und ist im Archiv der Tabakindustriedokumente unter der Nummer 680561778 einsehbar; es ist anonym verfasst.

Die schärfste Einzelbelegstelle stammt aus dem Jahr 2023. Supran, Rahmstorf und Oreskes werteten sämtliche dokumentierten Klimaprojektionen (durchgerechneten Zukunftsverläufe) von Exxon-Wissenschaftlern aus den Jahren 1977 bis 2003 aus. Die konzerneigenen Modelle sagten eine Erwärmung von  $0,20 \pm 0,04$  Grad je Jahrzehnt voraus, erreichten eine Treffergüte von  $72 \pm 6$  Prozent und waren damit mindestens so gut wie die damaligen akademischen und staatlichen Modelle. Sie verwarfen zutreffend die These einer bevorstehenden Eiszeit, sagten den Zeitpunkt richtig vorher, zu dem die Erwärmung statistisch nachweisbar werden würde, und schätzten das Kohlenstoffbudget zutreffend ab. Öffentlich bezeichnete derselbe Konzern die Klimamodelle als unbewiesen.<sup>28</sup>

Für die Fragestellung dieses Dokuments ist der Befund in einer Hinsicht entscheidend: Er trennt Nichtwissen von Nichthandeln. Wer richtig rechnet und öffentlich das Gegenteil sagt, handelt nicht aus Unkenntnis.

### 3.2.3 Die Unsichtbarkeit im Rechenwerk

Der dritte Mechanismus ist der unauffälligste und nach Einschätzung des Verfassers der wirksamste. Er benötigt weder böse Absicht noch Verschweigen, sondern nur eine Modellannahme. In den Wirtschaftsmodellen, mit denen Klimafolgen bewertet werden — den sogenannten *integrierten Bewertungsmodellen* (Modellen, die Klima- und Wirtschaftsentwicklung gemeinsam rechnen, das bekannteste ist das DICE-Modell von William Nordhaus) — steckt ein Rechenbaustein namens *Schadensfunktion*. Er übersetzt eine Temperaturerhöhung in einen Verlust an Wirtschaftsleistung. Seine Form entscheidet darüber, ob Klimarisiken in Finanzmodellen groß oder klein erscheinen.

Steve Keen hat diese Funktionen 2021 auseinandergenommen. Sein Befund: Sie beruhen unter anderem auf der Annahme, Wirtschaftstätigkeit, die in Gebäuden stattfindet, sei vom Klima praktisch unberührt — woraus folgt, dass selbst 6 Grad Erwärmung weniger als zehn Prozent der Wirtschaftsleistung kosten. Kipppunkte — Schwellen, jenseits derer ein Teilsystem des Klimas in einen anderen Zustand übergeht, den man durch Absenken der Temperatur nicht zurückholt — kommen in einer glatten quadratischen Funktion nicht vor. Keen hält fest, dass es für die Wahl gerade dieser Form keine empirische Begründung gibt, und wirft der Modelltradition vor, die Fachliteratur zu den Kipppunkten unzutreffend wiederzugeben — eine Literatur, die ausdrücklich davor warnt, glatte Verläufe erzeugten ein falsches Gefühl der Sicherheit.<sup>29</sup>

Dieselbe Funktion steckt in den Szenarien des NGFS (des Zusammenschlusses von Zentralbanken und Aufsichtsbehörden, dessen Szenarien die Rechengrundlage der Klimastresstests von Banken und Versicherern bilden). Carbon Tracker hat 2025 gezeigt, dass die dort verwendete quadratische Schadensfunktion einen glatten, gleichmäßigen Schadensverlauf erzeugt und dass Kipppunkte, die

---

<sup>28</sup> Supran, G.; Rahmstorf, S.; Oreskes, N. (2023): Assessing ExxonMobil's global warming projections. Science 379, eabk0063 [Q12] Ausgewertet wurden 16 Temperaturprognosen aus 12 Dokumenten. Die  $72 \pm 6$  Prozent gelten für die 12 Prognosen, die Exxon-eigene Wissenschaftler selbst gerechnet haben; über alle 16 Prognosen einschließlich der aus fremden Arbeiten übernommenen sind es  $67 \pm 7$  Prozent.

<sup>29</sup> Keen, Steve (2021): The appallingly bad neoclassical economics of climate change. Globalizations 18 (7), S. 1149–1177 [Q15] Keen führt das auf die Abschottung des Fachs zurück: Wer in einem Gebiet veröffentlicht hat, wird von den Herausgebern als Gutachter für dasselbe Gebiet benannt, so dass die Begutachtung den herrschenden Ansatz eher durchsetzt als prüft. Die Modelltradition wurde 2018 mit dem Wirtschaftspreis der schwedischen Reichsbank ausgezeichnet.

zwischen 0,8 und 3 Grad ausgelöst werden können — etwa der Zusammenbruch der atlantischen Umwälzströmung —, darin nicht vorkommen.<sup>30</sup>

Abbildung 7: Dieselbe Welt, zwei Rechenwerke

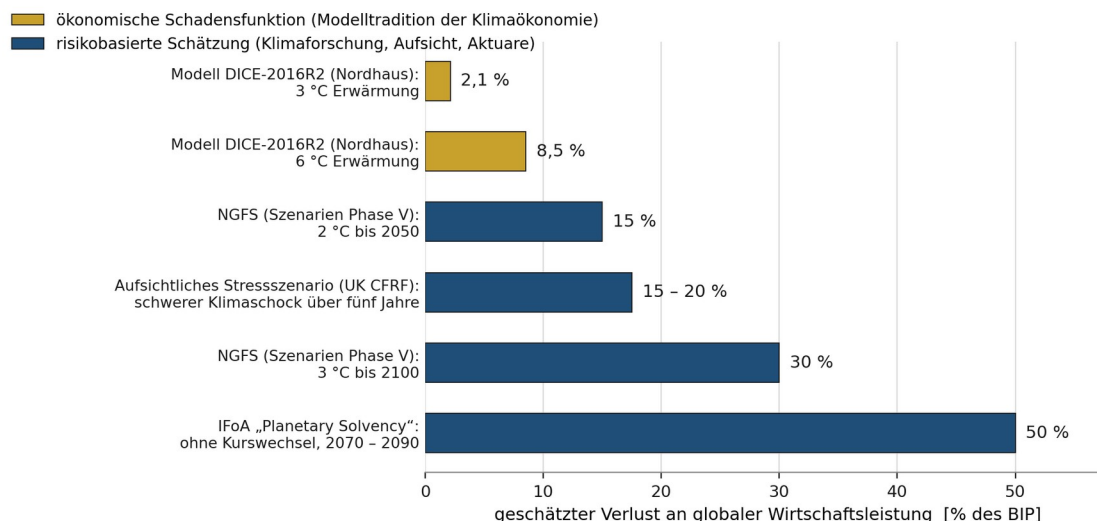


Abbildung 7: Geschätzter Verlust an globaler Wirtschaftsleistung nach ökonomischer Modelltradition (gold) und nach risikobasierter Schätzung (blau). Die Angaben beziehen sich auf unterschiedliche Temperaturniveaus und Zeithorizonte und sind nicht unmittelbar gegeneinander aufzurechnen; die Gegenüberstellung zeigt die Größenordnung, nicht einen Vergleich gleicher Szenarien.

Wie weit die beiden Rechenwerke auseinanderliegen, zeigt die Abbildung. Der britische Aktuarverband und die Universität Exeter kommen mit dem Handwerkszeug der Risikobewertung — nicht dem der Wachstumsökonomie — für den Fall unveränderter Politik auf einen Verlust von rund der Hälfte der globalen Wirtschaftsleistung zwischen 2070 und 2090.<sup>31</sup> Die Berichtsreihe trägt den Titel „Planetary Solvency“ — sinngemäß: Zahlungsfähigkeit des Planeten. Der Folgebericht vom Januar 2026 stellt den älteren ökonomischen Schätzungen von 2,1 Prozent Schaden bei 3 Grad und 8,5 Prozent bei 6 Grad ein Szenario der britischen Finanzaufsicht gegenüber: 15 bis 20 Prozent Einbruch binnen fünf Jahren [Q50]. Er benennt ausdrücklich, dass die gängigen Wirtschaftsprognosen Kipppunkte, Naturzerstörung und Gesundheitsfolgen nicht enthalten.<sup>32</sup>

<sup>30</sup> Carbon Tracker Initiative (2025): NGFS Scenarios and the Damage Done. Analyse der Szenarien des Network for Greening the Financial System, Phase V [Q17] Das Netzwerk selbst veranschlagt in der fünften Phase seiner Szenarien für 2 Grad bis 2050 rund 15 Prozent und für 3 Grad bis 2100 rund 30 Prozent Verlust an Wirtschaftsleistung; Carbon Tracker führt diese Zahlen an und hält sie weiterhin für zu niedrig. Zu beachten ist, dass die den Schätzungen zugrunde liegende Arbeit im Dezember 2025 von der Zeitschrift zurückgezogen wurde [Q51].

<sup>31</sup> Institute and Faculty of Actuaries und University of Exeter (2025): Planetary Solvency – finding our balance with nature. Bericht vom 16. Januar 2025, Hauptautor Sandy Trust [Q18] Der Bericht hält der älteren ökonomischen Schätzung entgegen, sie weise für 3 Grad nur 2 Prozent Schaden bis 2100 aus und diene damit der Begründung, der Klimawandel sei zwar besorgniserregend, aber nicht dringlich. Die Zahl von rund der Hälfte stammt aus einem umgekehrten Belastungstest des Vorgängerberichts und wird hier übernommen.

<sup>32</sup> Institute and Faculty of Actuaries und University of Exeter (2026): Parasol Lost. Vierter Bericht der Reihe, 14. Januar 2026; Autoren u. a. Sandy Trust, Jesse Abrams, David King [Q19] Derselbe Bericht behandelt den Wegfall der kühlenden Wirkung von Luftschadstoffen, die derzeit rund 0,5 Grad Erwärmung verdeckt.

| Urheber                                        | Bedingung                            | Schätzung | Art                          |
|------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|------------------------------|
| <b>Modell DICE-2016R2 (Nordhaus)</b>           | 3 °C Erwärmung                       | 2,1 %     | ökonomische Schadensfunktion |
| <b>Modell DICE-2016R2 (Nordhaus)</b>           | 6 °C Erwärmung                       | 8,5 %     | ökonomische Schadensfunktion |
| <b>NGFS (Szenarien Phase V)</b>                | 2 °C bis 2050                        | 15 %      | risikobasierte Schätzung     |
| <b>Aufsichtliches Stressszenario (UK CFRF)</b> | schwerer Klimaschock über fünf Jahre | 15 – 20 % | risikobasierte Schätzung     |
| <b>NGFS (Szenarien Phase V)</b>                | 3 °C bis 2100                        | 30 %      | risikobasierte Schätzung     |
| <b>IFoA „Planetary Solvency“</b>               | ohne Kurswechsel, 2070 – 2090        | 50 %      | risikobasierte Schätzung     |

Tabelle 11: Die Werte aus Abbildung 7 mit Bedingung und Einordnung. Vollbelege in Anhang B.

Damit ist der entscheidende Punkt erreicht. Das Klimarisiko wird an den Finanzmärkten nicht in erster Linie verschwiegen. Es ist in den Zahlen, die dort verarbeitet werden, der Höhe nach nicht enthalten.

Was das im Alltag bedeutet, zeigt der Fall eines Treuhänders. Gemeint ist damit jeder, der fremdes Vermögen für andere verwaltet — etwa der Vorstand einer Pensionskasse, der über die Altersversorgung von Tausenden entscheidet. Er ist gesetzlich verpflichtet, nach anerkannten Verfahren zu rechnen, und haftet, wenn er davon abweicht. Also nimmt er die Modellergebnisse, die ihm vorgelegt werden, und liest daraus ab: Drei Grad Erwärmung berühren das ihm anvertraute Vermögen kaum. Er verschweigt nichts, und er täuscht niemanden. Das Ergebnis steckt bereits in der Rechenvorschrift, die er benutzen muss. Die Schadensfunktion ist so gebaut, dass große Schäden gar nicht herauskommen können. Wer hier richtig rechnet, erhält das falsche Ergebnis.

### 3.2.4 Die Interessenlage des Boten

Der vierte Mechanismus ist der am häufigsten vermutete, und er lässt sich belegen — allerdings ohne Annahme einer Absprache. Wer die Botschaft überbringen müsste, hat wirtschaftliche Gründe, es nicht zu tun. Die Größenordnung ergibt sich aus zwei Zahlen. Erstens: Carbon Tracker rechnete bereits 2011 vor, dass die an den Börsen bewerteten Kohle-, Öl- und Gasreserven ein Mehrfaches dessen enthalten, was bei Einhaltung des 2-Grad-Ziels verbrannt werden darf; der Begriff der *gestrandeten Vermögenswerte* (durch Klimapolitik oder Klimafolgen vorzeitig entwerteter Vermögenswerte) wurde durch diese Arbeit auf die fossilen Reserven börsennotierter Unternehmen

übertragen.<sup>33</sup> Zweitens: Der Internationale Währungsfonds beziffert die weltweite Subventionierung fossiler Energieträger für 2022 auf rund 7 Billionen US-Dollar, das sind 7,1 Prozent der globalen Wirtschaftsleistung.<sup>34</sup>

Daraus folgt eine nüchterne Feststellung. Sie braucht keine Verschwörung. Wenn der Befund vollständig in die Bewertungen eingeht, verlieren die Bestände dieser Branche erheblich an Wert. Also wird die Branche ihn nicht von sich aus in ihre Modelle einbauen. Das ist kein Vorwurf der Unredlichkeit, sondern eine Aussage über Anreize. Man darf unterstellen, dass jeder Einzelne nach bestem Wissen handelt — und erhält dennoch dasselbe Ergebnis.

### **3.2.5 Ausgewogenheit in der medialen Berichterstattung**

Der fünfte Mechanismus betrifft die Berichterstattung. Er ist der einzige der fünf, der sich mit vergleichsweise einfachen Mitteln abstellen ließe — deshalb wird er hier ausführlicher behandelt und mit einem Vorschlag abgeschlossen.

Der Ausgangspunkt ist eine Unterscheidung, die in der Praxis oft untergeht. Eine Streitfrage ist eine Frage danach, was geschehen soll: Wie schnell soll umgebaut werden, wer zahlt, welches Mittel ist geeignet? Hier gehören zwei Seiten an den Tisch, und zwar unbedingt. Eine Tatsachenfrage ist eine Frage danach, was der Fall ist: Steigt der Kohlendioxidgehalt, und erwärmt er die Erdoberfläche? Hier gibt es keine zwei Seiten, sondern einen Sachstand und einen Streit über dessen Genauigkeit. Wer die Regel für Streitfragen auf eine Tatsachenfrage anwendet, berichtet nicht ausgewogen, sondern erzeugt einen Gleichstand, den es in der Sache nicht gibt.

