Bäume unter schwindendem Eis

Internationale Fundchronologien, frühere Wärmeperioden und der Vergleich mit der Hockey-Stick-Kurve

Dr. Klaus Retzlaff und Proto

Eine wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI

KI-geführtes Forschungsinstitut von Dr. Klaus Retzlaff

22. November 2026 | Version 01 · Wissenschaftlicher Arbeitsbericht

Zusammenfassung

Datierte Pflanzenreste aus Gletscher- und Eisfleckgebieten belegen frühere Vegetation, örtliche Eisfreiheit und teilweise höhere Baumgrenzen. Dieser Arbeitsbericht führt 126 katalogisierte Angaben zusammen, davon 116 zeitlich darstellbare Einträge aus 20 Primärveröffentlichungen. Die internationalen Befunde werden mit ihren publizierten Altersunsicherheiten beziehungsweise erhaltenen Jahrringfolgen auf gemeinsamen Zeitachsen dargestellt. Die Auswertung unterscheidet Pflanzenwachstum, Tod, Transport, glaziale Überdeckung und späteres Wiederauftauchen. Zum Vergleich dienen MBH 1999, PAGES 2k 2019 und Temperature12k 2020. Frühere regionale Vegetation ist gut belegt; die Temperature12k-Synthese enthält ein mittelholozänes Wärmemaximum. Auch die historischen Vergleichsreihen zeigen im deskriptiven Vergleich 1000–1199 gegen 1600–1799 höhere frühere Mittelwerte. Die Funddaten bestimmen für sich jedoch weder eine neue globale Wärmephase noch eine quantitative Unterschätzung globaler Temperaturamplituden. Unterschiedliche Jahreszeiten, räumliche Mittelung, Gletscherdynamik und mögliche Rekonstruktionsdämpfung müssen dafür getrennt untersucht werden. Dokumentierte Quellenprobleme und Förderangaben werden kritisch ausgewertet. Eine gezielte finanzielle Bevorzugung bestimmter erwünschter Klimabefunde ist mit dem vorliegenden Material nicht nachgewiesen. Der beigefügte Datenkatalog und das Auswertungspaket schaffen eine überprüfbare Grundlage für weiterführende Synchronitäts- und Sensitivitätstests.

Schlüsselwörter: Gletscherfunde, subfossiles Holz, Holozän, Dendrochronologie, Radiokarbon, globale Temperatur, Proxy-Sensitivität, Forschungsförderung

Erstes Kapitel — Fragestellung und Prüfmaßstab

Unter zurückweichendem Eis werden Baumstämme, Wurzeln, Torf und andere Pflanzenreste sichtbar. Solche Funde belegen frühere Vegetation im Herkunftsgebiet der Pflanzen; wie genau der Wuchsort bekannt ist, hängt vom Erhaltungs- und Fundkontext ab. Besonders aussagekräftig sind erhaltene Wurzelsysteme am früheren Wuchsort und zusammenhängende, kalendarisch datierte Jahrringfolgen. Die untersuchten Arbeiten dokumentieren frühere Waldstandorte, wechselnde Gletscherausdehnungen und zeitweise höhere Baumgrenzen in mehreren Weltregionen. Diese Beobachtungen gehören zur empirischen Klimageschichte und müssen in einer Darstellung vergangener Umweltbedingungen berücksichtigt werden. [1–23]

Die vorliegende Untersuchung prüft drei aufeinander aufbauende Fragen: Welche früheren Vegetations- und Eisverhältnisse sind unmittelbar belegt? Lassen sich die datierten Befunde verschiedener Regionen zu gemeinsamen Wärmephasen verbinden? Und zeigen etablierte großräumige Temperaturrekonstruktionen solche Phasen schwächer, als die Funde erwarten lassen? Eine zusätzliche Frage betrifft mögliche Einflüsse der Forschungsförderung auf Auswahl, Auswertung und Veröffentlichung der Befunde.

Die zu prüfende Hypothese lautet: Zeitlich übereinstimmende Vegetationsfunde aus mehreren Erdteilen könnten Wärmephasen anzeigen, deren Ausmaß in großräumigen Rekonstruktionen unterschätzt wird. Sie wird hier als prüfbare Hypothese behandelt. Ein bestätigter regionaler Befund entscheidet noch nicht über die globale Temperaturamplitude; ebenso wenig darf eine globale Mittelkurve einen gut belegten örtlichen Waldstandort bestreiten. Entscheidend ist, ob beide Aussagen dieselbe Zeit, denselben Raum und dieselbe klimatische Größe betreffen.

Als „globale Wärmeperiode“ kommen mindestens zwei verschiedene Sachverhalte infrage: ein erhöhtes flächengewichtetes Weltmittel oder annähernd gleichzeitige Wärmehöchststände vieler Regionen. Diese Kriterien sind nicht gleichbedeutend. Das Weltmittel kann steigen, obwohl regionale Maxima zeitversetzt auftreten. Umgekehrt kann eine Ansammlung geeigneter Waldstandorte keine globale Jahresmitteltemperatur beziffern, solange ihre räumliche und jahreszeitliche Bedeutung unbestimmt bleibt. Diese Unterscheidung ist auch für die Interpretation von Untersuchungen zur räumlichen Kohärenz entscheidend. [27]

Zweites Kapitel — Recherche, Datensatz und Vergleichsreihen

Der Katalog enthält 126 Datensätze. Davon sind 116 zeitlich darstellbar: 114 aus dem Holozän beziehungsweise dessen Übergangsbereich und zwei wesentlich ältere arktische Pflanzenalter. 10 Prüfdatensätze bleiben wegen fehlender Kalenderkalibration, widersprüchlicher Angaben, ungesicherter absoluter Lage oder ungeeigneten Fundkontexts außerhalb der Hauptabbildungen. Die darstellbaren Angaben stammen aus 20 Primärveröffentlichungen. Ihre 40 Standortbezeichnungen umfassen sowohl einzelne Fundplätze als auch größere Gletscher- oder Vorfeldbereiche; sie entsprechen keiner Stichprobe von ebenso vielen unabhängigen Klimaregionen.

Recherchiert wurden Primärarbeiten, Originaltabellen, verfügbare Supplemente, Forschungsdaten und Autorenfassungen. Suchbegriffe verbanden subglaziales Holz, freigelegte Vegetation, Gletscherrückzug, Radiokarbon und Dendrochronologie mit den untersuchten Gebirgsregionen. Literaturverweise wurden rückwärts und auf neuere Folgearbeiten geprüft. Der Aktualitätscheck schließt Veröffentlichungen von 2026 ein. Die Zusammenstellung ist eine nachvollziehbare internationale Fallauswahl; eine lückenlose systematische Erfassung sämtlicher publizierter und unpublizierter Funde wurde nicht erreicht.

Erfasst sind Alpen, schwedisches Skandinavien, kanadische Küstengebirge, Rocky Mountains, Alaska, Baffin Island, russischer Altai, tropische Anden und Patagonien. Für Neuseeland wurden zwei relevante Rohdatierungen gefunden, deren vollständige Kalenderkalibration hier nicht verifiziert werden konnte.

Für Himalaya und Tibet konnten die geprüften Hinweise nicht in gleichwertige Einzelprobendatensätze überführt werden. Eine solche Lücke bedeutet fehlende Abdeckung dieser Untersuchung, nicht nachgewiesene Abwesenheit alter Vegetation. [19,32]

Jeder Katalogeintrag enthält, soweit veröffentlicht, Probencode, Material, Fundkontext, datiertes Ereignis, Methode, Originalalter, Kalendergrenzen, Unsicherheitsniveau, Kalibrierkurve, Quelle und Einschränkungen. Förderangaben werden getrennt dokumentiert. Gleiche Proben aus mehreren Publikationen und Laborwiederholungen werden kenntlich gemacht. Besonders deutlich wird die Zähleinheit am Quelccaya-Datensatz: 48 Laborbestimmungen gehören zu 34 Proben- beziehungsweise Replikatgruppen; eine Messung vereint sogar zwei zuvor zusammengelegte Pflanzenfragmente. Daraus entstehen keine 48 unabhängigen Klimaereignisse. [22]

Als Vergleich dienen die ursprüngliche Rekonstruktion von Mann, Bradley und Hughes für die Nordhalbkugel, die globale PAGES-2k-Rekonstruktion von 2019 und die holozäne Temperature12k-Synthese von Kaufman und Mitarbeitern. Die Zahlenreihen wurden aus den archivierten Datensätzen neu gezeichnet. Die Auswahl ermöglicht den Vergleich mit der historisch bekannten Hockey-Stick-Kurve, einer jüngeren Mehrmethodenrekonstruktion und dem passenden langen Zeitfenster. Es handelt sich nicht um eine Aktualisierung der instrumentellen Temperaturentwicklung bis 2026. [24–26,33–35]

Tabelle 1. Die drei Vergleichsreihen und ihre unterschiedlichen Aussagebereiche.

Reihe	Zielgröße und Zeitraum	Verwendete Unsicherheitsdarstellung
MBH 1999	Jahresmittel der Nordhalbkugel; Rekonstruktion 1000–1980; Messreihe 1902–1998. Bezug 1902–1980.	Publizierte ±2 Standardfehler, vorhanden für 1000–1901.
PAGES 2k 2019	Globale Mitteltemperatur April–März; ungefiltert 1–2000; Messreihe 1850–2017. Bezug 1961–1990.	2,5.–97,5. Perzentil; gefilterte Originalspalten 16–1985.
Temperature12k 2020	Globale Oberflächentemperatur; 100-Jahresbins mit Zentren 0–12.000 cal BP. Bezug 1800–1900.	5.–95. Perzentil: zentraler 90%-Ensemblebereich.

Drittes Kapitel — Was die Zeitachse und ihre Fehlerbalken bedeuten

Alle Altersangaben auf der langen Zeitachse sind Kalenderjahre vor 1950, abgekürzt cal BP. „6000 cal BP“ bedeutet deshalb nicht 6000 Jahre vor dem Erscheinungsjahr dieses Berichts. Für n. Chr. gilt die Umrechnung 1950 minus Kalenderjahr. Historische Angaben v. Chr. werden ohne Jahr null behandelt. Unkalibrierte Radiokarbonjahre werden nicht durch bloßes Umbenennen auf diese Achse übertragen. Die ursprünglichen Angaben bleiben im Katalog erhalten.

Radiokarbondaten beschreiben das Alter des untersuchten Pflanzenkohlenstoffs. Ein Stück aus dem Inneren eines Baumstamms kann lange vor dem Baumtod entstanden sein. Zwischen Absterben, Transport, Einbettung in Sediment und späterer Überdeckung durch Eis können weitere Zeitabstände liegen. Ein kalibriertes Pflanzenalter wird daher erst zusammen mit Fundlage und Erhaltungszustand zu einer Aussage über eine Gletscherposition. Die Gleichsetzung von Holzalter, Baumtod und Vereisungsbeginn wäre bei vielen der gesammelten Proben falsch. [3–5,9,18,22]

Die Abbildungen unterscheiden vier Darstellungen. Dunkelblaue Linien zeigen publizierte 2σ- beziehungsweise ungefähr 95%-Kalibrierbereiche. Hellblaue gestrichelte Linien zeigen publizierte 1σ-Bereiche. Grüne Balken markieren erhaltene Wachstumsspannen und braune Rauten einzelne kalendarisch datierte Außenringe. Eine jahrgenau datierte Ringfolge benötigt keinen erfundenen statistischen Fehlerbalken. Das erhaltene letzte Ringjahr kann dennoch vor dem tatsächlichen Tod liegen,

wenn Außenholz fehlt. Ein langer grüner Balken beschreibt somit Dauer; ein blauer Bereich beschreibt zeitliche Unsicherheit.

Mehrteilige Kalibrierergebnisse bleiben getrennt, soweit die Originalquelle sie vollständig angibt. Bei Jorge Montt ergeben sich für eine Probe vier mögliche Kalenderbereiche, die gemeinsam zum publizierten 2σ-Ergebnis gehören. Sie dürfen nicht zu einer gleichmäßig wahrscheinlichen Spanne zusammengezogen werden. Andere Quellen veröffentlichen nur äußere Grenzen. Diese Hüllen sind als solche übernommen; innerhalb liegende Wahrscheinlichkeitslücken konnten daraus nicht rekonstruiert werden. Der Atlas macht beide Fälle überprüfbar. [18]

Eine einheitliche Neukalibration wurde nicht vorgenommen. Damit bleiben historische Kalibrierkurven und verschiedene Unsicherheitsniveaus sichtbar. Das ist für eine dokumententreue erste Zusammenstellung zweckmäßig, begrenzt aber die Genauigkeit enger Synchronitätstests. Vor einem solchen Test wären die Rohmessungen mit geeigneten gemeinsamen Kurven neu auszuwerten. Besonders zu prüfen wären hemisphärische Unterschiede, mehrere gemessene Jahrringe, gemeinsame Laborabhängigkeiten und die Lage vollständiger Wahrscheinlichkeitsintervalle. Aus publizierten Hüllen werden hier keine künstlichen Normalverteilungen erzeugt.

Verbundchronologien verbinden mehrere Bäume oder Fundpositionen. Sie belegen nicht für jeden Punkt des Gletschervorfelds eine ununterbrochene Eisfreiheit während des gesamten Balkens. Beim Beartooth-Bestand betreffen die blassen Endkappen eine Unsicherheit der zeitlichen Anbindung von ±51 Jahren RMSE; dies ist kein publiziertes 95%-Intervall. Diese Unterschiede werden in der Grafik und im Datenverzeichnis ausdrücklich bezeichnet. [11,13,15,21]

Viertes Kapitel — Befunde aus den untersuchten Regionen

Alpen: früher Rückzug und präzise historische Vorstoßdaten

Ein 2026 veröffentlichter Morteratsch-Fund verbessert die räumliche Beweislage. Die Lärche MORT–25-01 lag bei 2156 m Höhe, mit erhaltenen Wurzeln und nach Einschätzung der Autoren höchstens begrenzt verlagert. Ihr Holz ist gut 10.000 Jahre alt. Die beiden Kalibrierintervalle bilden gemeinsam den 95,4%-Bereich und bleiben im Katalog getrennt. Der Fund belegt örtliche Vegetation und eine frühere geringere Eisausdehnung wesentlich unmittelbarer als ausgeschwemmte Holzsplitter. Er liefert jedoch keine eigenständige globale Temperaturzahl. Die begleitende Untersuchung beschreibt im zugänglichen Abstract ein mindestens 430 Jahre dauerndes Gletscherminimum. Ihre dort nicht eindeutig auflösbare ka-/Kalenderjahr-Zuordnung wird jedoch nicht als zusätzlicher präziser Balken übernommen; die volle Einzelprobentabelle war nicht zugänglich. [1,2]

Die Tschierva-Serien reichen unter anderem von 7444 bis 6820 und von 6148 bis 5873 cal BP. Die erhaltenen Jahrringe dokumentieren langes Baumwachstum. Das Holz wurde jedoch verlagert. Die erschlossene Quellmulde liegt um 2300 m, während die Arbeit für 1980 eine Baumgrenze um 2350 m nennt. Der Temperaturschluss der Studie beruht deshalb auf zusätzlicher Rekonstruktion von Gletschergeometrie und Gleichgewichtslinie unter Niederschlagsannahmen. Die verkürzte Behauptung, allein diese Hölzer bewiesen eine höhere damalige Baumgrenze, wäre unzutreffend. [3]

Auch an der Pasterze sowie an Forno, Unteraar, Steinlimi und Mer de Glace liegen datierte organische Reste vor. Sie erweitern die regionale Überlieferung, enthalten aber vielfach transportiertes Material. Vergleichsstände wie 1985 oder etwa 2000 beziehen sich auf den jeweiligen Untersuchungszeitpunkt. „Kleiner als heute“ darf aus einer solchen älteren Veröffentlichung nicht ungeprüft in „kleiner als im Jahr 2026“ umgeschrieben werden. [4,8,9]

Für die historische Zeit sind Morteratsch und Mont Miné besonders genau. Ein wurzelechter Morteratsch-Baum besitzt erhaltene Ringe von 928 bis 1317 n. Chr.; das gletscherseitige Kambium starb bereits 1311. Am Mont Miné sind Außenringe auf 1285 und 1311 datiert. Diese Daten begrenzen Vorstoß- und Schädigungsphasen. Sie bezeichnen keine Wärmehöchststände in den betreffenden Jahren.

Außerdem wurde eine andere Probe derselben Untersuchung wahrscheinlich durch einen Schuttstrom begraben. Sie bleibt im Katalog als datiertes Vorkommen enthalten, wird aber nicht als sicherer Gletschertod interpretiert. [5]

Skandinavien, Rocky Mountains und Altai

Schwedische Eisflecken und Gletschervorfelder liefern frühe und mittlere holozäne Pflanzenalter. Ein vergleichsweise starker Ortsbeleg ist die in Wuchsstellung erhaltene Birkenbasis vom Låktatjåkka-Eisfleck mit publiziertem 1σ-Bereich von 5900–5710 cal BP. Andere Reste sind verlagert oder konnten längere Zeit in Torf erhalten sein. Die Höhe relativ zur heutigen örtlichen Baumgrenze ist klimatisch interessant, muss aber von artspezifischer Konkurrenz, Nutzungsgeschichte, Verbiss, Exposition und Landhebung getrennt werden. Eine beobachtete lokale Baumgrenze entspricht nicht automatisch einer ausschließlich temperaturbestimmten Grenze. [6,7]

Der Beartooth-Fund in den US-amerikanischen Rocky Mountains ist besonders aufschlussreich, weil ein erhaltener Waldbestand bei 3091 m und ungefähr 180 m oberhalb der gegenwärtigen Baumgrenze beschrieben wurde. Seine zusammengeführte Ringchronologie umfasst etwa 5950–5440 cal BP. Hier ist die Verbindung zu früher geeigneteren Wachstumsbedingungen in großer Höhe stärker als bei einem Talwald unter einer Gletscherzunge. Das Archiv ist ein Eisfleck, kein fließender Talgletscher. Die Studie rekonstruiert aus Jahrringen bereits kalibrierte Mai–Oktober-Temperaturen und verbindet die Holzfunde mit weiteren Klimainformationen; die Höhenangabe allein ist noch keine globale Temperaturskala. [11]

Aus dem russischen Altai sind sieben geprüfte Holzdatierungen zwischen etwa 8,4 und 2,9 ka cal BP übernommen. Die ausgewählten Hölzer wurden überwiegend aus Gletschern ausgeschwemmt. Ihre Fundhöhe darf deshalb nicht mit der ursprünglichen Wuchshöhe gleichgesetzt werden. Die betreffende Arbeit enthält außerdem Rutschungs-, Hang- und Blockgletscherfunde; diese wurden nicht als unmittelbar ausschmelzende Gletscherbäume übernommen. Bei SOAN-9889 widersprechen sich Tabelle und Fließtext teilweise hinsichtlich des Fundkontexts. Dieser Grenzfall wird sichtbar markiert. [19]

Kanada, Alaska und Baffin Island

Sentinel und Sphinx in den kanadischen Küstengebirgen liefern Holzalter um 8,6–8,0 ka cal BP. Die Autoren ziehen für ihre Gletschergeschichte zusätzliche Sedimentbelege heran, weil transportiertes Holz auch auf anderen Wegen an den Eisrand gelangen kann. Am Robson-Gletscher reichen einzelne Baumserien vom 9. beziehungsweise 10. bis ins 12.–14. Jahrhundert; ein verwurzelter Stumpf besitzt einen Außenring von 1259. Solche örtlich verankerten Befunde begrenzen Gletscherpositionen, ohne eine Anhebung der regionalen Baumgrenze zu beziffern. [10,12]

Alaskische Waldreste reichen weit in die Kleine Eiszeit hinein. Am La-Perouse-Gletscher umfasst die Verbundchronologie 1206–1866 n. Chr.; viele Bäume starben dort zunächst unter aufgeschütteten Vorfluterschottern. Weitere erhaltene Serien an Tebenkof, Princeton, Ultramarine und Nellie Juan dokumentieren unterschiedliche Überfahrungsphasen. Bei maritimen Gletschern wirken zudem Fjordgeometrie und Kalbung. Das Vorkommen alten Waldes unter späterem Eis ist hier kein ausreichendes Kennzeichen einer einheitlichen globalen Warmzeit. [13–15]