Dass dies kein Einzelfall ist, sondern über Jahre die Regel war, ist ausgezählt worden. Maxwell und Jules Boykoff untersuchten 636 Beiträge der vier großen amerikanischen Tageszeitungen aus den Jahren 1988 bis 2002. 340 dieser Beiträge behandelten die Frage des menschlichen Anteils; in 52,7 Prozent von ihnen wurden menschliche Ursache und natürliche Schwankung als gleichwertige Möglichkeiten dargestellt — zu einem Zeitpunkt, als der Sachstand das längst nicht mehr hergab.<sup>35</sup>

### **Warum das Studiogespräch als Format versagt**

Die eigentliche Schieflage entsteht nicht dadurch, dass eine falsche Aussage vorkommt. Sie entsteht durch den Aufbau der Sendung. Drei Ursachen wirken zusammen, und alle drei sind unabhängig davon, wie gut die beiden Gäste sind.

---

<sup>33</sup> Carbon Tracker Initiative (2011): Unburnable Carbon – Are the world's financial markets carrying a carbon bubble?. Erstbericht zur Kohlenstoffblase [Q24] Die Rechnung lautet: 565 Milliarden Tonnen Kohlendioxid dürfen von 2011 bis 2050 noch freigesetzt werden; allein die Reserven der je hundert größten börsennotierten Kohle- sowie Öl- und Gasunternehmen entsprechen 745 Milliarden Tonnen, die nachgewiesenen Weltreserven 2.795 Milliarden Tonnen, also knapp dem Fünffachen. Der Ausdruck selbst ist älter und stammt aus der Regulierungsökonomie der neunziger Jahre.

<sup>34</sup> Internationaler Währungsfonds (2023): IMF Fossil Fuel Subsidies Data: 2023 Update. Arbeitspapier WP/23/169 [Q23] Die Zahl ist nur zum kleineren Teil eine Haushaltsausgabe: 18 Prozent sind unmittelbare Preisstützungen, 82 Prozent rechnerisch angesetzte Umwelt- und Gesundheitskosten sowie entgangene Verbrauchsteuern. Die Ausgabe von Dezember 2025 nennt für 2024 7,4 Billionen US-Dollar oder 6,4 Prozent der Wirtschaftsleistung.

<sup>35</sup> Boykoff, Maxwell T.; Boykoff, Jules M. (2004): Balance as bias: global warming and the US prestige press. *Global Environmental Change* 14, S. 125–136 [Q29] Von denselben 340 Beiträgen betonten 35,3 Prozent den menschlichen Anteil, 5,9 Prozent behandelten ausschließlich ihn, 6,2 Prozent waren überwiegend skeptisch. Die vier Zeitungen sind New York Times, Washington Post, Los Angeles Times und Wall Street Journal.

- **Die Beweislast ist ungleich verteilt.** Eine Behauptung ist in fünf Sekunden aufgestellt. Ihre Widerlegung braucht eine Messreihe, eine Einordnung und zwei Minuten Sendezeit. Wer beiden Seiten gleich viel Zeit gibt, bevorzugt damit die Seite, die nur behaupten muss.
- **Der Bestreitende bestimmt das Thema.** Er kann nach jeder Widerlegung zum nächsten Einwand wechseln. Der Fachmann muss jedem folgen, weil eine unwidersprochene Behauptung im Raum stehen bleibt. So verbringt er die Sendung damit, hinterherzulaufen, und kommt nie dazu, seinen eigenen Befund geschlossen darzustellen.
- **Es wird nicht über dieselbe Sache gesprochen.** Der eine verteidigt eine Messung, der andere eine Lebensform. Wer eine Lebensform verteidigt, nimmt Widerspruch nicht als Einwand gegen eine Aussage wahr, sondern als Angriff auf sich selbst. Fachliche Argumente erreichen ihn deshalb nicht — nicht aus Unvermögen, sondern weil sie an der falschen Stelle ansetzen.

Das Ergebnis ist regelmäßig dasselbe: Der Fachmann verlässt das Studio mit dem Eindruck, verloren zu haben, obwohl er in jedem einzelnen Punkt recht hatte. Das ist keine Frage seiner rhetorischen Begabung. Es ist eine Eigenschaft des Formats. Deshalb hilft es auch nicht, den Fachmann besser vorzubereiten; man muss das Format ändern.

Eine große Rundfunkanstalt hat diese Konsequenz gezogen. Nach einer Rüge der britischen Medienaufsicht gab die BBC ihren Redaktionen im September 2018 eine schriftliche Anleitung. Ihr Kernsatz lautet sinngemäß: Da der Klimawandel als Tatsache gilt, braucht man für die Ausgewogenheit keinen Leugner. Die Anleitung verbietet keine Gegenrede — sie verschiebt sie dorthin, wo sie hingehört: zu Tempo, Ausmaß und politischen Maßnahmen.<sup>36</sup>

### **Ein belegter Fall**

Wie das aussieht, lässt sich an einer Sendung nachvollziehen, die dokumentiert ist. Am 25. Mai 2023 saßen in der ZDF-Sendung „Markus Lanz“ der Klimaforscher Mojib Latif, der energiepolitische Sprecher einer Partei, die den Befund bestreitet, und eine Journalistin zusammen. Der Abgeordnete sprach von Hysterie und Alarmismus und berief sich für seine Zweifel auf einen Physik-Nobelpreisträger. Latif entgegnete, es handele sich durchweg um Falschbehauptungen.<sup>37</sup>

Zwei Beobachtungen an diesem Fall sind für die Auswertung wichtig, und sie weisen in verschiedene Richtungen. Die erste: Die Aufstellung selbst erzeugte die Schieflage. Ein Fachmann, der eine Messreihe vertritt, und ein Abgeordneter, der sie bestreitet, sind vor der Kamera formal gleichrangig, obwohl sie es in der Sache nicht sind. Die zweite: In einem Punkt hat das Format funktioniert. Die Redaktion prüfte die Berufung auf den Nobelpreisträger noch während der Sendung und stellte richtig, dass dieser sich öffentlich gegen die Leugnung des Klimawandels gestellt hatte. Das ist genau die dritte der unten aufgeführten Regeln in Anwendung — ein vorbereiteter Faktencheck, der die ungleiche Beweislast ausgleicht, ohne dass der Fachmann sie allein tragen muss.

---

<sup>36</sup> British Broadcasting Corporation / Fran Unsworth (2018): Interne Anleitung zur Klimaberichterstattung. Redaktionsanweisung vom 6. September 2018; Wortlaut wiedergegeben bei Carbon Brief [Q30] Anlass war eine Beanstandung von BBC Radio 4 durch die Medienaufsicht Ofcom im April 2018.

<sup>37</sup> ZDF, Sendung „Markus Lanz“ vom 25. Mai 2023 (2023): Streitgespräch zum Klimawandel mit Mojib Latif und Steffen Kotré (AfD). Fernsehsendung; Ablauf wiedergegeben in der Berichterstattung, u. a. t-online [Q34] Mojib Latif hat bei Klaus Hasselmann promoviert, der 2021 für die Grundlagen der Klimamodellierung den Nobelpreis für Physik erhielt.

Daraus folgt, dass das Problem lösbar ist. Es liegt nicht an den Beteiligten, sondern an der Vorbereitung und am Aufbau der Sendung.

### **Handwerkszeug für die Redaktion**

Aus der Kommunikationsforschung lassen sich sechs Regeln ableiten, die sich in einer Redaktionskonferenz anwenden lassen. Sie stammen aus dem international abgestimmten Leitfaden zum Widerlegen von Falschaussagen und aus dem deutschsprachigen Handbuch zur Klimakommunikation; die Zuordnung zum Studioformat ist die Auslegung dieses Dokuments.

| Regel                                                           | Was sie bedeutet                                                                                                                                                                                                  | Warum sie wirkt                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1 Die Frage zuerst einordnen</b>                             | Vor der Einladung klären: Tatsachenfrage oder Streitfrage? Nur die Streitfrage verlangt zwei Seiten.                                                                                                              | Die Unterscheidung ist der ganze Unterschied zwischen Ausgewogenheit und Verzerrung; die BBC hat sie 2018 zur Redaktionsregel gemacht. |
| <b>2 Befund vor Bewertung trennen</b>                           | Zuerst den Sachstand unstrittig darstellen — im Einspieler, in der Grafik, mit einem Fachmann allein. Erst danach über die Folgerungen streiten.                                                                  | So wird nicht in einen Topf geworfen, was nicht zusammengehört, und der Streit findet dort statt, wo er berechtigt ist.                |
| <b>3 Die ungleiche Beweislast ausgleichen</b>                   | Behauptungen vorab prüfen, Richtigstellungen eingeblendet bereithalten, die Moderation greift ein, statt nur die Zeit zu verteilen.                                                                               | Gleiche Redezeit bei ungleichem Aufwand ist keine Fairness, sondern ein Vorteil für die Seite, die nur behaupten muss.                 |
| <b>4 Die Masche vorher benennen</b>                             | Dem Publikum vor dem Gespräch erklären, mit welchen Mustern zu rechnen ist: Rosinenpicken, Scheinfachleute, unerfüllbare Beweisforderungen.                                                                       | Wer ein Muster einmal erkannt hat, erkennt es wieder. Vorbeugen wirkt nachweislich besser als nachträgliches Richtigstellen.           |
| <b>5 Tatsache - Warnung - Falschaussage - Fehler - Tatsache</b> | Wenn eine Falschaussage behandelt werden muss: mit dem richtigen Befund beginnen und enden, die Falschaussage nur einmal und angekündigt nennen, und erklären, warum sie falsch ist — nicht nur, dass sie es ist. | Diese Reihenfolge ist der abgestimmte Stand der Forschung zum Widerlegen; sie verhindert, dass die Falschaussage hängenbleibt.         |

| Regel                                                                  | Was sie bedeutet                                                                                      | Warum sie wirkt                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6 Nicht den Gegner überzeugen, sondern das Publikum informieren</b> | Der Fachmann spricht zur Kamera, nicht zum Gesprächspartner, und geht nicht auf jede Provokation ein. | Der Bestreitende ist nicht das Ziel des Gesprächs — er ist nicht zu überzeugen. Das Publikum ist erreichbar, und es entscheidet. |

Tabelle 12: Handwerkszeug für die redaktionelle Aufbereitung von Tatsachenfragen. Quellen: Leitfaden zum Widerlegen von Falschaussagen (2020), Handbuch zur Klimakommunikation (2022), Redaktionsanleitung der BBC (2018).

Der deutschsprachige Leitfaden zur Klimakommunikation führt diese Regeln aus und richtet sich ausdrücklich auch an Redaktionen; er ist frei erhältlich und wäre der naheliegende Ausgangspunkt für ein Gespräch mit einer Lokalredaktion.<sup>38</sup> Der zugrunde liegende Forschungsstand stammt aus einem Leitfaden, den 22 Fachleute im abgestimmten Verfahren erarbeitet haben.<sup>39</sup>

**Ausgewogenheit ist eine Regel für Streitfragen, nicht für Tatsachenfragen. Wer einen Fachmann und einen Bestreitenden nebeneinandersetzt, hat nicht ausgewogen berichtet: Er hat einen Gleichstand hergestellt, den es nicht gibt, und die Seite bevorzugt, die nur behaupten muss. Für Tatsachenfragen braucht es ein anderes Format — erst der Befund, dann der Streit über die Folgerungen.**

Zum Schluss die entgegengesetzte Gefahr. Der deutsche Fall von 1986 zeigt sie: Die Zuspitzung mit dem im Wasser stehenden Kölner Dom erzeugte Aufmerksamkeit — und lieferte über Jahrzehnte die Angriffsfläche, an der sich jede spätere Warnung abarbeiten musste. Wer heute eine Botschaft zum Klima formuliert, muss beide Fehler kennen: die falsche Symmetrie und die überzogene Bildsprache.

### 3.3 Die gesuchte Entsprechung, geprüft

Eine verbreitete Vermutung lautet, es gebe eine Entsprechung zwischen dem Umgang der Finanzwirtschaft mit Klimarisiken und dem Umgang der Öffentlichkeit mit der Klimaforschung: In beiden Fällen sei das Wissen vorhanden, werde aber nicht kommuniziert, weil die Kommunikation eigene Interessen verletzen würde. Die Prüfung ergibt Folgendes.

| Prüfpunkt                | Klimaforschung und Öffentlichkeit                                               | Finanzmärkte und Klimarisiko                                                         |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Wissen vorhanden?</b> | Ja, seit 1979 in entscheidungsreifer Form; seit 1965 an Regierungen adressiert. | Ja; die Risiken sind in Aufsichtspapieren und Aktuarberichten seit 2015 beschrieben. |

<sup>38</sup> klimafakten.de / Schrader, Christopher (Hrsg.) (2022): Über Klima sprechen. Das Handbuch. Deutschsprachiges Kompendium zur Klimakommunikation, als Buch und als freier Download [Q32] Das Handbuch behandelt außerdem die Wahl der Sprachbilder und die Frage, wann eine Auseinandersetzung überhaupt zu führen ist.

<sup>39</sup> Lewandowsky, Stephan; Cook, John u. a. (2020): The Debunking Handbook 2020. Von 22 Fachleuten im Delphi-Verfahren abgestimmter Leitfaden; deutsche Übersetzung verfügbar [Q31] Er hält ausdrücklich fest, dass die früher befürchtete Verstärkerwirkung des Widerlegens seltener auftritt als angenommen — Schweigen ist also nicht die sichere Alternative.

| Prüfpunkt                    | Klimaforschung und Öffentlichkeit                                                         | Finanzmärkte und Klimarisiko                                                                                    |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Wird es kommuniziert?</b> | Ja, umfangreich und seit Jahrzehnten — von Ditzfurth 1978 bis zu den Sachstandsberichten. | Teilweise; Offenlegungspflichten bestehen, die Größenordnung des Risikos taucht in den Zahlen aber nicht auf.   |
| <b>Wo liegt die Lücke?</b>   | Zwischen Kenntnis und Handeln, nicht zwischen Forschung und Öffentlichkeit.               | Im Rechenwerk: die Schadensfunktion macht das Risiko rechnerisch klein, bevor jemand es verschweigen müsste.    |
| <b>Interessenlage?</b>       | Fossile Industrie mit belegter Gegenkampagne seit den achtziger Jahren.                   | Entwertung fossiler Bestände, 7,1 Billionen US-Dollar jährliche Subventionen, Haftung der Treuhänder.           |
| <b>Wer widerspricht?</b>     | Klimaforschung, IPCC, seit 2025 auch der Internationale Gerichtshof.                      | Aktuare, Klimaforscher, Anlegerschützer — also Berufsgruppen mit Haftungsrisiko, nicht mit politischem Auftrag. |

Tabelle 13: Prüfung der Entsprechung zwischen beiden Feldern.

Die Entsprechung besteht, verläuft aber an einer anderen Stelle als vermutet. Es ist nicht so, dass ein vorhandenes Wissen zurückgehalten wird. Es ist so, dass das Wissen in eine Rechenform übersetzt wird, in der es klein aussieht — und diese Rechenform wird dann gutgläubig weitergegeben. Das ist der wirksamere Vorgang, weil er keine Mitwisser braucht und keinen Vorwurf angreifbar macht. Ein Verschweigen kann man aufdecken; eine Modellannahme muss man nachrechnen.

Bemerkenswert ist, wer den Widerspruch erhebt. Es sind nicht Umweltverbände, sondern Versicherungsmathematiker — eine Berufsgruppe, deren gesamte Arbeit darin besteht, unwahrscheinliche Großschäden zu bepreisen, und die für Fehleinschätzungen haftet. Wenn diese Gruppe von einer Gefahr planetarer Zahlungsunfähigkeit spricht, ist das kein politisches Signal, sondern ein fachliches.

### 3.4 Was gegen diese Lesart spricht

Zur Redlichkeit gehört die Gegenrede. Erstens: Dieselben NGFS-Szenarien werden auch aus der entgegengesetzten Richtung angegriffen. Der Verband der großen amerikanischen Banken hält die dort unterstellten Schäden für überzeichnet und die Herleitung der Schadensfunktion für methodisch nicht belastbar.<sup>40</sup> Wer die Kritik der Aktuare ernst nimmt, muss zur Kenntnis nehmen, dass der Streit über diese Modelle nicht entschieden ist. Der hier vertretene Schluss lautet deshalb nicht, die hohen Schätzungen seien richtig und die niedrigen falsch, sondern: Die Spanne ist so groß, dass die Verwendung eines Punktwerts aus der Mitte eine Scheingenauigkeit erzeugt, die der Sache nicht angemessen ist.

<sup>40</sup> Bank Policy Institute (2025): The Flawed NGFS Damage Function Is Even More Flawed Than We Thought. Kritischer Beitrag eines Verbands der US-Großbanken (Gegenposition) [Q26] Die Kritik richtet sich gegen die Verwendung der Funktion in aufsichtlichen Stresstests.

Zweitens gibt es einen Fall, in dem eine klimawissenschaftliche Modellrechnung tatsächlich überzogen hat, und er gehört in jede redliche Darstellung. 1982 zeigten Paul Crutzen und John Birks, dass der Rauch der Brände nach einem Atomkrieg über der halben Nordhalbkugel das Sonnenlicht am Boden um den Faktor zwei bis 150 abschwächen würde. Eine Gruppe um Richard Turco und Carl Sagan rechnete das 1983 mit Klimamodellen nach, prägte den Ausdruck Nuklearwinter und kam für den Grundfall auf Landtemperaturen von minus 23 Grad — gegenüber rund plus 12 Grad im Ausgangszustand.<sup>41</sup> Die Zahl war politisch außerordentlich wirksam, und sie war zu hoch. Spätere Arbeiten korrigierten sie nach unten; zeitweise war vom Nuklearherbst die Rede. Seit 2007 kommen moderne Modelle wieder auf erhebliche Abkühlungen, wenn auch nicht in der ursprünglichen Höhe.

Wer die Chronologie dieses Dokuments vorträgt, sollte diesen Fall kennen, denn er wird ihm entgegengehalten werden. Die richtige Antwort darauf ist nicht, ihn kleinzureden. Sie lautet: Genau so arbeitet Wissenschaft. Die Korrektur kam aus der Fachwelt selbst, nicht von außen, und sie kam innerhalb weniger Jahre. Nebenbei belegt der Vorgang die kühlende Wirkung von Rußteilchen in der Lufthülle — dieselbe Wirkung, auf der der Bericht von 2026 zum Wegfall des Luftschadstoff-Schirms aufbaut.

Drittens ist es nicht zutreffend, dass gar nichts geschehen wäre. Der Anteil erneuerbarer Energien, die Kosten der Photovoltaik, die Offenlegungspflichten für Klimarisiken, der europäische Emissionshandel und die Verrechtlichung durch das Gutachten von 2025 sind reale Veränderungen. Der Befund dieses Dokuments lautet nicht, es sei nichts geschehen, sondern: Das Geschehene steht in keinem Verhältnis zu einem Wissensstand, der seit 1979 entscheidungsreif vorliegt.

Viertens gilt die Zurückhaltung auch für die Chronologie selbst. Eine rückblickende Darstellung ordnet Ereignisse zu einer Linie, die den Beteiligten damals nicht sichtbar war. Die Abkühlungsdebatte der siebziger Jahre war eine ernsthafte fachliche Auseinandersetzung und keine Verirrung; die Datenlage zu den kühlenden Schwebeteilchen war damals tatsächlich schlecht. Wer die Chronologie als Anklage verwendet, sollte diesen Punkt kennen, bevor ein anderer ihn vorbringt.

## 4 Schluss

Vier Sätze fassen zusammen, was sich aus der Zusammenstellung ergibt.

- **Das Wissen war rechtzeitig da.** Seit 1979 liegt eine Zahlenspanne vor, die sich in vier Jahrzehnten nicht verschoben hat; an Regierungen gerichtet ist der Befund seit 1965. Vier von fünf Tonnen Kohlendioxid wurden danach freigesetzt.
- **Die Zahl, die trägt, ist nicht die Temperatur.** „Vier von fünf Tonnen nach der ersten Warnung“ enthält keine Prognose, sondern nur Vergangenheit, und ist deshalb nicht bestreitbar. In der Fassung nach Lebensspanne ordnet sie den Zuhörer ein, ohne ihn anzuklagen.

---

<sup>41</sup> Crutzen, Paul J.; Birks, John W. (1982): The Atmosphere after a Nuclear War: Twilight at Noon. Ambio 11, S. 114–125; fortgeführt in der TTAPS-Arbeit von Turco, Toon, Ackerman, Pollack und Sagan, Science, Dezember 1983 [Q33] Den Ausdruck prägte Richard Turco, der Erstautor der Nachrechnung; Carl Sagan machte ihn öffentlich bekannt und sagte zwei Jahre später vor dem US-Senat zum Treibhauseffekt aus (Abschnitt 2.4).

- **Die Verdichtung ist das bessere Argument als der Konsens.** Sechzehn unabhängige Nachweisketten aus sieben Fachgebieten lassen sich einzeln nachprüfen. Der bloße Verweis auf einen Konsens lädt die Gegenseite dagegen ein, Autoritätsgläubigkeit zu unterstellen.
- **Die wirksame Frage richtet sich an das Rechenwerk, nicht an die Klimaforschung.** Sie lautet: Welche Schadensfunktion liegt der Bewertung zugrunde, und enthält sie Kippunkte? Der Verweis auf den IPCC führt nicht weiter, weil dessen Ergebnisse dort bereits verarbeitet — und kleingerechnet — sind.

## 5 Grenzen dieser Zusammenstellung

- Sämtliche Zahlen, Jahresangaben und Quellenzuordnungen sind in einer gesonderten Arbeitsmappe abgelegt, aus der die Abbildungen und Tabellen erzeugt werden. Sie ist beim Verfasser einsehbar.
- Die Chronologie beruhte zunächst auf Sekundärliteratur. Am 15. und 16. September 2026 sind 37 tragende Quellenaussagen an den Originalarbeiten nachgeprüft worden; das Ergebnis ist in einem eigenen Prüfprotokoll festgehalten und in diese Revision eingearbeitet; eine Nachprüfung am 22. September 2026 hat einen Befund dieser Prüfung wieder aufgehoben. In 30 Fällen konnte die Originalarbeit selbst eingesehen werden. Anhang D weist für die Stufen 1 und 2 aus, welcher Eintrag am Original geprüft ist und welcher nicht; für zwei Einträge (Boyle 1671, Duhamel du Monceau 1743/1765) liegt weiterhin nur eine als solche gekennzeichnete Zuschreibung nach einer anerkannten Fachquelle vor, und bei Theophrast, Foote, Ekholm und Poynting war der Primärtext nicht frei zugänglich, so dass dort belegte Sekundärquellen zugrunde liegen. Geprüft wurde, ob die im Text behaupteten Aussagen in den angeführten Arbeiten stehen — nicht, ob diese Arbeiten inhaltlich richtig sind. Die Priorität zwischen Foote und Tyndall ist in der Wissenschaftsgeschichte umstritten.
- Die kumulierten Emissionszahlen (360 Milliarden Tonnen bis 1965, 1.811 Milliarden Tonnen bis Ende 2023) stammen aus einer laufend zurückgerechneten Datenreihe. Bei der Prüfung war diese Reihe nicht abrufbar; eine unabhängige Vergleichsrechnung ergibt dieselbe Größenordnung, aber keinen deckungsgleichen Wert. Die tragende Aussage — vier Fünftel nach 1965 — ist von dieser Unschärfe nicht berührt, die Einzelzahlen sind es.
- Die Zahl von sechzehn Belegketten ist eine Zählung des Verfassers, keine in der Literatur eingeführte Größe. Andere Einteilungen sind möglich; die Auswahl ist in Tabelle 7 vollständig offengelegt, damit sie überprüfbar bleibt.
- Die Anteile nach Geburtsjahrgängen in Abschnitt 3.1.1 beruhen auf einer Zwischenwertberechnung zwischen den Stützstellen der Datenreihe. Für 1964 ergibt sich daraus ein Wert von rund 349 Gt; die Angabe „vier Fünftel“ ist auf diese Genauigkeit belastbar, eine Nachkommastelle wäre es nicht.
- Die Eiskernreihen in Abschnitt 2.7 sind unverändert aus den Archiven der amerikanischen Behörden NOAA und NASA übernommen; die Kennzahlen in Tabelle 8 sind Mittel über die dort genannten Zeitfenster. Die Eiskernalter zählen „vor 1950“, die Abbildungen rechnen auf 2025

um. Die Temperatur der Eiskerne gilt für die Antarktis, nicht für das Weltmittel; die Aussage „rund sechs Grad im Weltmittel“ stützt sich auf eine eigene Quelle (Q43).

- Die Schadensschätzungen in Abbildung 7 stammen aus unterschiedlichen Szenarien mit unterschiedlichen Temperaturniveaus und Zeithorizonten. Sie zeigen eine Größenordnung, keinen Vergleich gleicher Fälle.
- Die Bewertung in Abschnitt 3.3 ist eine Bewertung und keine Feststellung. Sie stützt sich auf die genannten Quellen, geht aber über deren Aussagen hinaus.
- Offen ist, ob und wie sich die Kritik an den Schadensfunktionen auf die europäischen Offenlegungspflichten und auf die Bewertungspraxis der Förderbanken auswirkt. Das wäre in einem eigenen Papier zu untersuchen.

### **5.1 Zur Tragfähigkeit der Belege**

Die 37 Aussagen, an denen diese Zusammenstellung hängt, sind im September 2026 an den Originalarbeiten geprüft worden; in 30 Fällen lag die Arbeit selbst vor, in den übrigen eine ausdrücklich als solche gekennzeichnete Sekundärquelle. Geprüft wurde jeweils die Stelle, die die Aussage trägt, samt ihrem unmittelbaren Zusammenhang — nicht die vollständige Arbeit und nicht ihre methodische Güte. Sechzehn Aussagen mussten daraufhin berichtigt und fünfzehn präzisiert werden, überwiegend deshalb, weil ein Befund derjenigen Arbeit zugeschrieben war, in der er bekannt wurde, statt derjenigen, in der er zuerst steht. Was nach dieser Prüfung im Text steht, ist damit belastbar in einem genau bestimmten Sinn: Wer eine Fußnote nachschlägt, findet an der genannten Stelle, was hier behauptet wird. Nicht behauptet wird Vollständigkeit — die Auswahl der Quellen, die Einteilung in fünf Stufen und die Zählung von sechzehn Belegketten sind begründete Entscheidungen des Verfassers, eine systematische Literaturrecherche nach festem Protokoll hat nicht stattgefunden, und der Text ist nicht fachlich begutachtet worden.

## Anhang A Glossar

Die Begriffe sind bei ihrer ersten Verwendung im Text kurz erläutert; hier stehen sie zusammengefasst und in alphabetischer Reihenfolge.

| Begriff                                       | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Aerosol-Kühlung</b>                        | Kühlende Wirkung feiner Schwebeteilchen aus Verbrennung und Industrie, die Sonnenlicht zurückstreuen. Sie verdeckt derzeit etwa 0,5 Grad der bereits eingetretenen Erwärmung und fällt weg, wenn die Luft sauberer wird.                                                                                                     |
| <b>Aktuar<br/>(Versicherungsmathematiker)</b> | Berufsstand, der Risiken für Versicherer und Pensionskassen bewertet und bepreist. Aktuarien haften für Fehleinschätzungen; ihre Stellungnahmen zum Klimarisiko sind deshalb fachliche und keine politischen Aussagen.                                                                                                       |
| <b>Albedo</b>                                 | Rückstrahlvermögen einer Oberfläche. Schnee und Eis haben eine hohe, offenes Wasser eine niedrige Albedo; schmilzt Eis, wird mehr Sonnenlicht aufgenommen – eine sich selbst verstärkende Rückkopplung.                                                                                                                      |
| <b>Attribution</b>                            | Zuordnung einer beobachteten Änderung zu ihrer Ursache. Die Ereignis-Attribution beziffert, um wieviel wahrscheinlicher ein einzelnes Extremereignis durch den Klimawandel geworden ist.                                                                                                                                     |
| <b>Belegkette</b>                             | In diesem Dokument: ein in sich geschlossener Nachweisweg, der für sich allein trägt – etwa eine Labormessung, eine Messreihe oder ein Bohrkern. Sechzehn solcher Ketten stützen heute dieselbe Aussage.                                                                                                                     |
| <b>DICE-Modell</b>                            | „Dynamic Integrated Climate-Economy“, das von William Nordhaus entwickelte Standardmodell der Klimaökonomie. Es koppelt ein stark vereinfachtes Klimamodell mit einem Wachstumsmodell und liefert über seine Schadensfunktion die niedrigen Schadenswerte, die in Abschnitt 3.2.3 kritisiert werden.                         |
| <b>Eisbohrkern</b>                            | Bohrkern aus einem Eisschild (Antarktis, Grönland). In den Luftbläschen des Eises ist die Zusammensetzung der Luft vergangener Jahrtausende eingeschlossen; aus dem Verhältnis der Wasserstoff-Isotope im Eis lässt sich die Temperatur ablesen, bei der der Schnee fiel. Der Kern EPICA Dome C reicht 800.000 Jahre zurück. |
| <b>Eiszeitmaximum</b>                         | Der kälteste Abschnitt der letzten Eiszeit, vor rund 21.000 Jahren: Kohlendioxid bei 190 ppm, Temperatur über der Antarktis rund 9 Grad, im Weltmittel rund 6 Grad unter dem heutigen Wert; Meeresspiegel 120 Meter tiefer.                                                                                                  |
| <b>Emission</b>                               | Freisetzung eines Stoffes in die Umwelt, hier die Freisetzung von Kohlendioxid in die Lufthülle. Angegeben in Tonnen oder Milliarden Tonnen (Gigatonnen, Gt) je Jahr.                                                                                                                                                        |