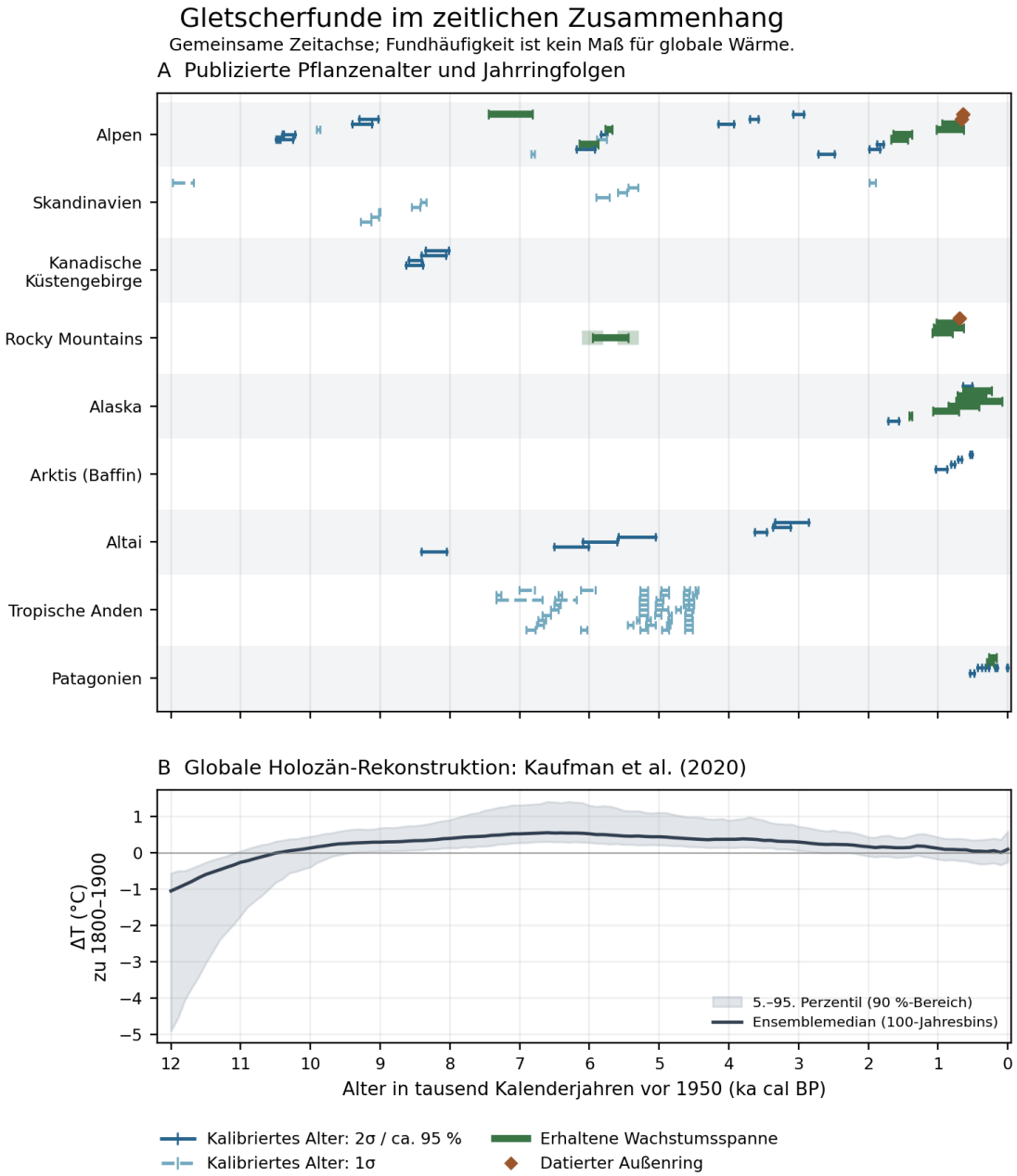
Baffin Island liefert überwiegend Tundrapflanzen, keine Bäume. Ein Datensatz dokumentiert schrittweise neoglaziale Eisexpansion; eine andere Untersuchung enthält Pflanzenalter von mehr als 40.000 Kalenderjahren. Die beiden endlichen älteren Datierungen stehen in einem eigenen Atlasfeld. Aussagen über ununterbrochene Eisbedeckung beruhen dort zusätzlich auf kosmogenen Nukliden im Gestein und Modellannahmen. Gerade diese alten Funde können auf die Freilegung sehr lange bedeckter Flächen hinweisen; „alt“ bedeutet nicht automatisch „Beweis einer jüngeren Warmzeit“. [16,17]

Tropische Anden und Patagonien

An der Quelccaya-Eiskappe in Peru sind wurzelnde Polsterpflanzen und Pflanzenfragmente aus Sedimenten getrennt zu behandeln. Buffen und Mitarbeiter veröffentlichten 48 Bestimmungen mit 1σ-Kalibrierbereichen. Die oberflächlichen BCL- und NL-Pflanzen liegen ungefähr im Bereich 5,3–4,4 ka cal BP, die BLS-Sedimentreste reichen weiter zurück. Bei letzteren bleibt Umlagerung möglich. In einer späteren Arbeit wurden zusätzliche Funde und eine aktualisierte Kalibration ausgewertet. Die hier fehlende vollständige neue Einzelprobentabelle wurde nicht durch aus einer Zusammenfassung geschätzte Fehlerbalken ersetzt. [22,23]

Frühere geringere Eisbedeckung und ein im jüngeren Teil des Holozäns außergewöhnlicher Rückzug können am selben Ort miteinander vereinbar sein: Sie beziehen sich auf unterschiedliche Zeitfenster. Ein ergänzender Gegenbefund stammt aus kosmogenen Gesteinsmessungen an vier tropischen Andengletschern. Die Autoren folgern dort eine während des Holozäns ungewöhnliche heutige Freilegung. Diese andersartige Evidenz gehört in den Vergleich, bildet aber keine neue Holzdatierung und wurde nicht in die Pflanzenzeitachse eingemischt. [23,30]

In Patagonien veranschaulichen Jorge Montt, Huemul und Río Manso unterschiedliche Archive. Jorge Montt liefert umgelagerte Hölzer mit teilweise mehrdeutiger Kalenderkalibration. Bei diesem ins Meer kalbenden Auslass beeinflussen Fjordtiefe und Kalbung die Frontbewegung. Huemul besitzt einen teilweise von Moränenmaterial begrabenen Stumpf mit erhaltenen Ringen von 1643–1743. Die Río-Manso-Verbundchronologie reicht von 1679–1789. Die beiden letzteren Befunde sind glazial begrabene Talwälder; ihre Darstellung bedeutet nicht, dass sämtliche Bäume unmittelbar aus dem heutigen Eisrand ausschmolzen. Sie zeigen erneut, dass Wälder auch innerhalb verbreitet als kalt bezeichneter Jahrhunderte bestehen konnten. [18,20,21]



Beartooth/TOL: blasse Endkappen = ±51 Jahre RMSE der zeitlichen Anbindung, kein 95%-Intervall.

Abbildung 1. Internationale Fundchronologie und globale holozäne Vergleichsreihe. Oben stehen 114 zeitlich darstellbare Angaben; vertikaler Versatz dient nur der Lesbarkeit. Mehrere Bestimmungen können dieselbe Probe oder denselben Bestand betreffen. Die Häufigkeit der Linien misst keine globale Wärme. Unten: Temperature12k, 100-Jahresbins, Ensemblemedian und zentraler 90%-Bereich; Bezug 1800–1900. Das Zentrum 0 cal BP bezeichnet nominal den Bin 1900–2000, keinen Messwert für 2026. Die Beartooth-Endkappen zeigen ±51 Jahre RMSE der zeitlichen Anbindung. Fundkontexte und Katalog-IDs sind im Atlas und in der Datentabelle aufgeschlüsselt. Eigene Darstellung nach [1–26,35].

Fünftes Kapitel — Lassen sich globale Wärmeperioden erkennen?

Die Zeitachse zeigt mehrere Regionen mit früherer Vegetation während weiter Teile des frühen und mittleren Holozäns. Der Beartooth-Bestand, mittelholozäne Alpenhölzer, schwedische Baumreste sowie Altai- und Quelccaya-Datierungen sind mit verbreitet günstigeren regionalen Wachstumsbedingungen vereinbar. Diese Übereinstimmung ist eine sachliche Beobachtung. Der Katalog enthält jedoch zu unterschiedliche Ereignisse und zu ungleiche räumliche Abdeckung, um daraus eine neue, unabhängig quantifizierte globale Temperaturkurve zu berechnen.

Für das mittlere Holozän liegt bereits eine großräumige Rekonstruktion vor: Die verwendete Temperature12k-Synthese zeigt ein Wärmemaximum und anschließend eine langfristige Abkühlung vor der industriellen Erwärmung. Frühere Wärme ist damit in der wissenschaftlichen Rekonstruktionsliteratur ausdrücklich vorhanden. Die Funddaten widersprechen einer Darstellung der letzten Jahrtausende als überall unveränderlicher Landschaft, stützen aber nicht die Behauptung, jede etablierte Temperaturrekonstruktion lasse holozäne Wärmephasen verschwinden. [26]

Das Ausmaß des globalen Jahresmittels bleibt methodisch umstritten. Bova und Mitarbeiter führen einen erheblichen Teil früherer mariner Wärmemaxima auf jahreszeitliche Gewichtung zurück und rekonstruieren einen anderen langfristigen Verlauf der mittleren jährlichen Meeresoberflächentemperatur. Diese Zielgröße ist nicht identisch mit einer gemeinsamen Land-und-Ozean-Oberflächentemperatur wie bei Temperature12k. Ihre Umrechnung nutzt unter anderem Annahmen über orbitale Steuerung in der letzten Warmzeit und Beziehungen zwischen Einstrahlung und Meeresoberflächentemperatur. Diese Annahmen müssen ebenso geprüft werden wie die Saisonabhängigkeit der ursprünglichen Proxys. Der Gegensatz der Ansätze zeigt eine reale Unsicherheit der Zielgröße; er macht keinen der beiden Verläufe allein durch das Vorhandensein von Baumresten richtig oder falsch. [28]

Eine bloße Häufung kalibrierter Pflanzenalter wäre als globaler Wärmenachweis ungeeignet. Die Fundwahrscheinlichkeit hängt zugleich von früherer Vegetation, Erhaltung, späterer Eisbedeckung, heutiger Freilegung, Zugänglichkeit und Suchaufwand ab. Ein intensiv beprobter Eisrand kann die Zahl der Daten dominieren. Auch die Form der Kalibrierkurve kann Datierungen in bestimmten Kalenderabschnitten bündeln. Die Auswahl gerade heute sichtbar werdender Reste ist daher keine zufällige Stichprobe früherer Landoberflächen. Diese Überlegung betrifft gleichermaßen Deutungen zugunsten stärkerer früherer Wärme und zugunsten außergewöhnlicher heutiger Freilegung.

Ein strenger Nachweis einer bisher unterschätzten globalen Wärmephase würde mindestens verlangen, dass unabhängige Regionen nach Berücksichtigung ihrer Altersunsicherheiten übereinstimmen, dass die Funde tatsächlich wärmere Bedingungen anzeigen und dass andere Ursachen hinreichend eingegrenzt sind. Anschließend müsste eine räumlich gewichtete Temperaturamplitude bestimmt und mit einer Rekonstruktion derselben Jahreszeit und Auflösung verglichen werden. Die vorliegende Zusammenstellung erfüllt die erste Voraussetzung einer überprüfbaren Fundbasis, ersetzt aber diese zusätzlichen Analyseschritte nicht.

Für die letzten zwei Jahrtausende untersuchten Neukom und Mitarbeiter die zeitliche Übereinstimmung regionaler Temperaturmaxima und -minima. Das Ergebnis betrifft insbesondere die räumliche Synchronität solcher Extreme. Es widerlegt weder einzelne regionale Wärmephasen noch die Möglichkeit eines veränderten Weltmittels. Umgekehrt kann ein im Tal wachsender mittelalterlicher Baum keine globale Gleichzeitigkeit aller regionalen Wärmescheitelpunkte belegen. Die beiden Untersuchungsfragen müssen bei jeder Schlussfolgerung getrennt bleiben. [27]

Sechstes Kapitel — Der konkrete Vergleich mit der Hockey-Stick-Kurve

Die ursprüngliche MBH-Rekonstruktion von 1999 beginnt im Jahr 1000 n. Chr. und schätzt das Jahresmittel der Nordhalbkugel. Ein 6000 oder 10.000 Jahre alter Baum liegt außerhalb ihres Zeitfensters. Sein Fehlen in dieser Kurve ist daher kein Hinweis auf Unterdrückung oder mangelnde Sensitivität. Ein gültiger Vergleich benötigt für solche Funde die lange Holozänreihe; für mittelalterliche und neuzeitliche Befunde können MBH und PAGES dagegen tatsächlich gegenübergestellt werden. [24–26]

22 Katalogangaben überlappen den Zeitraum 1000–2017 n. Chr. Die historische Abbildung zeigt diese Angaben zusammen mit den Temperaturreihen auf identischer Zeitachse. Dabei bleiben die Originalnullpunkte getrennt. Die Höhen zweier Kurven relativ zu verschiedenen Nullpunkten dürfen nicht als Temperaturunterschied zwischen den Rekonstruktionen gelesen werden. Auch Nordhalbkugel und Weltmittel sind verschiedene räumliche Größen.

Ein einfacher numerischer Kontrollvergleich beantwortet die Frage, ob frühere Wärme gegenüber späteren kalten Jahrhunderten in den Reihen überhaupt vorhanden ist. Aus jeweils 200 Jahreswerten wurden die Mittel für 1000–1199 und 1600–1799 berechnet. Die Differenz beträgt bei MBH rund +0,116 °C und bei den ungefilterten jährlichen PAGES-Ensemblemedianen rund +0,170 °C. Beide Reihen enthalten also im gewählten Vergleich eine wärmere frühe Periode. Diese deskriptive Rechnung bestätigt weder ihre vollständige Amplitude noch eine statistisch gesicherte Rangfolge. [33,34; eigene Berechnung]

Tabelle 2. Eigene Kontrollrechnung aus den archivierten Jahresreihen. Alle Werte in °C; die Nullpunkte bleiben die jeweiligen Originalnullpunkte.

Reihe	1000–1199	1600–1799	Differenz
MBH: jährliche Rekonstruktion	−0,04371	−0,15985	+0,11614
PAGES: ungefilterte Jahresmediane	−0,26013	−0,43020	+0,17006
PAGES: publizierte gefilterte Mediane	−0,27515	−0,41261	+0,13747

Die dritte Tabellenzeile gehört zur tatsächlich dargestellten gefilterten PAGES-Kurve. Ihr Unterschied gegenüber den ungefilterten Jahresmedianen misst keine physikalisch bestimmte Abschwächung der historischen Klimaamplitude: Filterung und Quantilbildung sind verschiedene Operationen. Ebenso liefern punktweise Ensemblegrenzen kein gültiges Unsicherheitsintervall für die Differenz zweier Zweihundertjahresmittel. Dazu wären vollständige Ensembleverläufe oder zeitliche Fehlerkovarianzen erforderlich. Ein Signifikanztest wird deshalb nicht vorgetäuscht.

Die entscheidende offene Frage lautet folglich, ob die rekonstruierten Ausschläge zu klein sind. Die bloße Existenz eines Baums liefert dafür noch keinen Sollwert in Grad Celsius. Benötigt würden etwa eine kalibrierte örtliche Sommerrekonstruktion, Informationen über Niederschlag und Gletscherreaktion sowie ein Vergleich mit regionalen Feldern statt ausschließlich mit dem Weltmittel. Eine verbleibende systematische Abweichung würde eine konkrete Unterschätzung als mögliche Erklärung prüfbar machen; ihre Ursache wäre gesondert zu untersuchen.

Schon MBH 1999 erörtert die geringe Datendichte früher Jahrhunderte, große Unsicherheit vor 1400 und mögliche Probleme bei sehr langsamen Schwankungen. Eine kritische Prüfung dieser Grenzen ist daher fachlich begründet. Sie sollte die ursprünglichen Unsicherheiten mitlesen und zusätzlich jüngere Rekonstruktionen prüfen. PAGES 2019 kombiniert sieben Verfahren, deren gemeinsame Eingangsdaten allerdings keine sieben unabhängigen Erdbeobachtungen darstellen. Die Unsicherheitsbänder erfassen außerdem nicht automatisch sämtliche denkbaren Archiv- und Altersfehler. [24,25]

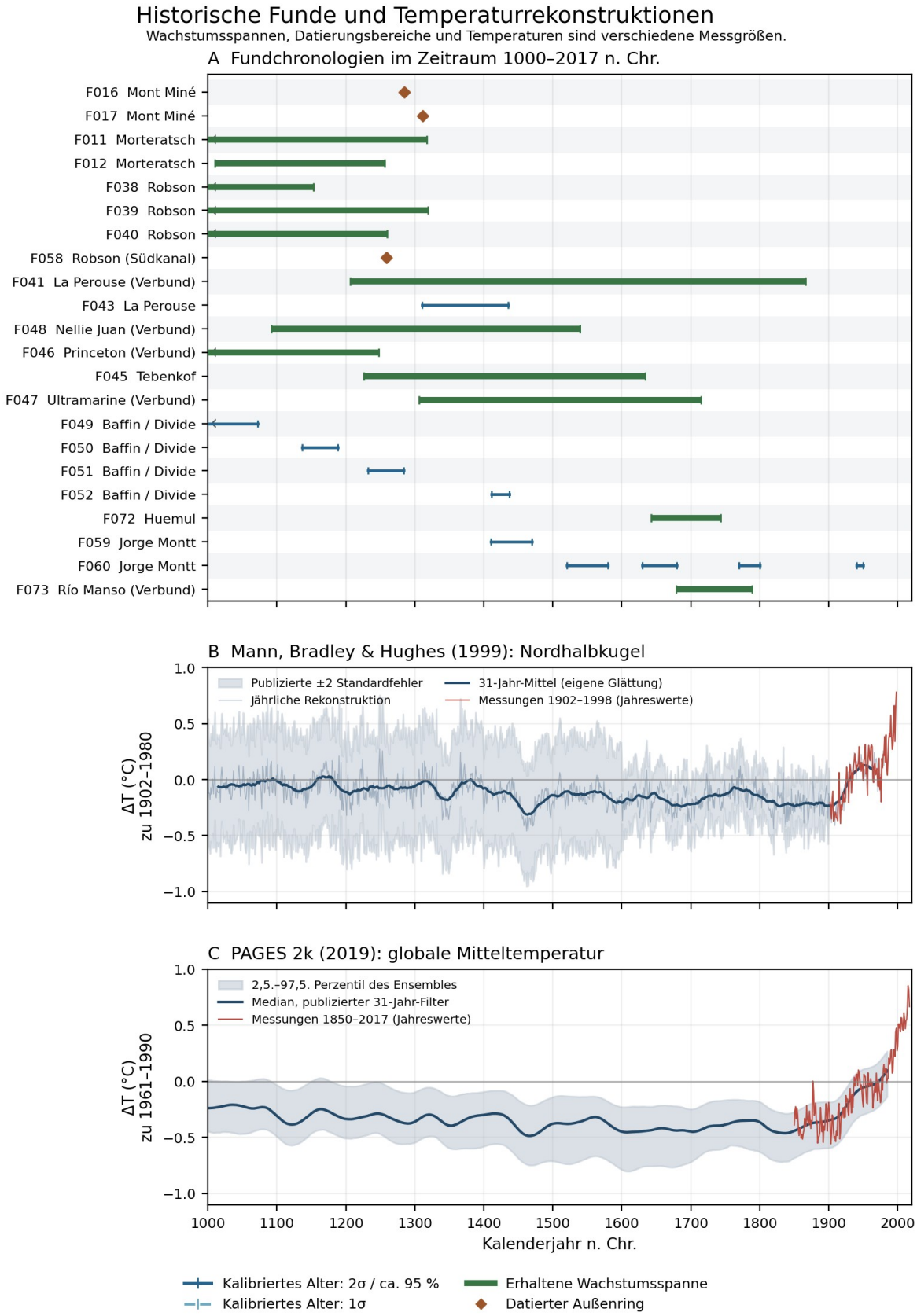


Abbildung 2. Historische Pflanzen- und Waldchronologien im Vergleich mit MBH 1999 und PAGES 2k 2019. „Verbund“ kennzeichnet mehrere Bäume beziehungsweise Fundpositionen; grüne Balken sind keine Temperaturfehler. Ein graues Zeichen am linken Rand bedeutet Fortsetzung vor 1000. Das MBH-Band gehört zur jährlichen Rekonstruktion, nicht zur zusätzlich eingezeichneten eigenen 31-Jahr-Glättung, und endet mit den verfügbaren Unsicherheitsdaten 1901. PAGES-Median und -Band stammen aus den publizierten 31-Jahr-Filterspalten und enden 1985. Rote Kurven zeigen getrennte instrumentelle Jahreswerte; sie wurden nicht in die Proxykurven eingespleißt. Die Abbildung enthält keine instrumentelle Aktualisierung nach 2017. Eigene Darstellung nach [5,12–16,18,20,21,24,25,33,34].

Siebtes Kapitel — Sensitivität, Glättung und Eisbohrkerne

Eine globale Mittelkurve kann kleinere Ausschläge zeigen als einzelne Gebiete, selbst wenn jede örtliche Temperatur perfekt gemessen wäre. Das folgt bereits aus der räumlichen Mittelung: Die globale Anomalie ist die Summe der regionalen Anomalien, gewichtet nach Fläche. Ein rein rechnerisches Beispiel verdeutlicht dies: Erwärmen sich zehn Prozent der Erdoberfläche um 2 °C und bleibt der Rest unverändert, steigt das Weltmittel um 0,2 °C. Gegenläufige Entwicklungen verkleinern es weiter. Eine solche Differenz ist keine Messschwäche.