| Begriff                                      | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Erdbahnzyklen (Milanković-Zyklen)</b>     | Langsame Schwankungen der Erdbahn und der Erdachse – Form der Bahn (rund 100.000 Jahre), Neigung der Achse (41.000 Jahre) und Kreiselbewegung der Achse (rund 21.000 Jahre). Sie verändern, wie viel Sonnenlicht im Sommer auf die Nordhalbkugel fällt, und geben den Takt der Eiszeiten vor.                                            |
| <b>Evidenz</b>                               | Die Gesamtheit der Belege, die für oder gegen eine Aussage sprechen.<br>„Verdichtung der Evidenz“ meint: Es kommen unabhängige Belege hinzu, die sich gegenseitig stützen.                                                                                                                                                               |
| <b>Falsche Ausgewogenheit</b>                | Die Anwendung der journalistischen Regel „beide Seiten zu Wort kommen lassen“ auf eine Frage, die keine Streitfrage ist, sondern eine Tatsachenfrage. Zwei Gäste nebeneinander im Studio stellen einen Gleichstand dar, den es in der Sache nicht gibt.                                                                                  |
| <b>Fingerabdruckmethode</b>                  | Statistisches Verfahren, das das räumliche und zeitliche Muster der beobachteten Erwärmung mit den Mustern vergleicht, die verschiedene Ursachen erzeugen würden. Sonneneinstrahlung und Treibhausgase hinterlassen unterschiedliche Muster, etwa in der Höhenverteilung.                                                                |
| <b>Heinrich-Ereignis</b>                     | Episoden der letzten Eiszeit, in denen der nordamerikanische Eisschild massenhaft Eisberge in den Nordatlantik entließ – erkennbar an Lagen von Gesteinsschutt im Meeresboden (Hartmut Heinrich, 1988). Das Schmelzwasser störte die Umwälzströmung des Atlantiks und ließ das Klima rund um den Nordatlantik binnen Jahrzehnten kippen. |
| <b>Holozän</b>                               | Die jetzige Warmzeit, die vor 11.700 Jahren begann. In sie fällt die gesamte Geschichte von Landwirtschaft, Städten und Schrift. Der Kohlendioxidgehalt blieb in dieser Zeit bis 1850 zwischen rund 260 und 285 ppm.                                                                                                                     |
| <b>IAM (Integriertes Bewertungsmodell)</b>   | Modellfamilie, die Klima- und Wirtschaftsentwicklung gemeinsam rechnet. IAM liefern die Zahlen, mit denen Politik und Finanzwirtschaft Klimafolgen bewerten.                                                                                                                                                                             |
| <b>Inokulation (Vorbeugen, „Prebunking“)</b> | Verfahren aus der Kommunikationsforschung: Man erklärt dem Publikum vorab, mit welcher Masche gearbeitet wird, bevor es ihr begegnet. Wer den Trick kennt, fällt seltener darauf herein — wirksamer als jedes nachträgliche Richtigstellen.                                                                                              |
| <b>Interglazial</b>                          | Warmzeit zwischen zwei Eiszeiten. Das letzte Interglazial vor dem heutigen (Eem) lag vor 130.000 bis 115.000 Jahren; das heutige ist das Holozän.                                                                                                                                                                                        |

| Begriff                  | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IPCC</b>              | Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen, 1988 von UNEP und WMO gegründet. Er betreibt keine eigene Forschung, sondern fasst den Stand der veröffentlichten Literatur in Sachstandsberichten zusammen, die von den Mitgliedsregierungen Zeile für Zeile gebilligt werden. |
| <b>Isotop</b>            | Spielart eines chemischen Elements mit gleicher Ladung, aber unterschiedlich schwerem Kern. Das Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope verrät, woher das Kohlendioxid in der Luft stammt.                                                                                              |
| <b>Keeling-Kurve</b>     | Die seit 1958 fortlaufend am Mauna Loa gemessene Reihe des Kohlendioxidgehalts der Luft. Sie zeigt den Jahresgang der Vegetation und den ungebrochenen Anstieg.                                                                                                                    |
| <b>Kipppunkt</b>         | Schwelle, bei deren Überschreiten ein Teilsystem des Klimas in einen anderen Zustand übergeht, der sich nicht durch Absenken der Temperatur zurückholen lässt – etwa der Zusammenbruch der atlantischen Umwälzströmung oder das Abschmelzen des grönländischen Eisschildes.        |
| <b>Klimasensitivität</b> | Erwärmung der Erdoberfläche im Gleichgewicht bei Verdopplung des Kohlendioxidgehalts. Der Charney-Bericht gab 1979 1,5 bis 4,5 Grad an, der Sechste IPCC-Sachstandsbericht 2,5 bis 4,0 Grad.                                                                                       |
| <b>Kohlenstoffbudget</b> | Menge an Kohlendioxid, die insgesamt noch freigesetzt werden darf, um eine bestimmte Temperaturgrenze mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einzuhalten.                                                                                                                         |
| <b>Konvektion</b>        | Wärmetransport durch aufsteigende und absinkende Luft. Erst die gemeinsame Rechnung von Strahlung und Konvektion ergab 1967 ein physikalisch geschlossenes Klimamodell.                                                                                                            |
| <b>Modelltradition</b>   | Die über Jahrzehnte gewachsene Rechenschule eines Fachs – hier die der Klimaökonomie, deren Annahmen und Rechenbausteine von Arbeit zu Arbeit weitergereicht werden, ohne jedesmal neu geprüft zu werden.                                                                          |
| <b>NGFS</b>              | „Network for Greening the Financial System“, Zusammenschluss von Zentralbanken und Aufsichtsbehörden. Seine Szenarien sind die Rechengrundlage der Klimastresstests von Banken und Versicherern.                                                                                   |
| <b>Nuklearwinter</b>     | Von Crutzen und Birks 1982 beschriebene und 1983 von der Gruppe um Carl Sagan durchgerechnete Abkühlung durch Rußteilchen aus den Bränden eines Atomkriegs. Die frühe Schätzung wurde später nach unten korrigiert und von modernen Modellen wieder gestützt.                      |

| Begriff                                             | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ozeanversauerung</b>                             | Absinken des pH-Werts des Meerwassers durch Aufnahme von Kohlendioxid. Sie ist ein von der Temperatur unabhängiger Beleg dafür, dass das zusätzliche Gas tatsächlich im System ankommt.                                                                         |
| <b>Paläoklima</b>                                   | Das Klima der erdgeschichtlichen Vergangenheit, rekonstruiert aus Bohrkernen, Ablagerungen und Eisschichten.                                                                                                                                                    |
| <b>Planetary Solvency</b>                           | Titel der Berichtsreihe des britischen Aktuarverbands, sinngemäß „Zahlungsfähigkeit des Planeten“. Gemeint ist die Frage, ob die Erde die Ansprüche noch bedienen kann, die Wirtschaft und Gesellschaft an sie stellen.                                         |
| <b>ppm (parts per million)</b>                      | Millionstel Anteil am Gasgemisch. 420 ppm bedeutet: 420 von einer Million Luftteilchen sind Kohlendioxid, also 0,042 Prozent.                                                                                                                                   |
| <b>Pufferfaktor (Revelle-Faktor)</b>                | Kennzahl der Meerwasserchemie, die angibt, wie stark der Kohlendioxidgehalt der Luft steigen muss, damit der Ozean eine zusätzliche Menge aufnimmt. Er ist der Grund, weshalb das Meer das zusätzliche Gas nicht einfach schluckt.                              |
| <b>Rückkopplung</b>                                 | Ein Vorgang, der seine eigene Ursache verstärkt (oder dämpft). Beispiel: Ein wärmerer Ozean gibt Kohlendioxid ab, das Kohlendioxid verstärkt die Erwärmung. So wird aus einem kleinen Anstoß der Erdbahn ein ganzer Eiszeitzyklus.                              |
| <b>Schadensfunktion</b>                             | Der Rechenbaustein in Wirtschaftsmodellen, der eine Temperaturerhöhung in einen Verlust an Wirtschaftsleistung übersetzt. Ihre Form – meist eine glatte quadratische Kurve – entscheidet darüber, ob Klimarisiken in Finanzmodellen groß oder klein erscheinen. |
| <b>Spektroskopie</b>                                | Messverfahren, das bestimmt, welche Strahlung ein Stoff verschluckt und welche er durchlässt. Tyndall wies damit 1859 die Wirkung der einzelnen Gase nach.                                                                                                      |
| <b>Strahlungsantrieb</b>                            | Zusätzliche Energie je Quadratmeter, die durch eine Änderung der Zusammensetzung der Lufthülle im System bleibt. Die Verdopplung des Kohlendioxidgehalts entspricht rund 3,7 Watt je Quadratmeter.                                                              |
| <b>Stranded Assets (gestrandete Vermögenswerte)</b> | Vermögenswerte, die durch Klimapolitik oder Klimafolgen vorzeitig entwertet werden, insbesondere nicht mehr förderbare fossile Reserven. Der Begriff geht auf den Bericht „Unburnable Carbon“ von 2011 zurück.                                                  |
| <b>Stresstest</b>                                   | Belastungsprobe: Eine Bank oder Versicherung rechnet durch, was ein angenommener Extremfall für ihre Bilanz bedeuten würde. Klimastresstests verwenden dafür die Szenarien des NGFS.                                                                            |

| Begriff                               | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Szenario</b>                       | Ein durchgerechneter, in sich schlüssiger Zukunftsverlauf. Ein Szenario ist keine Vorhersage, sondern eine Antwort auf die Frage: Was folgt, wenn es so kommt?                                                                                                                                                                             |
| <b>Tragik des Horizonts</b>           | Von Mark Carney 2015 geprägte Bezeichnung dafür, dass die Folgen des Klimawandels jenseits der Zeithorizonte von Konjunkturzyklen, Kreditlaufzeiten und Wahlperioden liegen und deshalb von niemandem eingepreist werden.                                                                                                                  |
| <b>Treibhauseffekt</b>                | Eingeführte, aber irreführende Bezeichnung für die Wärmeschutzwirkung der Lufthülle: Bestimmte Gase lassen das kurzwellige Sonnenlicht durch, bremsen aber die langwellige Wärmestrahlung der Erdoberfläche. Ein Gewächshaus wirkt anders – es unterbindet den Luftaustausch. Der treffendere Vergleich ist die Wärmedämmung eines Hauses. |
| <b>Treuhänder</b>                     | Wer fremdes Vermögen für andere verwaltet – etwa der Vorstand einer Pensionskasse, der über die Altersversorgung Tausender entscheidet. Er ist verpflichtet, nach anerkannten Verfahren zu rechnen, und haftet für Sorgfaltsverstöße. Genau deshalb übernimmt er die vorgelegten Modellergebnisse, statt sie in Frage zu stellen.          |
| <b>Umwälzströmung (atlantische)</b>   | Der Kreislauf des Atlantiks, der warmes Oberflächenwasser nach Norden und kaltes Tiefenwasser nach Süden führt; der Golfstrom ist sein bekanntester Ast. Sein Zusammenbruch gilt als einer der Kipppunkte des Klimasystems.                                                                                                                |
| <b>UNFCCC (Klimarahmenkonvention)</b> | 1992 in Rio beschlossener völkerrechtlicher Rahmenvertrag, unter dem die jährlichen Klimakonferenzen sowie das Kyoto-Protokoll und das Übereinkommen von Paris geschlossen wurden.                                                                                                                                                         |

Tabelle 14: Glossar der verwendeten Fachbegriffe.

## Anhang B Literaturverzeichnis

Die Quellen sind mit Kennung, Vollbeleg, Fundstelle und Verweis aufgeführt. Zu jeder Quelle ist in drei bis vier Sätzen zusammengefasst, was sie enthält und warum sie hier verwendet wird.

**Q01** Weart, Spencer R. / American Institute of Physics (laufend): *The Discovery of Global Warming*. Online-Standardwerk zur Geschichte der Klimaforschung, laufend aktualisiert.

<https://history.aip.org/climate/index.htm>

Weart rekonstruiert die Entwicklung der Klimaforschung von Fourier bis zur Gegenwart aus Primärquellen, Korrespondenzen und Tagungsunterlagen. Der Text belegt, dass die Kernaussage – mehr Kohlendioxid bedeutet eine wärmere Erdoberfläche – nicht an einem Datum entstanden ist, sondern über rund 150 Jahre aus voneinander unabhängigen Arbeiten zusammenwuchs. Er zeigt zugleich, dass die Forschung mehrfach in die Irre lief, etwa in den 1960er und 1970er Jahren mit der zeitweiligen Abkühlungsdebatte, und sich jeweils an Messdaten korrigierte. Die Darstellung gilt als wissenschaftshistorischer Referenztext und ist die Hauptquelle für die Abschnitte 2.2 bis 2.4 dieses Dokuments.

**Q02** Encyclopédie de l'Environnement (Univ. Grenoble Alpes) (2021): *Thinking about climate change (16th–21st centuries)*. Fachencyklopädischer Übersichtsbeitrag zur Ideengeschichte des Klimabegriffs.

<https://www.encyclopédie-environnement.org/en/climate/thinking-about-climate-change-16th-21st-centuries-2/>

Der Beitrag verfolgt, wann und in welcher Form europäische Gelehrte begannen, das Klima als veränderlich und vom Menschen beeinflussbar zu denken. Er benennt Robert Boyle (1671), Duhamel du Monceau (1743 und 1765) und Buffon als diejenigen, die Rodung und Trockenlegung als klimawirksam beschrieben, und dokumentiert die Gletscherbeobachtungen des späten 18. Jahrhunderts. Wichtig für dieses Dokument ist der Befund, dass diese frühen Aussagen keine Gastheorie kennen: Sie betreffen Landnutzung, nicht die Zusammensetzung der Lufthülle. Die vorwissenschaftliche Phase liefert damit die Fragestellung, nicht die Antwort.

**Q03** The Royal Institution (2020): *Who discovered the greenhouse effect?*. Beitrag der Royal Institution zur Zuschreibungsfrage Foote/Tyndall.

<https://www.rigb.org/explore-science/explore/blog/who-discovered-greenhouse-effect>

Der Beitrag ordnet die Beiträge von Eunice Newton Foote (1856) und John Tyndall (ab 1859) gegeneinander ab. Foote wies experimentell nach, dass ein mit Kohlendioxid gefülltes Gefäß in der Sonne stärker und länger warm wird als eines mit Luft, arbeitete aber mit sichtbarem Licht und konnte den Mechanismus nicht benennen. Tyndall maß ab 1859 im Labor die Absorption langwelliger Wärmestrahlung durch einzelne Gase und identifizierte damit den physikalisch richtigen Vorgang. Die Royal Institution kommt zu dem Schluss, dass beide Arbeiten eigenständig sind und Foote die zeitlich frühere Beobachtung zukommt.

**Q04** Ashley, Steven / SPIE (2020): *Something's a-Foote with Climate Science History*. Fachjournalistische Aufarbeitung der Foote-Tyndall-Kontroverse.

<https://spie.org/news/photonics-focus/marapr-2020/tyndall-foote-and-the-greenhouse-effect>

Der Artikel schildert die Wiederentdeckung von Footes Arbeit im Jahr 2010 und die daran anschließende Debatte über Prioritäten in der Wissenschaftsgeschichte. Er hält fest, dass Footes Aufsatz 1856 auf der Tagung der American Association for the Advancement of Science von einem Kollegen verlesen wurde, weil Frauen dort nicht vortragen durften. Für die Chronologie ist festzuhalten, dass Foote bereits den Schluss zog, eine kohlendioxidreichere Lufthülle hätte eine höhere Temperatur zur Folge gehabt.

**Q05** President's Science Advisory Committee (Unterausschuss Revelle) (1965): *Restoring the Quality of Our Environment, Appendix Y4: Atmospheric Carbon Dioxide*. Bericht an US-Präsident Lyndon B. Johnson, November 1965.

<https://www.climatefiles.com/climate-change-evidence/presidents-report-atmospher-carbon-dioxide/>

Der Beraterstab des amerikanischen Präsidenten legte im November 1965 den ersten Regierungsbericht vor, der die Erwärmung durch Kohlendioxid als ernstzunehmendes Problem behandelt. Der von Roger Revelle geführte Unterausschuss rechnete mit einem Anstieg des Kohlendioxidgehalts um rund 25 Prozent bis zum Jahr 2000 und benannte Eisschmelze, Meeresspiegelanstieg und Ozeanerwärmung als Folgen.

Bemerkenswert ist, dass der Bericht keine Verminderung der Emissionen erörterte, sondern technische Eingriffe ins Strahlungsgleichgewicht als Gegenmaßnahme prüfte. Das Dokument markiert den Übergang vom Fachwissen zum Handlungswissen und ist der Bezugspunkt der Emissionsrechnung in Abschnitt 2.1.

**Q06** National Research Council (Vorsitz Jule G. Charney) (1979): *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. Bericht der US-amerikanischen National Academy of Sciences, Woods Hole.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Charney\\_Report](https://en.wikipedia.org/wiki/Charney_Report)

Der Bericht fasste erstmals die Ergebnisse mehrerer unabhängiger Klimamodelle zusammen und bezifferte die Gleichgewichts-Klimasensitivität – die Erwärmung bei Verdopplung des Kohlendioxidgehalts – auf 1,5 bis 4,5 Grad mit einem wahrscheinlichsten Wert um 3 Grad. Diese Spanne hat vier Jahrzehnte und sechs IPCC-Sachstandsberichte überdauert und wurde erst im Sechsten Sachstandsbericht auf 2,5 bis 4,0 Grad eingengt. Der Bericht stellte ausdrücklich fest, man habe nach gründlicher Suche keinen übersehenen physikalischen Effekt gefunden, der die Erwärmung verhindern könnte. Damit war die naturwissenschaftliche Grundfrage 1979 abgeschlossen.

**Q07** Ditzfurth, Hoimar von / ZDF (1978): *Der Ast, auf dem wir sitzen (Reihe „Querschnitte“)*. Fernsehsendung des ZDF; Ausschnitt im ZDF-Schulportal, Einordnung bei heise online.

<https://schule.zdf.de/video/hoimar-von-ditzfurth-querschnitt-1978-ueber-co2-und-klimawandel-100>

Ditzfurth erklärte 1978 zur besten Sendezeit den Anstieg des Kohlendioxidgehalts seit Beginn der Industrialisierung und leitete daraus Erwärmung, Abschmelzen der Eismassen und Meeresspiegelanstieg ab. Die Sendung belegt, dass der Befund in Deutschland bereits ein Jahrzehnt vor der öffentlichen Klimadebatte einem Millionenpublikum sachlich und ohne Alarmton vorgetragen wurde. Sie ist damit ein Beleg dafür, dass die Wissenslücke bei den Bürgern nicht die Ursache des Nichthandelns sein kann. Ditzfurth fasste dieselbe Argumentation 1985 in seinem Buch „So laßt uns denn ein Apfelbäumchen pflanzen“ zusammen.

**Q08** Sagan, Carl / US Senate (1985): *Anhörung zum Treibhauseffekt, Committee on Environment and Public Works, 10.12.1985*. Protokoll und Videomitschnitt der Anhörung; Einordnung bei Open Culture.

<https://www.openculture.com/2021/11/carl-sagan-warns-congress-about-climate-change-1985.html>

Sagan erläuterte dem US-Senat den Treibhauseffekt am Beispiel der Venus und übertrug den Mechanismus auf die Erde. Er warnte vor Meeresspiegelanstieg und Verschiebung der Landwirtschaftszonen und wies darauf hin, dass die Verursacher und die Betroffenen nicht dieselben Staaten sind. Die Anhörung gehört zu einer Reihe von Terminen, die der damalige Abgeordnete und spätere Senator Al Gore seit 1981 angesetzt hatte. Sie belegt, dass der Befund dem amerikanischen Gesetzgeber drei Jahre vor der bekannteren Hansen-Anhörung von 1988 in verständlicher Form vorlag.

**Q09** Deutsche Physikalische Gesellschaft und Deutsche Meteorologische Gesellschaft (1986/87): *Warnung vor drohenden weltweiten Klimaänderungen durch den Menschen*. Gemeinsamer Aufruf, abgedruckt in: Physikalische Blätter 43 (1987), Heft 8.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/phbl.19870430811>

Die beiden Fachgesellschaften warnten 1986 gemeinsam vor einer vom Menschen verursachten Klimaänderung und forderten eine drastische Verminderung der Kohlendioxidemissionen. Der Aufruf wurde von der Zeitschrift „Der Spiegel“ im August 1986 mit dem Titelbild des halb im Wasser stehenden Kölner Doms aufgegriffen und prägte den deutschen Begriff „Klimakatastrophe“. Klimaforscher wie Hartmut Graß haben die Spiegel-Darstellung später als Weckruf gewürdigt, die Bildsprache aber als stark übertrieben bezeichnet. Der Vorgang ist ein früher Beleg dafür, wie Zuspitzung Aufmerksamkeit erzeugt und zugleich Angriffsfläche schafft.

**Q10** Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (1990): *Schutz der Erde. Abschlussbericht, BT-Drucksache 11/8030*. Abschlussbericht der 1987 eingesetzten Kommission des 11. Deutschen Bundestages.

<https://archive.org/details/ger-bt-drucksache-11-8030>

Der Bundestag setzte 1987 eine Enquete-Kommission ein, die den Stand des Wissens zur Klimaänderung aufarbeitete und 1990 einen mehrbändigen Abschlussbericht vorlegte. Die Kommission empfahl eine Verminderung der deutschen Kohlendioxidemissionen um 25 bis 30 Prozent bis 2005; die Bundesregierung machte sich ein 25-Prozent-Ziel zu eigen. Der Bericht zeigt, dass der deutsche Gesetzgeber bereits 1990 über einen vollständigen, parteiübergreifend getragenen Sachstand verfügte. Das Ziel wurde nicht erreicht; der Vorgang ist der deutsche Beleg für die in Teil B behandelte Lücke zwischen Wissen und Handeln.

**Q11** Feldman, D. R. u. a. (2015): *Observational determination of surface radiative forcing by CO<sub>2</sub> from 2000 to 2010*. Nature 519, S. 339–343.

<https://www.nature.com/articles/nature14240>

Die Arbeit wies den zusätzlichen Strahlungsantrieb durch Kohlendioxid erstmals unmittelbar am Erdboden nach, an zwei Messstationen über elf Jahre. Gemessen wurde eine Zunahme der von der Lufthülle zurückgestrahlten Wärme um rund 0,2 Watt je Quadratmeter und Jahrzehnt, in Übereinstimmung mit dem aus der Laborspektroskopie berechneten Wert. Damit war der Mechanismus nicht mehr nur aus Modellen und Labordaten erschlossen, sondern in der freien Atmosphäre gemessen. Die Arbeit schließt die letzte verbliebene Lücke in der Beweiskette und ist die jüngste der in Abbildung 2 gezählten Belegketten.

**Q12** Supran, G.; Rahmstorf, S.; Oreskes, N. (2023): *Assessing ExxonMobil's global warming projections*. Science 379, eabk0063.

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abk0063>

Die Autoren werteten sämtliche dokumentierten Klimaprojektionen von Exxon-Wissenschaftlern aus den Jahren 1977 bis 2003 aus: 16 Temperaturprognosen aus 12 Grafiken. Die unternehmenseigenen Modelle sagten eine Erwärmung von  $0,20 \pm 0,04$  Grad je Jahrzehnt voraus und erreichten eine Treffergüte von  $72 \pm 6$  Prozent – mindestens so gut wie die damaligen akademischen und staatlichen Modelle. Sie verwurfen zutreffend die Eiszeitthese, sagten den Zeitpunkt der Nachweisbarkeit der Erwärmung richtig vorher und schätzten das Kohlenstoffbudget zutreffend ab. Öffentlich bezeichnete derselbe Konzern die Klimamodelle als unbewiesen und die Forschung als unsicher.

**Q13** Oreskes, Naomi; Conway, Erik M. (2010): *Merchants of Doubt*. Bloomsbury Press, New York; deutsch: Die Machiavellis der Wissenschaft.

<https://www.merchantsofdoubt.org/>

Die Wissenschaftshistorikerin und der Wissenschaftshistoriker weisen nach, dass dieselben wenigen Personen und Institute nacheinander Zweifel am Zusammenhang von Rauchen und Krebs, an saurem Regen, am Ozonloch und am Klimawandel organisierten. Das Geschäftsmodell besteht nicht darin, eine Gegenthese

zu beweisen, sondern darin, den Eindruck einer offenen Fachdebatte zu erzeugen und damit politische Entscheidungen zu vertagen. Ein internes Papier der US-Tabakindustrie von 1969 benennt das Vorgehen mit dem Satz, Zweifel sei das Produkt. Das Buch liefert den Mechanismus, der in Abschnitt 3.2.2 beschrieben wird.

**Q14** Carney, Mark / Bank of England (2015): *Breaking the tragedy of the horizon – climate change and financial stability*. Rede vor Lloyd's of London, 29. September 2015.

<https://www.bankofengland.co.uk/speech/2015/breaking-the-tragedy-of-the-horizon-climate-change-and-financial-stability>

Der damalige Gouverneur der Bank of England beschrieb das Grundproblem als Tragik des Horizonts: Die Folgen des Klimawandels liegen jenseits des Zeithorizonts von Konjunkturzyklen, Kreditlaufzeiten und politischen Wahlperioden, weshalb kein Akteur einen unmittelbaren Anreiz hat, sie einzupreisen. Carney unterschied physische Risiken, Haftungsrisiken und Übergangsrisiken und forderte die einheitliche Offenlegung von Klimarisiken. Aus der Rede ging die Task Force on Climate-related Financial Disclosures hervor. Sie ist der Ausgangspunkt der gesamten aufsichtsrechtlichen Debatte, die Abschnitt 3.2.3 behandelt.

**Q15** Keen, Steve (2021): *The appallingly bad neoclassical economics of climate change*. Globalizations 18 (7), S. 1149–1177.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14747731.2020.1807856>

Keen zerlegt die Schadensfunktionen der klimaökonomischen Standardmodelle, insbesondere des mit dem Wirtschaftsnobelpreis ausgezeichneten DICE-Modells von William Nordhaus. Er weist nach, dass diese Funktionen auf der Annahme beruhen, Wirtschaftstätigkeit in Gebäuden sei vom Klima praktisch unberührt, woraus sich ergibt, dass selbst 6 Grad Erwärmung weniger als 10 Prozent der Wirtschaftsleistung kosten. Er zeigt ferner, dass die Arbeiten ausschließlich von Ökonomen begutachtet wurden, nicht von Klimaforschern, und dass Kipppunkte in den Funktionen konstruktionsbedingt nicht vorkommen können. Der Aufsatz ist die schärfste fachliche Auseinandersetzung mit der Modelltradition und Grundlage der Kritik in Abschnitt 3.2.3.

**Q16** Carbon Tracker Initiative / Keen, Steve (2023): *Loading the DICE Against Pensions*. Bericht vom 27. Juli 2023, gemeinsam mit Make My Money Matter.

<https://carbontracker.org/reports/loading-the-dice-against-pensions/>

Der Bericht untersucht, welche Klimaannahmen den Anlageentscheidungen britischer Pensionsfonds zugrunde liegen, und findet Aussagen, wonach eine Erwärmung von 2 bis 4,3 Grad nur geringe Auswirkungen auf die Portfolios habe. Dem stellt er die Einschätzung der Klimaforschung gegenüber, die bei 5 Grad von existenziellen Gefahren spricht. Die Verfasser führen die Lücke auf die Schadensfunktionen der verwendeten Modelle zurück und warnen vor einer abrupten Wertkorrektur, wenn die Wirklichkeit die Annahmen einholt. Der Bericht ist der unmittelbare Anlass der in diesem Dokument untersuchten Frage.

**Q17** Carbon Tracker Initiative (2025): *NGFS Scenarios and the Damage Done*. Analyse der Szenarien des Network for Greening the Financial System, Phase V.

<https://carbontracker.org/ngfs-scenarios-and-the-damage-done/>

Die Analyse untersucht die Szenarien, die Zentralbanken und Aufsichtsbehörden den Banken und Versicherern für deren Klimastresstests vorgeben. Sie kritisiert, dass die verwendete quadratische Schadensfunktion einen gleichmäßigen, glatten Schadensverlauf erzeugt und dass Kipppunkte, die zwischen 0,8 und 3 Grad ausgelöst werden können, darin nicht vorkommen. Für 2 Grad bis 2050 veranschlagt die Analyse rund 15 Prozent, für 3 Grad bis 2100 rund 30 Prozent Verlust an globaler Wirtschaftsleistung. Gemeinsam mit der Universität Exeter und Finance Watch fordert sie eine unabhängige Überprüfung der verwendeten Modelle.

**Q18** Institute and Faculty of Actuaries und University of Exeter (2025): *Planetary Solvency – finding our balance with nature*. Bericht vom 16. Januar 2025, Hauptautor Sandy Trust.

<https://actuaries.org.uk/news-and-media-releases/news-articles/2025/jan/16-jan-25-planetary-solvency-finding-our-balance-with-nature/>

Der britische Aktuarverband wendet das Handwerkszeug der Risikobewertung – nicht das der Wachstumsökonomie – auf den Klimawandel an und kommt für den Fall unveränderter Politik auf einen Verlust von rund 50 Prozent der globalen Wirtschaftsleistung zwischen 2070 und 2090. Der Bericht hält fest, dass bisherige Abschätzungen einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Wirtschaftsleistung ausweisen und die Politik dadurch blind für das tatsächliche Risiko machen. Vorgeschlagen wird ein Risiko-Dashboard, das Klima-, Natur-, Gesellschafts- und Wirtschaftsrisiken gemeinsam führt. Dass ausgerechnet Versicherungsmathematiker diese Warnung aussprechen, ist der stärkste Beleg dafür, dass es sich nicht um eine Frage der politischen Haltung handelt.