Hinzu kommt die Jahreszeit. Für Baumgrenzen sind Bedingungen der Wachstumsperiode besonders wichtig; die Gletschermassenbilanz verbindet Schneezufuhr und sommerliche Ablation. Eine ausgeprägte regionale Sommeränderung kann deshalb mit einem kleineren Signal im globalen Jahresmittel zusammenfallen. Gleichzeitig können Proxyarchive die Zieltemperatur tatsächlich verzerrt oder geglättet wiedergeben. Die Aufgabe besteht darin, physikalische Mittelung, saisonale Gewichtung und methodischen Informationsverlust quantitativ auseinanderzuhalten. [3,11,25,28]

Eine neuere methodische Untersuchung von Liu und Mitarbeitern greift die Frage zu schwach rekonstruierter Schwankungen ausdrücklich auf. Für außerpolare Landgebiete der Nordhalbkugel vergleichen die Autoren die holozäne Veränderung des Sommer-Winter-Unterschieds mit einem an heutigen Beobachtungen angepassten Einstrahlungsmodell. Unter Gültigkeit dieses Analogmodells fällt die rekonstruierte Änderung des Jahresgangs erheblich zu klein aus; als wichtige Fehlerquelle diskutieren sie pollenbasierte Wintertemperaturen. Das Modell setzt unter anderem hinreichend vergleichbare Oberflächeneigenschaften und Wärmeadvektion voraus. Der Befund betrifft die Änderung der saisonalen Temperaturspanne und liefert keinen entsprechenden prozentualen Korrekturfaktor für die globale Jahresmitteltemperatur oder die Hockey-Stick-Kurve. [36]

Eine 2026 veröffentlichte regionale Pollenstudie aus fünf Karpatenstandorten verdeutlicht die mögliche zeitliche Trennung: Das rekonstruierte Sommermaximum liegt um 7,2 ka, das Wintermaximum um 2,1 ka. Diese regionale Rekonstruktion ist selbst methodenabhängig; ihre unterschiedlichen Maxima veranschaulichen jedoch, weshalb saisonale Vegetationsindikatoren und ein Jahresmittel nicht ungeprüft dieselbe Chronologie erhalten dürfen. Der Befund wurde als Kontext ausgewertet und nicht als zusätzlicher Gletscherfund gezählt. [37]

Mögliche Abschwächungen entstehen beispielsweise durch zeitliche Vermischung im Archiv, Datierungsunsicherheit, geringe Abtastrate, nachträgliche Filterung oder die statistische Aufbereitung von Jahrringserien. PAGES 2019 stellt ausdrücklich fest, dass die bei der Mehrheit der enthaltenen Jahrringserien verwendete Altersbereinigung hundert- bis mehrhundertjährige Temperaturschwankungen nicht erhalten kann. Die Autoren sehen darin eine mögliche Unterschätzung langsamer Variabilität, besonders im ersten Jahrtausend n. Chr. Bei niedrig aufgelösten marinen Archiven diskutieren sie dagegen eine mögliche Überschätzung der Varianz. Kalibration an einem kurzen instrumentellen Abschnitt und zeitlich wechselnde Proxyabdeckung sind weitere Prüfstellen. PAGES diskutiert solche Grenzen und propagiert Altersunsicherheiten nicht vollständig. Daraus folgt ein konkreter Prüfbedarf; die Größe einer möglichen globalen Unterschätzung ist damit noch nicht bestimmt. [24,25]

„Eisbohrkerndaten“ bezeichnen zudem verschiedene Messgrößen. Isotopenverhältnisse des Eises, eingeschlossene Gase und Staub besitzen unterschiedliche Bildungswege und zeitliche Auflösungen. Polare Isotope sind keine unmittelbaren Messungen der Temperatur sämtlicher nichtpolarer Gebirge. Eingeschlossenes CO_2 ist wiederum eine Konzentrationsinformation und kein lokales Baumgrenzenthermometer. Die übliche paläoklimatische Interpretation stellt hierfür gesonderte Beziehungen zwischen Messgröße, Alter und Klimavariable her. Eine aus Holzfunden abgeleitete regionale Abweichung widerlegt deshalb nicht automatisch die gemessene CO_2-Konzentration.

Ein konkretes Beispiel für zeitliche Glättung liefert die SP19-Gaschronologie am Südpol: Dort werden für die untersuchten atmosphärischen Signale spektrale Breiten der Glättungsfunktion von etwa 30–78 Jahren behandelt. Diese Zahlen gehören zu diesem Gasarchiv und seiner Chronologie. Sie dürfen weder auf sämtliche Eisbohrkerne noch auf alle Isotopen-Temperaturreihen übertragen werden. Der Schluss „Eisbohrkerne übersehen historische Schwankungen grundsätzlich“ wäre ebenso undifferenziert wie die Annahme, jedes Eisarchiv löse alle Klimavorgänge gleich gut auf. [29]

Auch die ursprüngliche Hockey-Stick-Rekonstruktion beruht nicht ausschließlich auf polaren Eisbohrkernen. Ihr Proxyverbund enthält insbesondere Baumdaten sowie weitere Archive, darunter Eisbohrkerne aus Grönland und dem tropischen Quelccaya. Die allgemeine Frage nach der Empfindlichkeit polarer Archive kann deshalb nicht unmittelbar als Erklärung jeder Eigenschaft der MBH-Kurve dienen. Zu untersuchen sind die tatsächlich verwendeten Eingangsdaten, ihre Gewichtung und das jeweilige Rekonstruktionsverfahren. [24]

Aus der vorliegenden Untersuchung ergibt sich weder eine neue Schätzung der CO_2-Klimasensitivität noch eine Quantifizierung der Ursachen einzelner Wärmephasen. Die Datierungen belegen Umweltgeschichte. Für Aussagen über Strahlungsantriebe, Rückkopplungen oder die Wirkung einer bestimmten CO_2-Konzentration wären zusätzliche physikalische und statistische Untersuchungen erforderlich. Diese Abgrenzung hält den hier erreichten Befund von weitergehenden, bislang nicht berechneten Schlussfolgerungen frei.

Achtes Kapitel — Quellenkritik und Forschungsförderung

Nachprüfbare Probleme in einzelnen Studien

Die Prüfung hat konkrete Unterschiede zwischen Tabellen, Text, Laborberichten und späteren Neubearbeitungen gefunden. Sie sind wissenschaftlich relevanter als eine pauschale Zuordnung von Autoren zu einem Lager. Keines der folgenden Probleme beweist für sich eine absichtliche Ergebnisverzerrung. Sie zeigen aber, weshalb eine Grafik aus ungeprüft übernommenen Alterszahlen eine scheinbare Genauigkeit erzeugen kann.

Tabelle 3. Beispiele dokumentierter Quellenprobleme und ihre Behandlung in dieser Fassung.

Quelle	Problem	Behandlung
Jorge Montt [18]	Kalender- und Radiokarbonskalen sind in Tabellenüberschriften vermischt; eine Probe hat vier Komponenten.	Original-Laborbericht verwendet; Komponenten getrennt; originale IntCal04-Nutzung auf der Südhalbkugel markiert.
Quelccaya [22]	Nicht definierte Klammerwerte; auffällige Unterschiede publizierter Kalibrationen bei ähnlichen Rohaltern.	Alle 48 Zeilen gegengeprüft; Originalbereiche erhalten; keine Klammerwerte als gesicherte Mediane gezeichnet.
Tebenkof [14,15]	Früher nur mit 14C positionierte Ringchronologie wurde später durch Kreuzdatierung revidiert.	Neuere Kalenderzuordnung verwendet; ältere Zuordnung nicht als unabhängiges Ereignis gezählt.
Río Manso [21]	Veröffentlichte 14C-Tabelle nennt teilweise nur die wahrscheinlichste Kalibrationskomponente.	Diese Teilkomponente nicht als vollständiges 95%-Intervall verwendet; abgesicherte Ringchronologie dargestellt.
Baffin [16]	CE/BCE-Widerspruch bei einer Probe; problematische Höhenwerte im PDF.	Betroffene Datierung ausgeschlossen; Höhen gegen ursprüngliche Datentabelle geprüft.
Morteratsch 2026 [1,2]	Ungewöhnliche 94,5%-Angabe im Kurzbericht; ka- und BCE-Zuordnung des QSR-Abstracts nicht eindeutig vereinbar.	Publizierte Einzelintervalle samt Originalniveau erhalten; ungeklärte Synthesespanne nicht auf die cal-BP-Achse übertragen.

Quelle	Problem	Behandlung
Sphinx / Altai [10,19]	Abweichende Altersgrenzen zwischen Tabelle und Text beziehungsweise widersprüchlicher Fundkontext.	Widerspruch dokumentiert; keine stillschweigende scheinpräzise Korrektur.

Was sich über eine Förderasymmetrie sagen lässt

Die Hypothese einer Förderasymmetrie lautet, dass bestimmte Fragestellungen oder erwartete Ergebnisse leichter finanziert werden als andere. Sie ist empirisch prüfbar. Dafür müssen zunächst verschiedene mögliche Wirkungen unterschieden werden: Welche Themen werden ausgeschrieben? Welche Anträge erhalten Mittel? Welche Ergebnisse werden veröffentlicht? Und welche Deutungen werden öffentlich hervorgehoben? Eine Verteilung von Fördergeldern nach Disziplinen beantwortet noch nicht, ob innerhalb der Paläoklimatologie ein bestimmtes erwünschtes Resultat bevorzugt wird.

Die durchgesehenen Danksagungen zeigen öffentliche, universitäre und private Unterstützung. Beispielsweise berichten öffentlich geförderte Arbeiten aus der Schweiz frühere Gletscherrückzüge, während USGS- und NSF-unterstützte Forschung den mittelholozänen Beartooth-Wald beschreibt. Auch die Quelccaya-Arbeiten mit deutlicher früherer Vegetation nennen öffentliche Förderung. Daraus folgt, dass solche Befunde tatsächlich innerhalb öffentlich finanzierter Forschung veröffentlicht werden. Über die relative Förderwahrscheinlichkeit vergleichbarer Anträge sagt diese kleine Auswahl jedoch nichts Belastbares aus. [3,8,11,22,23]

Eine Untersuchung von Overland und Sovacool analysiert die Verteilung von Klimaforschungsgeldern und problematisiert die geringe Ausstattung bestimmter gesellschaftswissenschaftlicher Forschungsbereiche. Sie prüft nicht die hier vermutete Bevorzugung eines Ergebnisses „heutige Erwärmung außergewöhnlich“ gegenüber „frühere Erwärmung vergleichbar“. Ihr Befund kann daher nicht als Beweis genau dieser Ergebnisasymmetrie angeführt werden. [31]

Ein belastbarer Test benötigte möglichst vollständige Förderdaten einschließlich abgelehnter Anträge. Themen und erwartete Befunde müssten vor Kenntnis der Förderentscheidung kodiert werden. Antragqualität, Kosten, Disziplin, Land und Zeitraum wären zu berücksichtigen; Veröffentlichungen und Datennachnutzung wären anschließend getrennt zu verfolgen. Ausschließlich finanzierte Publikationen zu betrachten, lässt die entscheidende Vergleichsgruppe fehlen. Für diese Fassung lagen solche Antragsdaten nicht vor. Die spezifische Förderhypothese bleibt deshalb offen und wird nicht als nachgewiesene Ursache einer gedämpften Temperaturkurve dargestellt.