**Q19** Institute and Faculty of Actuaries und University of Exeter (2026): *Parasol Lost*. Vierter Bericht der Reihe, 14. Januar 2026; Autoren u. a. Sandy Trust, Jesse Abrams, David King.

<https://actuaries.org.uk/media-release/underestimates-in-global-warming-pose-greater-climate-and-financial-risks-than-governments-and-markets-are-planning-for-warn-actuaries-and-scientists/>

Der Bericht befasst sich mit dem Wegfall der kühlenden Wirkung von Luftschadstoffen, die derzeit rund 0,5 Grad Erwärmung verdeckt, und mit der daraus folgenden Beschleunigung. Er stellt den älteren ökonomischen Schätzungen von 2,1 Prozent Schaden bei 3 Grad und 7,9 Prozent bei 6 Grad aufsichtliche Stressszenarien mit 15 bis 20 Prozent Einbruch binnen fünf Jahren gegenüber. Die Verfasser benennen ausdrücklich, dass die gängigen Wirtschaftsprognosen Meeresspiegelanstieg, Ozeanversauerung, Kippunkte und Naturzerstörung nicht enthalten. Der Bericht ist der jüngste Beleg für die in Abschnitt 2.3 behandelte Parallele.

**Q20** Global Carbon Project / Friedlingstein, P. u. a. (2024): *Global Carbon Budget 2024*. Earth System Science Data 17, S. 965–1039; Begleitmaterial des Global Carbon Project.

<https://globalcarbonbudget.org/gcb-2024/faqs/>

Die jährlich erscheinende Bilanz weist für 2024 fossile Kohlendioxidemissionen von 37,4 Milliarden Tonnen aus, einschließlich Landnutzungsänderungen 41,6 Milliarden Tonnen. Die Autoren stellen fest, dass ein Höhepunkt der fossilen Emissionen weiterhin nicht erkennbar ist. Ozean und Landökosysteme nehmen zusammen etwa 55 Prozent der Emissionen auf, verlieren diese Fähigkeit aber messbar. Das verbleibende Budget für das 1,5-Grad-Ziel reicht bei gleichbleibenden Emissionen noch wenige Jahre.

**Q21** Our World in Data / Global Carbon Project (2025): *Cumulative CO<sub>2</sub> emissions*. Datenreihe der kumulierten globalen Kohlendioxidemissionen seit 1750.

<https://ourworldindata.org/grapher/cumulative-co2-emissions>

Die Datenreihe summiert die jährlichen Emissionen des Global Carbon Project zu kumulierten Werten. Für die Welt ergeben sich 360 Milliarden Tonnen bis 1965, 762 Milliarden Tonnen bis 1988, 807 Milliarden Tonnen bis 1990 und 1.811 Milliarden Tonnen bis 2023. Daraus folgen die in Abschnitt 2.1 verwendeten Anteile: rund 80 Prozent aller Emissionen nach 1965, rund 58 Prozent nach 1988 und rund 55 Prozent nach 1990. Die Reihe ist die Datengrundlage von Abbildung 5.

**Q22** World Meteorological Organization (2025): *State of the Global Climate 2025*. Jahresbericht der Weltorganisation für Meteorologie.

<https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate/state-of-global-climate-2025>

Der Bericht ordnet 2025 als eines der drei wärmsten je gemessenen Jahre ein, nach dem Rekordjahr 2024, in dem der globale Mittelwert erstmals in einem Kalenderjahr rund 1,5 Grad über dem vorindustriellen Niveau lag. Er dokumentiert Rekordwerte beim Wärmehalt der Ozeane, beim Meeresspiegel und beim Rückgang der Gletscher. Die Konzentration von Kohlendioxid liegt über 420 ppm und damit höher als in den letzten mindestens 800.000 Jahren. Der Bericht ist die amtliche Bestandsaufnahme des Ist-Zustands.

**Q23 Internationaler Währungsfonds (2023): *IMF Fossil Fuel Subsidies Data: 2023 Update*.**  
Arbeitspapier WP/23/169.

<https://www.imf.org/en/topics/climate-change/energy-subsidies>

Der Währungsfonds beziffert die weltweite Subventionierung fossiler Energieträger für 2022 auf 7,1 Billionen US-Dollar, rund 7 Prozent der globalen Wirtschaftsleistung. Darin enthalten sind unmittelbare Preisstützungen ebenso wie nicht in Rechnung gestellte Umwelt- und Gesundheitskosten. Die Zahl übersteigt die weltweiten Bildungsausgaben. Sie belegt, dass das Nichthandeln nicht Untätigkeit ist, sondern eine aktive, fortlaufend finanzierte Entscheidung.

**Q24 Carbon Tracker Initiative (2011): *Unburnable Carbon – Are the world's financial markets carrying a carbon bubble?*.** Erstbericht zur Kohlenstoffblase.

<https://carbontracker.org/reports/carbon-bubble/>

Der Bericht rechnete erstmals vor, dass die an den Börsen bewerteten Kohle-, Öl- und Gasreserven ein Mehrfaches dessen enthalten, was bei Einhaltung des 2-Grad-Ziels verbrannt werden darf. Daraus folgt, dass ein großer Teil dieser Vermögenswerte bei konsequenter Klimapolitik wertlos würde – der Begriff der gestrandeten Vermögenswerte geht auf diese Arbeit zurück. Der Bericht führte den Gedanken in die Finanzwelt ein und wurde von Mark Carney 2015 aufgegriffen. Er zeigt zugleich, wo das wirtschaftliche Interesse am Nichthandeln liegt.

**Q25 Intergovernmental Panel on Climate Change (2021): *Sixth Assessment Report, Working Group I: The Physical Science Basis*.** Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Der Sechste Sachstandsbericht stellt fest, dass es eindeutig ist, dass der menschliche Einfluss Atmosphäre, Ozean und Landflächen erwärmt hat – eine Formulierung ohne Wahrscheinlichkeitszusatz, wie sie in den Berichten zuvor nicht vorkam. Die Klimasensitivität wird auf 2,5 bis 4,0 Grad eingegrenzt, der beste Schätzwert liegt bei 3 Grad. Der Bericht führt die Erwärmung nahezu vollständig auf menschliche Ursachen zurück und quantifiziert das verbleibende Kohlenstoffbudget. Er ist der derzeit maßgebliche Sachstand und die Bezugsgröße jeder Abweichungsdiskussion.

**Q26 Bank Policy Institute (2025): *The Flawed NGFS Damage Function Is Even More Flawed Than We Thought*.** Kritischer Beitrag eines Verbands der US-Großbanken (Gegenposition).

<https://bpi.com/the-flawed-ngfs-damage-function-is-even-more-flawed-than-we-thought/>

Der Verband der großen amerikanischen Banken kritisiert dieselben NGFS-Szenarien aus der entgegengesetzten Richtung und hält die dort unterstellten Wirtschaftsschäden für überzeichnet und methodisch nicht belastbar. Die Kritik richtet sich gegen die Herleitung der Schadensfunktion und gegen deren Verwendung in aufsichtlichen Stresstests. Der Beitrag ist hier aufgenommen, weil die in Abschnitt 2.3 vertretene These sonst einseitig bliebe: Die Schadensfunktion wird von zwei Seiten angegriffen. Wer die Kritik der Aktuarien ernst nimmt, muss auch zur Kenntnis nehmen, dass der Streit über die Modelle nicht entschieden ist.

**Q27** Internationaler Gerichtshof (2025): *Obligations of States in respect of Climate Change, Advisory Opinion*. Gutachten vom 23. Juli 2025, Az. 187 (auf Ersuchen der UN-Generalversammlung, Res. 77/276).

<https://www.icj-cij.org/case/187>

Der Internationale Gerichtshof stellte einstimmig fest, dass Staaten völkerrechtlich verpflichtet sind, das Klimasystem vor menschengemachten Emissionen zu schützen, und dass die 1,5-Grad-Grenze des Pariser Abkommens hierfür der maßgebliche Bezugspunkt ist. Die Pflichten wirken nach Auffassung des Gerichts gegenüber der Staatengemeinschaft insgesamt. Ein Verstoß kann Wiedergutmachungsansprüche auslösen. Das Gutachten verschiebt die Frage des Handelns aus dem politischen in den rechtlichen Bereich und ist der vorläufige Endpunkt der Chronologie.

**Q28** Revelle, Roger; Suess, Hans E. (1957): *Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO<sub>2</sub> during the past decades*. Tellus 9, S. 18–27.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3402/tellusa.v9i1.9075>

Die Arbeit widerlegte den bis dahin stärksten Einwand gegen die Kohlendioxidthese, nämlich dass der Ozean das zusätzliche Gas rasch aufnehmen werde. Revelle und Suess zeigten über die Karbonatchemie des Meerwassers, dass die Aufnahmefähigkeit durch den Pufferfaktor begrenzt ist und ein erheblicher Teil in der Lufthülle bleibt. Der Aufsatz enthält den vielzitierten Satz, die Menschheit führe ein geophysikalisches Großexperiment durch, wie es sich in der Vergangenheit nicht ereignet habe und in Zukunft nicht wiederholen lasse. Er ist der Auslöser der bis heute laufenden Messreihe am Mauna Loa.

**Q29** Boykoff, Maxwell T.; Boykoff, Jules M. (2004): *Balance as bias: global warming and the US prestige press*. Global Environmental Change 14, S. 125–136.

[https://sciencepolicy.colorado.edu/admin/publication\\_files/2004.33.pdf](https://sciencepolicy.colorado.edu/admin/publication_files/2004.33.pdf)

Die beiden Autoren untersuchten 636 Beiträge der New York Times, Washington Post, Los Angeles Times und des Wall Street Journal aus den Jahren 1988 bis 2002. In 52,7 Prozent der Beiträge wurden beide Seiten — menschliche Ursache und natürliche Schwankung — als gleichwertig dargestellt, obwohl der Sachstand das nicht hergab; nur 35,3 Prozent betonten den menschlichen Anteil. Die Autoren nennen dies eine Verzerrung durch Ausgewogenheit: Die journalistische Regel, beide Seiten zu Wort kommen zu lassen, hat einer kleinen Gruppe Zweifelnder eine Lautstärke verschafft, die ihrem fachlichen Gewicht nicht entspricht. Die Arbeit ist die Standardquelle für den in Abschnitt 3.2.5 beschriebenen Mechanismus.

**Q30** British Broadcasting Corporation / Fran Unsworth (2018): *Interne Anleitung zur Klimaberichterstattung*. Redaktionsanweisung vom 6. September 2018; Wortlaut wiedergegeben bei Carbon Brief.

<https://www.carbonbrief.org/exclusive-bbc-issues-internal-guidance-on-how-to-report-climate-change/>

Die BBC zog nach einer Rüge der Medienaufsicht Ofcom vom April 2018 die Konsequenz und gab ihren Redaktionen eine schriftliche Anleitung. Ihr Kernsatz lautet sinngemäß: Da der Klimawandel als Tatsache gilt, braucht man für die Ausgewogenheit keinen Leugner. Die Anleitung unterscheidet ausdrücklich zwischen dem Kernbefund, der nicht strittig ist, und den Fragen nach Tempo, Ausmaß und politischen Maßnahmen, bei denen Gegenrede angebracht ist. Sie ist das erste Beispiel einer großen Rundfunkanstalt, die die Regel „beide Seiten“ auf Tatsachenfragen nicht mehr anwendet.

**Q31** Lewandowsky, Stephan; Cook, John u. a. (2020): *The Debunking Handbook 2020*. Von 22 Fachleuten im Delphi-Verfahren abgestimmter Leitfaden; deutsche Übersetzung verfügbar.

<https://skepticalscience.com/debunking-handbook-2020-downloads-translations.html>

Der Leitfaden fasst zusammen, was nach heutigem Forschungsstand wirkt, wenn falschen Aussagen widersprochen werden soll. Empfohlen wird der Aufbau Tatsache – Warnung – Falschaussage – Erklärung des Fehlers – Tatsache: Man beginnt und endet mit dem richtigen Befund und nennt die Falschaussage nur einmal, angekündigt. Wichtiger als das Widerlegen ist das Vorbeugen (Inokulation): Wer die Masche vorher kennt, fällt seltener darauf herein. Die früher befürchtete Verstärkerwirkung des Widerlegens tritt nach neuerer Forschung deutlich seltener auf als angenommen — Schweigen ist also nicht die sichere Alternative.

**Q32** klimafakten.de / Schrader, Christopher (Hrsg.) (2022): *Über Klima sprechen. Das Handbuch*. Deutschsprachiges Compendium zur Klimakommunikation, als Buch und als freier Download.

<https://klimakommunikation.klimafakten.de/download-handbuch/>

Das Handbuch überträgt den internationalen Forschungsstand zur Klimakommunikation auf den deutschen Sprachraum und richtet sich ausdrücklich auch an Redaktionen. Es behandelt unter anderem den Umgang mit Leugnung, die Wahl der Sprachbilder, das Kennen des Publikums und die Frage, wann eine Auseinandersetzung überhaupt geführt werden sollte. Für die Praxis ist es die am leichtesten zugängliche Quelle der in Tabelle 12 zusammengefassten Regeln.

**Q33** Crutzen, Paul J.; Birks, John W. (1982): *The Atmosphere after a Nuclear War: Twilight at Noon*. Ambio 11, S. 114–125; fortgeführt in der TTAPS-Arbeit von Turco, Toon, Ackerman, Pollack und Sagan, Science, Dezember 1983.

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27460-7\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27460-7_5)

Crutzen und Birks untersuchten ursprünglich die Wirkung von Stickoxiden auf die Ozonschicht und stießen dabei auf den Rauch der Brände, die ein Atomkrieg auslösen würde: Über der halben Nordhalbkugel verteilt, würde er einen großen Teil des Sonnenlichts abfangen. Die Gruppe um Carl Sagan rechnete das 1983 mit Klimamodellen nach, prägte den Ausdruck Nuklearwinter und kam auf Temperaturstürze von mehr als zwanzig Grad. Spätere Arbeiten korrigierten die Größenordnung nach unten — zeitweise war vom Nuklearherbst die Rede —, moderne Modelle bestätigen seit 2007 wieder erhebliche Abkühlungen. Der Vorgang ist in zweierlei Hinsicht lehrreich: Er belegt die kühlende Wirkung von Rußteilchen in der Lufthülle, und er zeigt, dass Modellrechnungen auch überziehen können und von der Fachwelt selbst korrigiert werden.

**Q34** ZDF, Sendung „Markus Lanz“ vom 25. Mai 2023 (2023): *Streitgespräch zum Klimawandel mit Mojib Latif und Steffen Kotré (AfD)*. Fernsehsendung; Ablauf wiedergegeben in der Berichterstattung, u. a. t-online.

[https://www.t-online.de/nachrichten/deutschland/innenpolitik/id\\_100182038/-markus-lanz-recht-auf-eigene-wahrheit-afd-mann-sorgt-fuer-zoff.html](https://www.t-online.de/nachrichten/deutschland/innenpolitik/id_100182038/-markus-lanz-recht-auf-eigene-wahrheit-afd-mann-sorgt-fuer-zoff.html)

Der Klimaforscher Mojib Latif traf in der Sendung auf den energiepolitischen Sprecher einer Partei, die den Befund bestreitet, sowie auf eine Journalistin. Der Abgeordnete sprach von Hysterie und Alarmismus und berief sich für seine Zweifel auf einen Physik-Nobelpreisträger; Latif entgegnete, es handele sich durchweg um Falschbehauptungen. Die Redaktion prüfte die Berufung noch während der Sendung und stellte richtig, dass der genannte Nobelpreisträger sich öffentlich gegen die Leugnung des Klimawandels gestellt hatte. Der Fall zeigt beides: die Schieflage des Formats und zugleich, dass ein vorbereiteter Faktencheck sie in einem Punkt ausgleichen kann.

**Q35** Bereiter, Bernhard u. a. (2015): *Revision of the EPICA Dome C CO<sub>2</sub> record from 800 to 600 kyr before present*. Geophysical Research Letters 42, S. 542–549; Datensatz „Antarctic Ice Cores Revised 800KYr CO<sub>2</sub> Data“ bei NOAA NCEI.

<https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/antarctica2015co2composite.txt>

Die maßgebliche Zusammenstellung des atmosphärischen Kohlendioxidgehalts der letzten 800.000 Jahre aus sieben antarktischen Eisbohrkernen (Dome C, Vostok, EDML, TALDICE, WAIS, Siple Dome, Law Dome), 1.901 Messwerte. Sie ersetzt die Reihe von Lüthi u. a. (2008) und korrigiert einen Messartefakt im ältesten Abschnitt. Der Datensatz belegt, dass der Kohlendioxidgehalt in acht Eiszeitzyklen zwischen rund 175 und 300 ppm schwankte und nie über 300 ppm lag. Grundlage der Abbildungen 3 und 4 und des Blattes Eiskern\_CO2.

**Q36** Jouzel, Jean u. a. (2007): *Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years*. Science 317, S. 793–796; Datensatz „EPICA Dome C Ice Core 800KYr Deuterium Data and Temperature Estimates“ bei NOAA NCEI.

[https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica\\_domec/edc3deuttemp2007.txt](https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica_domec/edc3deuttemp2007.txt)

Die Temperaturrekonstruktion aus dem Deuteriumgehalt des EPICA-Bohrkerns Dome C, 5.785 Messwerte über 800.000 Jahre, als Abweichung vom Mittel der letzten 1.000 Jahre. Die Arbeit zeigt acht Eiszeitzyklen mit Abkühlungen um rund 9 Grad über der Antarktis und die Kopplung an die Erdbahnzyklen. Am europäischen Bohrprojekt EPICA war das Alfred-Wegener-Institut maßgeblich beteiligt. Grundlage des Blattes Eiskern\_Temp.

**Q37** NOAA Global Monitoring Laboratory (2026): *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide – Mauna Loa annual mean*. Datensatz co2\_annmean\_mlo.txt, Stand 2025.

<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

Die Fortsetzung der Keeling-Messreihe am Mauna Loa als Jahresmittel seit 1959: von 316 ppm (1959) auf 427 ppm (2025). Der Datensatz liefert den heutigen Wert, mit dem die Eiskernreihen verglichen werden, und die Anstiegsrate der letzten Jahre. Grundlage des Blattes CO2\_MaunaLoa.

**Q38** NASA Goddard Institute for Space Studies (2026): *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP v4), Land-Ocean Global Means*. Datensatz GLB.Ts+dSST.csv, Jahresmittel 1880 bis 2025.

<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

Die weltweite Mitteltemperatur über Land und Ozean seit 1880 als Abweichung vom Mittel 1951–1980. Hier auf den Bezug 1880–1900 umgerechnet, der als vorindustrielles Niveau dient. Danach lag das Zehnjahresmittel 2015–2024 rund 1,2 Grad, das Jahr 2024 rund 1,5 Grad über dem vorindustriellen Wert. Grundlage des Blattes Temperatur\_global.

**Q39** Heinrich, Hartmut (1988): *Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years*. Quaternary Research 29, S. 142–152.

[https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90057-9)

Die Arbeit, die den Heinrich-Ereignissen den Namen gab: In Sedimentkernen aus dem Nordatlantik finden sich Lagen von Gesteinsschutt, den Eisberge abgelagert haben. Sie belegen, dass der nordamerikanische Eisschild in der letzten Eiszeit etwa alle 7.000 bis 10.000 Jahre massenhaft Eisberge entließ. Die Ereignisse störten die Umwälzströmung des Atlantiks und ließen das Klima rund um den Nordatlantik binnen Jahrzehnten kippen – ein Beleg dafür, dass das Klimasystem Kippunkte hat.

**Q40** Petit, Jean-Robert u. a. (1999): *Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica*. Nature 399, S. 429–436.

<https://doi.org/10.1038/20859>

Der Eisbohrkern von Vostok liefert erstmals vier vollständige Eiszeitzyklen: Temperatur, Kohlendioxid und Methan laufen über 420.000 Jahre eng gekoppelt. Die Arbeit ist die Vorlage der weit verbreiteten Grafik

„Kohlendioxid und Temperatur über 400.000 Jahre“ und zeigt, dass der Kohlendioxidgehalt in dieser Zeit nie über rund 300 ppm lag.

**Q41** Caillon, Nicolas u. a. (2003): *Timing of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Antarctic Temperature Changes Across Termination III*. Science 299, S. 1728–1731.

<https://doi.org/10.1126/science.1078758>

Beim Ausstieg aus der Eiszeit vor rund 240.000 Jahren stieg die Temperatur über der Antarktis dem Kohlendioxid um  $800 \pm 200$  Jahre voraus. Die Arbeit ist die Standardquelle für den Einwand, Kohlendioxid folge der Temperatur nur. Ihre Verfasser ziehen den umgekehrten Schluss: Der Auslöser war die Erdbahn, das Kohlendioxid kam aus dem sich erwärmenden Ozean und verstärkte die Erwärmung – es ist Rückkopplung und Antrieb zugleich.

**Q42** Shakun, Jeremy D. u. a. (2012): *Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation*. Nature 484, S. 49–54.

<https://doi.org/10.1038/nature10915>

Aus 80 Temperaturreihen weltweit wird die Erwärmung am Ende der letzten Eiszeit rekonstruiert. Ergebnis: Über der Antarktis ging die Temperatur voraus, im Weltmittel folgte sie dem Kohlendioxid. Der Anstieg des Kohlendioxids erklärt den größten Teil der weltweiten Erwärmung um rund 4 Grad; die Erdbahn gab nur den Anstoß. Damit ist das Bild „erst Temperatur, dann Kohlendioxid“ für die Erde als Ganzes widerlegt.

**Q43** Tierney, Jessica E. u. a. (2020): *Glacial cooling and climate sensitivity revisited*. Nature 584, S. 569–573.

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2617-x>

Die Erde war im Maximum der letzten Eiszeit im Weltmittel rund 6 Grad kälter als vorindustriell (Spanne 5,7 bis 6,5 Grad). Aus dieser Abkühlung und dem bekannten Antrieb folgt eine Klimasensitivität von rund 3,4 Grad je Verdopplung des Kohlendioxidgehalts – im Einklang mit den Modellwerten. Die Zahl ordnet die Antarktisreihe ein: Dort schwankt die Temperatur etwa doppelt so stark wie im Weltmittel.

**Q44** Plinius der Ältere (Gaius Plinius Secundus) (um 77 n. Chr.): *Naturalis historia*, Buch XVII, Kap. 3. Naturalis historia XVII,3 (§ 30).

<https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0137:book=17:chapter=3>

Plinius berichtet, die Trockenlegung eines Sees bei Larisa in Thessalien habe die Gegend kälter gemacht und den Ölbaum verdrängt, die Entwässerung des Ackerlands bei Philippi habe das dortige Klima verändert, und Ainos sei wärmer geworden, seit der Fluss näher an die Stadt trat. Beide griechischen Beispiele stehen bereits bei Theophrast (De causis plantarum V,14); Plinius ist der älteste lateinische Zeuge, nicht die Erstquelle.

**Q45** Broecker, Wallace S. (1994): *Massive iceberg discharges as triggers for global climate change*. Nature 372, S. 421–424.

<https://doi.org/10.1038/372421a0>

Broecker fasst die Heinrich-Ereignisse als Eisberg-Entladungen des Laurentidischen Eisschildes durch die Hudsonstraße zusammen, nennt einen Abstand von rund 10.000 Jahren mit Abnahme von 13.000 auf 7.000 Jahre im Verlauf der Kaltzeit und formuliert die bis heute maßgebliche Kausalkette: Süßwassereinträge in die Polarmeere können die thermohaline Zirkulation stören. Diese Deutung stammt nicht von Heinrich 1988 selbst.

**Q46** Bond, Gerard u. a. (1993): *Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice*. Nature 365, S. 143–147.

<https://doi.org/10.1038/365143a0>

Die Arbeit koppelt die Schuttlagen der Nordatlantik-Sedimente an die abrupten Temperatursprünge der grönländischen Eiskerne (Dansgaard-Oeschger-Ereignisse). Erst hierdurch wird belegt, dass das Klima rund um den Nordatlantik binnen Jahrzehnten kippte — eine Aussage, die in Heinrichs Arbeit von 1988 noch nicht vorkommt.

**Q47** Cuffey, Kurt M. u. a. (2016): *Deglacial temperature history of West Antarctica*. Proceedings of the National Academy of Sciences 113 (50), S. 14249–14254.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1609132113>

Aus dem Bohrkern WAIS Divide ergibt sich für die Westantarktis eine deglaziale Erwärmung von  $11,3 \pm 1,8$  Grad. Die Verfasser bezeichnen das ausdrücklich als das Zwei- bis Dreifache des weltweiten Mittels und sehen darin die theoretisch erwartete polare Verstärkung bestätigt. Dies ist der belastbare Beleg für die Einordnung der Antarktisreihe; Tierney u. a. 2020 enthält keine solche Aussage.

**Q48** Arrhenius, Svante (1906 / 1908): *Das Werden der Welten (englisch: Worlds in the Making)*. Leipzig 1907 bzw. London 1908.

<https://archive.org/details/worldsinmakingev00arrh>

In diesem populärwissenschaftlichen Buch, nicht in der Arbeit von 1896, äußert sich Arrhenius zu Zeitraum und Wünschbarkeit der Erwärmung: Er rechnet mit Jahrhunderten und hält ein milderes Klima für die nördlichen Länder für vorteilhaft. Die Fundstelle ist im Original noch nicht nachgeschlagen und wird bis dahin als Zuschreibung geführt.

**Q49** Nordhaus, William D. (2018): *Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies*. American Economic Journal: Economic Policy 10 (3), S. 333–360; Vorfassung NBER Working Paper 22933, S. 15.

<https://doi.org/10.1257/pol.20170046>

Die Arbeit dokumentiert die Schadensfunktion des Modells DICE-2016R2. Sie nennt zwei Zahlenpaare unmittelbar nacheinander: einschließlich eines Zuschlags für nicht erfasste Schäden 2,1 Prozent bei 3 Grad und 8,5 Prozent bei 6 Grad; für den im Modell tatsächlich verwendeten Parameter 2,0 Prozent bei 3 Grad und 7,9 Prozent bei 6 Grad.

**Q50** Climate Financial Risk Forum (Bank of England und Financial Conduct Authority) (2025): *Szenarienpapier zu klima- und naturbezogenen Risiken*. Zitiert nach Institute and Faculty of Actuaries, Parasol Lost (2026), S. 19.

<https://actuaries.org.uk/media/isvotyer/parasol-lost.pdf>

Das Papier entwirft ein zwar schweres, aber plausibles Klima- und Naturszenario, in dem die weltweite Wirtschaftsleistung binnen fünf Jahren um 15 bis 20 Prozent einbricht. Die Zahl wird im Bericht Parasol Lost zitiert und stammt nicht vom Aktuarverband selbst.

**Q51** Network for Greening the Financial System (NGFS) (2024 / 2025): *NGFS Long-term Climate Scenarios, Phase V — Erklärung zu den Schätzungen des physischen Risikos*. Szenarien vom 5. November 2024; Erklärung des NGFS zum Rückzug der zugrunde liegenden Arbeit.

<https://www.ngfs.net/en/press-release/statement-regarding-physical-risk-estimates-phase-v-ngfs-long-term-scenarios>

Das Netzwerk der Aufsichtsbehörden beziffert in der fünften Phase seiner Szenarien die Schäden auf 15 Prozent der weltweiten Wirtschaftsleistung bis 2050 bei 2 Grad und 30 Prozent bis 2100 bei 3 Grad. Die zugrunde liegende Arbeit von Kotz u. a. (2024) wurde im Dezember 2025 von der Zeitschrift Nature zurückgezogen; das Netzwerk weist darauf hin, dass die Ergebnisse der Phase V im Licht dieses Rückzugs zu lesen sind.

**Q52** Kwiatkowska, Teresa / Holland, Alan (2010): *Dark is the World to Thee: A Historical Perspective on Environmental Forewarnings*. Environment and History 16 (4), S. 455–482.

<https://doi.org/10.3197/096734010X531498>

Der Aufsatz verfolgt Umweltwarnungen von der Antike bis in die Gegenwart. Er zitiert Theophrast, De causis plantarum V,14,2–3, wörtlich: Um Larisa in Thessalien sei die Luft dichter und die Gegend wärmer gewesen, solange die Ebene ein See war; seit das Wasser abgeleitet ist, sei die Gegend kälter geworden und Frost häufiger. Ölbaum und Weinstock, vorher dort heimisch, hielten sich nicht mehr.

**Q53** Pollaro, Paul / Robertson, Paul (2021): *Reassessing the Role of Anthropogenic Climate Change in the Extinction of Silphium*. Frontiers in Conservation Science 2, Artikel 785962.

<https://doi.org/10.3389/fcosc.2021.785962>

Die Arbeit prüft, ob eine vom Menschen verursachte Klimaänderung zum Aussterben des Silphiums beitrug. Sie gibt dabei Theophrasts Bericht über Philippi nach der Loeb-Ausgabe wieder: Nahezu alle Bäume seien für die Ausdehnung des Ackerlands gefallen, Sonne und Wind hätten Zugang bekommen, die Luft sei trockener geworden und das Grundwasser weitgehend zurückgewichen — Frost, vorher häufig, sei deutlich seltener geworden.