Für die Bewertung der einzelnen Studien gilt ein einheitlicher Maßstab: Rohdatenzugang, Datierungsverfahren, Fundkontext, Umgang mit Widersprüchen, Unabhängigkeit der Beobachtungen und Tragweite der Schlussfolgerung. Diese Kriterien wurden auch auf Arbeiten angewandt, die ausgeprägte frühere Wärme oder ungewöhnlich lange frühere Eisbedeckung hervorheben. Die Finanzierung wird dokumentiert; die inhaltliche Gültigkeit wird an überprüfbaren Daten und Methoden beurteilt.

Neuntes Kapitel — Ergebnisse und offene Prüfaufgaben

Tabelle 4. Ergebnisstatus der Ausgangsfragen.

Aussage	Ergebnis dieser Untersuchung
Frühere Vegetation an später vereisten Orten ist real.	Bestätigt; besonders stark bei wurzelechten oder nur wenig verlagerten Funden und sicherer Chronologie.

Aussage	Ergebnis dieser Untersuchung
In mehreren Regionen waren Wachstumsbedingungen zeitweise günstiger.	Gut belegt; höhere Baumgrenze und örtlich geringere Eisausdehnung sind getrennt zu bewerten.
Die Funde bestimmen eine neue gemeinsame globale Wärmeperiode.	Aus dem zusammengestellten Katalog allein nicht nachgewiesen; Zeitnähe und regionale Eignung ersetzen keine globale Temperaturrekonstruktion.
Frühere Wärme ist in den Vergleichskurven überhaupt nicht erkennbar.	Für die untersuchten Reihen unzutreffend: holozänes Maximum und frühere historische Wärme gegenüber späteren Jahrhunderten sind vorhanden.
Die rekonstruierten globalen Ausschläge sind quantitativ zu klein.	Weiterhin prüfbar, hier nicht beziffert oder nachgewiesen. In dieser Fundtabelle wurden örtliche Temperaturamplituden noch nicht als vergleichbare Reihen zusammengeführt und räumlich ausgewertet.
Eine Förderasymmetrie verursacht die behauptete Unterschätzung.	Mit den verfügbaren Daten nicht belegt; ein gezielter Förder- und Auswahltest steht aus.

Als nächster methodisch sinnvoller Schritt bietet sich eine enger definierte Teilstudie an. Sie sollte zunächst nur an ihrem Wuchsort erhaltene oder räumlich gut gesicherte Befunde verwenden und frühes, mittleres und spätes Holozän getrennt behandeln. Laborrohdaten und vollständige Kalibrationen wären einheitlich aufzubereiten. Proben desselben Baums, Bestands oder Einzugsgebiets müssten gemeinsame Abhängigkeiten erhalten. Die Ergebnisse wären anschließend mit einer erweiterten Auswahl transportierter Funde zu vergleichen.

Für einen Synchronitätstest müssen zunächst vergleichbare Ereignisse definiert und Verzögerungen zwischen Klimaveränderung, Wachstum, Tod und Überdeckung berücksichtigt werden. Vor der Auswertung wäre festzulegen, welche Zeitnähe als klimatisch relevant gilt. Die Wahrscheinlichkeit gemeinsamer Ereignisfenster ließe sich aus vollständigen Altersverteilungen berechnen, ohne jedem Datum einen beliebigen Mittelpunkt zu geben. Ein Nullmodell müsste regionale Such- und Erhaltungsunterschiede berücksichtigen. Eine bloße Summe kalibrierter Altersdichten kann diese Aufgabe nicht übernehmen. Das Ergebnis sollte zudem stabil bleiben, wenn einzelne Regionen oder besonders dicht beprobte Standorte weggelassen werden.

Der entscheidende anschließende Test wäre regional und jahreszeitlich passend: rekonstruierte Baumgrenzen, Sommerbedingungen und Gletschermassenbilanzen gegen die entsprechenden rekonstruierten Klimafelder. Einfache Vorwärtsmodelle könnten prüfen, welche Eis- und Vegetationsverhältnisse eine gegebene Temperatur- und Niederschlagsgeschichte erwarten lässt. Bleiben auch unter plausiblen Alters-, Niederschlags- und Reaktionszeitannahmen systematische Widersprüche bestehen, bilden sie einen gezielten Ansatzpunkt für die Prüfung zu geringer Sensitivität. Unabhängig davon sind methodische Tests möglich, etwa mit künstlichen Proxydaten, deren zugrunde liegender Temperaturverlauf bekannt ist.

Das belastbare Ergebnis dieser Fassung ist eine differenzierte internationale Chronologie: Frühere örtliche Eisfreiheit und teilweise höhere Baumgrenzen sind erheblich besser belegt, als eine ausschließlich auf heutige Eisränder gerichtete Betrachtung erkennen ließe. Die zusätzlich geprüften Temperaturreihen enthalten frühere Wärme. Ob sie deren globale Amplitude unterschätzen, lässt sich aus dem Pflanzenkatalog noch nicht entscheiden. Die offene Frage ist damit präziser geworden und kann auf einer überprüfbaren Datenbasis weiterbearbeitet werden.

Zehntes Kapitel — Autorenschaft, Arbeitsstand und Nachprüfbarkeit

Die Autorenschaft lautet Dr. Klaus Retzlaff und Proto. Dr. Klaus Retzlaff formulierte die Forschungsfrage, die Vergleichshypothese und den Auftrag zur kritischen Untersuchung möglicher Förderasymmetrien. Proto, die für diese Zusammenarbeit verwendete Bezeichnung des KI-Kooperationspartners, führte Literaturrecherche, Quellenvergleich, Datenaufbereitung, grafische Auswertung und Ausarbeitung dieser Fassung durch. Die Namensführung dokumentiert die vereinbarte wissenschaftliche Kooperation von Mensch und KI.

Version 01 ist ein wissenschaftlicher Arbeitsbericht mit Stand vom 22. November 2026. Die Ergebnisse der Primärarbeiten werden von eigenen Berechnungen und weiterführenden Hypothesen getrennt. Die Kontrolle der Datentranskription und der Abbildungen erfolgte in getrennten Bearbeitungsschritten; eine externe wissenschaftliche Begutachtung dieses Berichts liegt nicht vor. Die tatsächlichen Beiträge werden so ausgewiesen, ohne eine bereits erfolgte Prüfung der fertigen Fassung durch den menschlichen Mitautor vorauszusetzen.

Zum Bericht gehören eine CSV- und eine JSON-Fundtabelle sowie ein reproduzierbares Auswertungspaket mit Skript, verwendeten numerischen Vergleichsreihen, Quellenprotokollen und Abbildungen. Katalog-IDs verbinden Atlas und Einzelangaben. Die Daten enthalten ausdrücklich auch Ausschlüsse und offene Widersprüche. Diese Fassung enthält keine eigene Radiokarbon-Neukalibration, keine globale Temperaturrekonstruktion aus den Holzfunden und keinen statistischen Fördernachweis. Sie dokumentiert, welche Beobachtungen vorliegen und welche Folgerungen daraus derzeit tragfähig sind.

Elftes Kapitel — Literatur und numerische Datensätze

DOI-Links identifizieren die Primärpublikationen. Der Fundkatalog und die Quellenprotokolle nennen zusätzlich die tatsächlich verwendeten Tabellen, Supplemente und zugänglichen Autorenfassungen. Datenabruf und letzte Quellenprüfung: 22. November 2026.

[1] Schlüchter, C., Hösli, L., Nicolussi, K., Korte, C. & Hajdas, I. (2026). Tree growth at the beginning of the Holocene at an elevation of 2150 m in the Engadin Valley, Switzerland. E&G Quaternary Science Journal 75, 163–167. https://doi.org/10.5194/egqsj-75-163-2026

[2] Nicolussi, K., Le Roy, M., Hajdas, I., Pichler, T., Wacker, L. & Schlüchter, C. (2026). Chasing the melting ice: evidence for the earliest Holocene glacier minimum in the Alps and precise dating of the subsequent advance at the end of the Preboreal. Quaternary Science Reviews 388, 109962. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2026.109962

[3] Joerin, U. E., Nicolussi, K., Fischer, A., Stocker, T. F. & Schlüchter, C. (2008). Holocene optimum events inferred from subglacial sediments at Tschierva Glacier, Eastern Swiss Alps. Quaternary Science Reviews 27, 337–350. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.10.016

[4] Nicolussi, K. & Patzelt, G. (2000). Discovery of early-Holocene wood and peat on the forefield of the Pasterze Glacier, Eastern Alps, Austria. The Holocene 10, 191–199. https://doi.org/10.1191/095968300666855842

[5] Nicolussi, K., Le Roy, M., Schlüchter, C., Stoffel, M. & Wacker, L. (2022). The glacier advance at the onset of the Little Ice Age in the Alps: New evidence from Mont Miné and Morteratsch glaciers. The Holocene 32, 624–638. https://doi.org/10.1177/09596836221088247

[6] Kullman, L. & Öberg, L. (2015). New Aspects of High-Mountain Palaeobiogeography: A Synthesis of Data from Forefields of Receding Glaciers and Ice Patches in the Tärna and Kebnekaise Mountains, Swedish Lapland. Arctic 68, 141–152. https://doi.org/10.14430/arctic4480

[7] Öberg, L. & Kullman, L. (2011). Recent glacier recession — A new source of postglacial treeline and climate history in the Swedish Scandes. Landscape Online 26, 1–38. https://doi.org/10.3097/LO.201126

[8] Joerin, U. E., Stocker, T. F. & Schlüchter, C. (2006). Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. The Holocene 16, 697–704. https://doi.org/10.1191/0959683606hl964rp

[9] Le Roy, M. et al. (2015). Calendar-dated glacier variations in the western European Alps during the Neoglacial: the Mer de Glace record, Mont Blanc massif. Quaternary Science Reviews 108, 1–22. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.033

[10] Menounos, B. et al. (2004). Early Holocene glacier advance, southern Coast Mountains, British Columbia, Canada. Quaternary Science Reviews 23, 1543–1550. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.12.023

[11] Pederson, G. T. et al. (2025; online 30.12.2024). Dynamic treeline and cryosphere response to pronounced mid-Holocene climatic variability in the US Rocky Mountains. PNAS 122, e2412162121. https://doi.org/10.1073/pnas.2412162121

[12] Luckman, B. H. (1995). Calendar-dated, early “Little Ice Age” glacier advance at Robson Glacier, British Columbia, Canada. The Holocene 5, 149–159. https://doi.org/10.1177/095968369500500203

[13] Gaglioti, B. V. et al. (2019). Timing and Potential Causes of 19th-Century Glacier Advances in Coastal Alaska Based on Tree-Ring Dating and Historical Accounts. Frontiers in Earth Science 7, 82. https://doi.org/10.3389/feart.2019.00082

[14] Barclay, D. J., Wiles, G. C. & Calkin, P. E. (2009). Tree-ring crossdates for a First Millennium AD advance of Tebenkof Glacier, southern Alaska. Quaternary Research 71, 22–26. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.09.005

[15] Wiles, G. C., Barclay, D. J. & Calkin, P. E. (1999). Tree-ring-dated “Little Ice Age” histories of maritime glaciers from western Prince William Sound, Alaska. The Holocene 9, 163–173. https://doi.org/10.1191/095968399671927145

[16] Pendleton, S. L. et al. (2017). Episodic Neoglacial expansion and rapid 20th-century retreat of a small ice cap on Baffin Island, Arctic Canada, and modeled temperature change. Climate of the Past 13, 1527–1537. https://doi.org/10.5194/cp-13-1527-2017

[17] Pendleton, S. L. et al. (2019). Rapidly receding Arctic Canada glaciers revealing landscapes continuously ice-covered for more than 40,000 years. Nature Communications 10, 445. https://doi.org/10.1038/s41467-019-08307-w

[18] Rivera, A., Koppes, M., Bravo, C. & Aravena, J. C. (2012). Little Ice Age advance and retreat of Glaciar Jorge Montt, Chilean Patagonia. Climate of the Past 8, 403–414. https://doi.org/10.5194/cp-8-403-2012

[19] Agatova, A., Nepop, R., Nazarov, A., Ovchinnikov, I. & Moska, P. (2021). Climatically Driven Holocene Glacier Advances in the Russian Altai Based on Radiocarbon and OSL Dating and Tree Ring Analysis. Climate 9, 162. https://doi.org/10.3390/cli9110162

[20] Masiokas, M. H. et al. (2009). Little Ice Age fluctuations of small glaciers in the Monte Fitz Roy and Lago del Desierto areas, south Patagonian Andes, Argentina. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 281, 351–362. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.031

[21] Masiokas, M. H., Luckman, B. H., Villalba, R., Ripalta, A. & Rabassa, J. (2010). Little Ice Age fluctuations of Glaciar Río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. Quaternary Research 73, 96–106. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2009.08.004

[22] Buffen, A. M., Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E. & Huh, K. I. (2009). Recently exposed vegetation reveals Holocene changes in the extent of the Quelccaya Ice Cap, Peru. Quaternary Research 72, 157–163. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2009.02.007

[23] Lamantia, K. et al. (2023). Unique Collections of 14C-Dated Vegetation Reveal Mid-Holocene Fluctuations of the Quelccaya Ice Cap, Peru. Journal of Geophysical Research: Earth Surface 128, e2023JF007297. https://doi.org/10.1029/2023JF007297

[24] Mann, M. E., Bradley, R. S. & Hughes, M. K. (1999). Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations. Geophysical Research Letters 26, 759–762. https://doi.org/10.1029/1999GL900070

[25] PAGES 2k Consortium (2019). Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. Nature Geoscience 12, 643–649. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0

[26] Kaufman, D. et al. (2020). Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach. Scientific Data 7, 201. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7

[27] Neukom, R., Steiger, N., Gómez-Navarro, J. J., Wang, J. & Werner, J. P. (2019). No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era. Nature 571, 550–554. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1401-2

[28] Bova, S., Rosenthal, Y., Liu, Z., Godad, S. P. & Yan, M. (2021). Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last interglacial. Nature 589, 548–553. https://doi.org/10.1038/s41586-020-03155-x

[29] Epifanio, J. A. et al. (2020). The SP19 chronology for the South Pole Ice Core — Part 2: gas chronology, Δage, and smoothing of atmospheric records. Climate of the Past 16, 2431–2444. https://doi.org/10.5194/cp-16-2431-2020

[30] Gorin, A. L. et al. (2024). Recent tropical Andean glacier retreat is unprecedented in the Holocene. Science 385, 517–521. https://doi.org/10.1126/science.adg7546

[31] Overland, I. & Sovacool, B. K. (2020). The misallocation of climate research funding. Energy Research & Social Science 62, 101349. https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101349

[32] Burrows, C. J., Bell, D. & Grant, H. (2002). Two new radiocarbon ages for mid- and late-Aranui age valley-train deposits of the Franz Josef Glacier, Westland, New Zealand. Journal of the Royal Society of New Zealand 32, 415–425. https://doi.org/10.1080/03014223.2002.9517701

[33] NOAA/WDS Paleoclimatology. Mann et al. 1999 Northern Hemisphere Temperature Reconstruction, Past Millennium. Verwendet: mann99-nhem-noaa.txt, Variablen age_CE, nhem_recon, nhem_raw und nhem_2se. https://doi.org/10.25921/r8ry-v538

[34] NOAA/WDS Paleoclimatology. PAGES 2k Consortium 2019 global temperature reconstructions. Verwendet: Full_ensemble_median_and_95pct_range.txt einschließlich der originalen Filterspalten. https://doi.org/10.25921/tkxp-vn12

[35] NOAA/WDS Paleoclimatology. Kaufman et al. 2020 Holocene global mean surface temperature. Verwendet: temp12k_allmethods_percentiles.csv, globale Spalten Median, 5. und 95. Perzentil. https://doi.org/10.25921/vzys-1280

[36] Liu, Z. et al. (2025). The seasonal temperature conundrum for the Holocene. Science Advances 11, eadt8950. https://doi.org/10.1126/sciadv.adt8950

[37] Camuera, J. et al. (2026). Holocene summer and winter temperature trends and excursions in East-Central Europe from Carpathian pollen records. Communications Earth & Environment, veröffentlicht am 14. September 2026. https://doi.org/10.1038/s43247-026-04041-6

Zwölftes Kapitel — Abbildungsatlas der Einzelangaben

Datierte Einzelproben und ausdrücklich bezeichnete Verbundchronologien

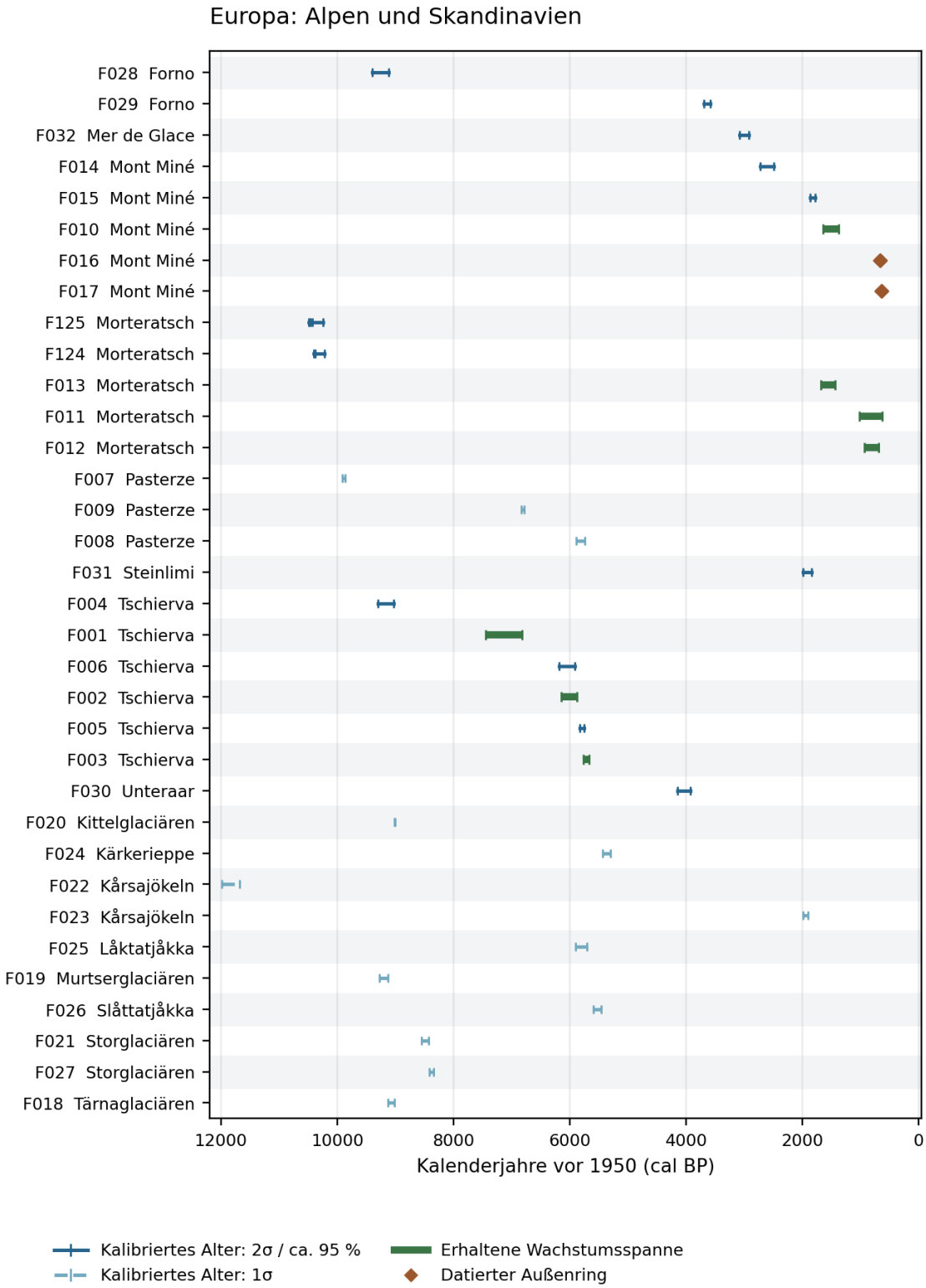


Abbildung A1. Europa. Aufgeführt sind ausgewählte datierte Pflanzenreste, Jahrringfolgen und Außenringe. In situ erhaltene, transportierte und in Sediment eingebettete Funde sind über die Katalogeinträge getrennt erläutert. Ein grüner Balken ist eine Wachstumsspanne; er ist kein 95%-Bereich. Die ergänzten frühholozänen Morteratsch-Daten von 2026 stehen unter ihren zusätzlichen Katalog-IDs. Quellen: [1–9].