## Anhang C Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

| Nummer             | Bezeichnung                                                           | Abschnitt |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Abbildung 1</b> | Der Pfad der Erkenntnis in fünf Stufen                                | 1.1       |
| <b>Abbildung 2</b> | Verdichtung der Evidenz – aus Versatzstücken wird ein Gebäude         | 2.6       |
| <b>Abbildung 3</b> | Kohlendioxid und Temperatur über 800.000 Jahre – und der heutige Wert | 2.7       |
| <b>Abbildung 4</b> | Vom Eiszeitmaximum bis heute – 21.000 Jahre in einem Bild             | 2.7       |
| <b>Abbildung 5</b> | Wann das Wissen vorlag – und wann emittiert wurde                     | 3.1       |
| <b>Abbildung 6</b> | Das Problem ist jünger, als die Erzählung nahelegt                    | 3.1.1     |
| <b>Abbildung 7</b> | Dieselbe Welt, zwei Rechenwerke                                       | 3.2.3     |
| <b>Tabelle 1</b>   | Aufnahmekriterien für die Chronologie                                 | 1         |

| Nummer            | Bezeichnung                                            | Abschnitt |
|-------------------|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabelle 2</b>  | Stufe 1 – die vorwissenschaftliche Phase               | 2.1       |
| <b>Tabelle 3</b>  | Stufe 2 – von Fourier bis Ekholm                       | 2.2       |
| <b>Tabelle 4</b>  | Stufe 3 – von Milanković bis Wostok                    | 2.3       |
| <b>Tabelle 5</b>  | Stufe 4 – der Weg des Befunds aus dem Fachkreis heraus | 2.4       |
| <b>Tabelle 6</b>  | Stufe 5 – feste Gremien, Bestätigung, geltendes Recht  | 2.5       |
| <b>Tabelle 7</b>  | Die sechzehn Belegketten im Einzelnen                  | 2.6       |
| <b>Tabelle 8</b>  | Kennzahlen des großen Zusammenhangs                    | 2.7       |
| <b>Tabelle 9</b>  | Emissionsstand zum Zeitpunkt der wichtigsten Warnungen | 3.1       |
| <b>Tabelle 10</b> | Derselbe Befund nach Geburtsjahrgängen                 | 3.1.1     |
| <b>Tabelle 11</b> | Schadensschätzungen mit Bedingung und Einordnung       | 3.2.3     |
| <b>Tabelle 12</b> | Handwerkszeug für die redaktionelle Aufbereitung       | 3.2.5     |
| <b>Tabelle 13</b> | Prüfung der Entsprechung zwischen beiden Feldern       | 3.3       |
| <b>Tabelle 14</b> | Glossar der verwendeten Fachbegriffe                   | Anhang A  |
| <b>Tabelle 15</b> | Primärquellen der Stufen 1 und 2 mit Prüfstand         | Anhang D  |
| <b>Anhang B</b>   | Literaturverzeichnis mit Fundstellen und Kurzfassungen | Anhang B  |

## Anhang D Primärquellen der Stufen 1 und 2

Die Chronologie der Stufen 1 und 2 war ursprünglich aus Sekundärliteratur zusammengestellt. Wer sie unter eigenem Namen verwendet, muss die Originalarbeiten benennen können. Die folgende Tabelle führt zu jedem Eintrag den Vollbeleg der Originalarbeit, einen Prüfstand, der angibt, wie gut der Beleg durch Sekundärquellen abgesichert ist, und das Ergebnis der Prüfung am Original.

- **A** — Vollbeleg in mindestens zwei voneinander unabhängigen Quellen übereinstimmend.
- **B** — Vollbeleg aus einer Quelle; Einzelheiten wie Seiten oder Zitatstelle nicht nachgeschlagen.
- **C** — Zuschreibung nach einer anerkannten Fachquelle; die Primärstelle ist nicht eigens identifiziert und wird als Zuschreibung geführt.

Am 15. und 16. September 2026 ist zu jedem Eintrag versucht worden, die Originalarbeit selbst einzusehen; der Eintrag zu Theophrast ist am 22. September 2026 nachgeprüft worden. Die letzte Spalte hält fest, was dabei herauskam. Sie ist die eigentliche Auskunft dieser Tabelle: Wo dort „Original eingesehen“ steht, beruht der Eintrag nicht mehr auf Sekundärliteratur. Bei zwei Einträgen ist nach Festlegung des Verfassers keine Primärstellenprüfung vorgesehen, bei vieren war der Primärtext nicht frei zugänglich; dort ist an Stelle des Originals angegeben, woran statt dessen geprüft wurde.

| Jahr           | Person                  | Originalarbeit (Vollbeleg)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Stand | Bemerkung                                                                                                                                                 | Prüfung am Original                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| um 300 v. Chr. | Theophrastos von Eresos | Theophrastos: De causis plantarum, Buch V, Kap. 14 (Larisa: V,14,2–3; Philippi: ebenda). Textausgabe mit Übersetzung: Einarson, B. / Link, G. K. K. (Hrsg.): Theophrastus, De causis plantarum, Bd. III, Bücher 5–6, Loeb Classical Library 475, Cambridge (Mass.) 1990. Deutsche Zusammenfassung bei Glacken, C. (1967): Traces on the Rhodian Shore, Berkeley, Kap. 3. | A     | Vollbeleg und beide Beispiele in zwei voneinander unabhängigen Fachveröffentlichungen mit wörtlichem Zitat der Primärstelle übereinstimmend [Q52], [Q53]. | Primärtext nicht selbst eingesehen: die Loeb-Ausgabe (LCL 475) ist nicht frei zugänglich, das Digitalisat der Wimmer-Ausgabe nur unvollständig lesbar. Geprüft wurde deshalb an zwei unabhängigen Fachaufsätzen, die De causis plantarum V,14 wörtlich zitieren: Kwiatkowska/Holland 2010 [Q52] für Larisa (V,14,2–3 — nach dem Ablassen des Sees wurde die Gegend kälter und Frost häufiger) und Pollaro/Robertson 2021 [Q53] für Philippi (nach Rodung und Entwässerung wurde Frost deutlich seltener). Befund: Beide Beispiele stehen bei Theophrast; die Zuschreibung ist richtig, die Richtung der Wirkung ist in den beiden Fällen entgegengesetzt. |

| Jahr           | Person                          | Originalarbeit (Vollbeleg)                                                                                                                                                                                       | Stand | Bemerkung                                                                                                                                                                                                    | Prüfung am Original                                                                                                                                                                                                               |
|----------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1671           | Robert Boyle                    | Nach Q02 eine 1671 an der Royal Society aufgeworfene Frage; das zugehörige Werk ist nicht identifiziert (in Betracht kommen die 1671 erschienenen „Tracts“ oder Boyles Queries zur Naturgeschichte von Ländern). | C     | Wird als Zuschreibung nach Q02 geführt; die Encyclopédie de l'Environnement gilt als verlässliche Fachquelle, eine eigene Primärstellenprüfung ist nicht vorgesehen (Festlegung J. Ruth, 14.09.2026).        | Keine Primärstellenprüfung (Festlegung J. Ruth, 14.09.2026). Bleibt Zuschreibung nach Q02.                                                                                                                                        |
| 1681           | Edme Mariotte                   | Mariotte, E. (1681): Essais de physique, Quatrième essai: De la nature des couleurs, Paris. Beobachtung, dass Glas das Sonnenlicht durchlässt, die Wärme eines Feuers aber zurückhält.                           | A     | Zuschreibung und Jahr in zwei unabhängigen Sekundärquellen mit Primärbeleg übereinstimmend; Q01 nennt Mariotte nicht.                                                                                        | Original eingesehen (Oeuvres, Leiden 1717 und La Haye 1740). Befund: Mariotte unterscheidet Sonnenwärme von Feuerwärme, nicht einfallende von abgehender Strahlung. Die Deutung als Richtungsabhängigkeit ist späteren Ursprungs. |
| 1743 / 1765    | Henri-Louis Duhamel du Monceau  | Duhamel du Monceau, H.-L.: Observations botanico-météorologiques, Mémoires de l'Académie royale des sciences, Jahrgänge ab 1741; Zitate von 1743 und 1765 nach Q02.                                              | C     | Jahresangaben und Zitate nach Q02; wird als Zuschreibung nach dieser Fachquelle geführt, eine eigene Primärstellenprüfung ist nicht vorgesehen (Festlegung J. Ruth, 14.09.2026).                             | Keine Primärstellenprüfung (Festlegung J. Ruth, 14.09.2026). Bleibt Zuschreibung nach Q02.                                                                                                                                        |
| um 1767 / 1774 | Horace-Bénédict de Saussure     | Saussure, H.-B. de (1786): Voyages dans les Alpes, Bd. 2, Neuchâtel (Versuche mit dem Heliothermometer am 16. und 17. Juli 1774 auf dem Mont Cramont und im Tal bei Courmayeur).                                 | A     | Bau des Geräts um 1767, Bergversuch 1774 – beide Angaben in zwei unabhängigen Sekundärquellen bestätigt. Die frühere Jahresangabe „1774“ bezeichnete nur den Versuch, nicht den Bau; Chronologie korrigiert. | Original teilweise eingesehen (Ausgabe Neuchâtel 1804, Kap. XXXIV). Befund: Die Jahreszahl 1774 ist durch den Primärtext gedeckt; 1767 war dort nicht auffindbar und bleibt Angabe der Sekundärliteratur.                         |
| 1778           | Georges-Louis Leclerc de Buffon | Buffon, G.-L. L. de (1778): Les Époques de la Nature, in: Histoire naturelle, Supplément Bd. 5, Paris. Zitat „Ein Wald mehr oder weniger in einem Land genügt, um seine Temperatur zu ändern“ nach Q02.          | B     | Werk und Jahr gesichert; Zitat nach Q02, Seite nicht nachgeschlagen.                                                                                                                                         | Original eingesehen (Ausgabe Paris 1780, Bd. II, 7. Époque). Befund: Der Satz lautet „une seule forêt de plus ou de moins“ — ein einziger Wald mehr oder weniger.                                                                 |

| Jahr               | Person              | Originalarbeit (Vollbeleg)                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Stand | Bemerkung                                                                                                                                                     | Prüfung am Original                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1824 / 1827</b> | Joseph Fourier      | Fourier, J. (1824): Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, Annales de Chimie et de Physique 27, S. 136–167.<br>Fourier, J. (1827): Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences 7, S. 570–604. | A     | Vollbelege in mehreren voneinander unabhängigen Quellen übereinstimmend (Q01 u. a.).                                                                          | Original eingesehen (Fassung 1827). Befund: Alle Aussagen gedeckt. Fourier nennt die Saussure namentlich und begrenzt die Analogie selbst; das Wort „serre“ kommt nicht vor.                                                                                                                                |
| <b>1838</b>        | Claude Pouillet     | Pouillet, C. (1838): Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'air atmosphérique et sur la température de l'espace, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 7, S. 24–65.                                                                                                           | B     | Vollbeleg gesichert; die Zuschreibung von Wasserdampf und Kohlensäure ist durch die eingesehenen Originalseiten nicht gestützt und im Bericht zurückgenommen. | Original teilweise eingesehen (S. 24–42 von 24–65). Befund: Pouillet argumentiert mit einer „enveloppe diathermane“ ohne Nennung einzelner Gase. Die Zuschreibung an Wasserdampf und Kohlensäure ist durch die eingesehenen Seiten nicht gestützt.                                                          |
| <b>1856</b>        | Eunice Newton Foote | Foote, E. N. (1856): Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays, American Journal of Science and Arts, 2. Serie, 22 (Heft 66), S. 382–383. Vorgetragen von Joseph Henry auf der AAAS-Tagung in Albany am 23. August 1856.                                                                                         | A     | Vollbeleg in Q01, Q03, Q04 und weiteren Quellen übereinstimmend.                                                                                              | Original nicht erreicht; zwei unabhängige Transkriptionen eingesehen. Befund: Der Schluss steht im Konditional und bezieht sich auf eine frühere Erdperiode; Foote führt die Erwärmung auch auf das Gewicht der Luft zurück. Ein Vortragsverbot für Frauen ist nicht belegt — Joseph Henry verlas den Text. |
| <b>ab 1859</b>     | John Tyndall        | Tyndall, J. (1859): Note on the Transmission of Radiant Heat through Gaseous Bodies, Proceedings of the Royal Society of London 10, S. 37–39. Tyndall, J. (1861): On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours (Bakerian Lecture), Philosophical Transactions of the Royal Society 151, S. 1–36.          | A     | Vollbelege in Q01 und Q03 übereinstimmend.                                                                                                                    | Original eingesehen (Proc. Roy. Soc. 10 und Phil. Trans. 151). Befund: Methan ist nicht vermessen („olefiant gas“ ist Ethylen); dem Wasserdampf wird ausdrücklich der Vorrang vor der Kohlensäure eingeräumt.                                                                                               |

| Jahr | Person                     | Originalarbeit (Vollbeleg)                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Stand | Bemerkung                                                                                                                                                                          | Prüfung am Original                                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1896 | Svante Arrhenius           | Arrhenius, S. (1896): On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground, Philosophical Magazine, 5. Serie, 41 (Nr. 251), S. 237–276. Högbom, A. (1894): Om sannolikheten för sekulära förändringar i atmosfärens kolsyrehalt, Svensk kemisk Tidskrift 6, S. 169–177.           | A     | Vollbeleg und Zahlenwerte (5–6 Grad bei Verdopplung, 4–5 Grad Abkühlung bei Halbierung) nach Q01, S. 269–273 der Originalarbeit.                                                   | Original eingesehen (seitengenaue Transkription, gegengeprüft an zwei Digitalisaten). Befund: Die Zahlenwerte stimmen; die Aussage über Zeiträume und Wünschbarkeit steht nicht in dieser Arbeit, sondern im Buch von 1906/1908 [Q48]. |
| 1899 | Thomas Chrowder Chamberlin | Chamberlin, T. C. (1899): An Attempt to Frame a Working Hypothesis of the Cause of Glacial Periods on an Atmospheric Basis, Journal of Geology 7, in drei Teilen: Heft 6, S. 545–584; Heft 7, S. 667–685; Heft 8, S. 751–787.                                                                                | A     | Vollbeleg vollständig; alle drei Teile am Original geprüft.                                                                                                                        | Original eingesehen (alle drei Teile). Befund: Kernthese und Wasserdampf-Rückkopplung bestätigt. Seitenzahlen vollständig: Heft 6, S. 545–584; Heft 7, S. 667–685; Heft 8, S. 751–787.                                                 |
| 1901 | Nils Gustaf Ekholm         | Ekholm, N. (1901): On the Variations of the Climate of the Geological and Historical Past and their Causes, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 27 (Nr. 117), S. 1–62. Der Ausdruck „greenhouse effect“ erst bei Poynting, J. H. (1907), Philosophical Magazine, 6. Serie, 14, S. 749–760. | A     | Ekholm verwendet 1901 das Bild vom Glas des Gewächshauses; den Ausdruck selbst prägt Poynting 1907. Der frühere Eintrag „prägt den Ausdruck“ war verkürzt; Chronologie korrigiert. | Original nicht erreicht (Digitalisate technisch nicht lesbar); Zitat aus belegter Sekundärrecherche. Poynting 1907 führt die feste englische Wendung ein, prägt aber nicht das Bild.                                                   |

Tabelle 15: Primärquellen der Stufen 1 und 2 mit Prüfstand und dem Ergebnis der Prüfung am Original vom 16. und 22. September 2026.