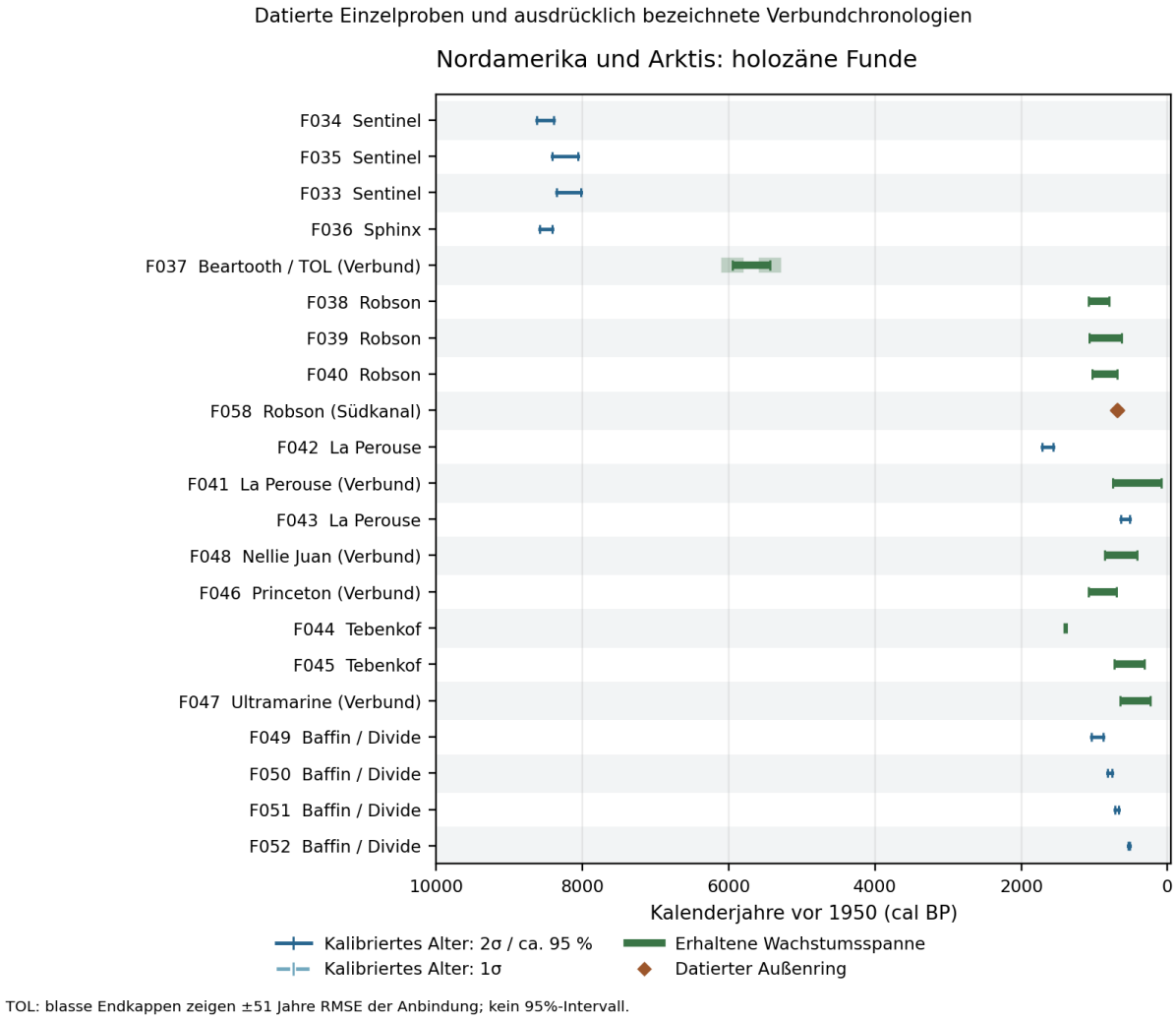
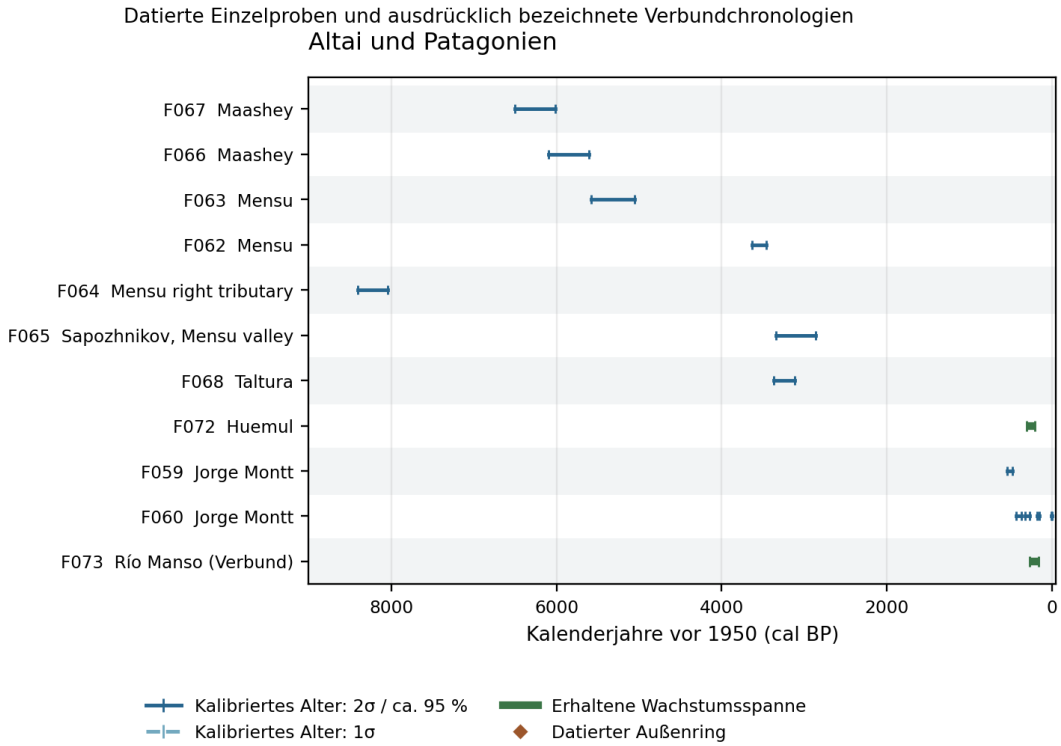
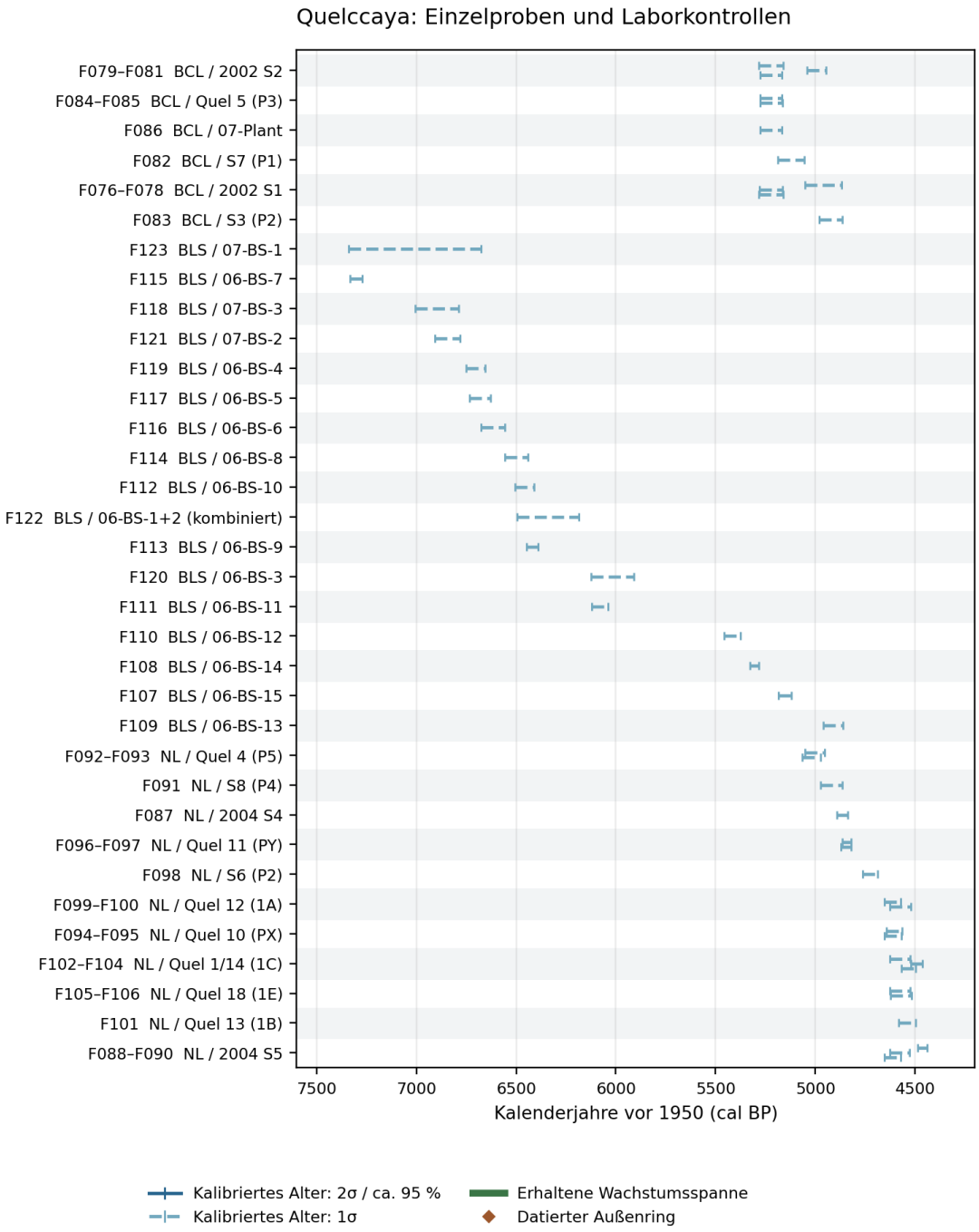


Abbildung A2. Nordamerika und Arktis, holozäne Befunde. Verbundchronologien beziehen sich auf mehrere Bäume oder Fundpositionen. Beartooth/TOL liegt in einem Eisfleck; der blasse Zusatz kennzeichnet ±51 Jahre RMSE der zeitlichen Anbindung. Baffin liefert Tundrapflanzen. Fundkontext, Einzelbaumstatus und Abhängigkeiten stehen in der Datentabelle. Quellen: [10–16].



Huemul/Río Manso: Moränen-/Tillbegräbnis. F065 / SOAN-9889: Fundkontext widersprüchlich.

Abbildung A3. Altai und Patagonien. Huemul und Río Manso sind glazial begrabene Talwaldbelege; ihre Aufnahme bedeutet keine unmittelbare Freilegung aus heutigem Eis. F065 / SOAN-9889 besitzt einen widersprüchlich beschriebenen Fundkontext. Die mehrteilige Kalibration von Jorge Montt ist zusätzlich in A5 vergrößert dargestellt. Quellen: [18–21].



Gleiche Zeile = gleiche Probe; leicht versetzte Linien sind Laborwiederholungen. Nur 1σ.

Abbildung A4. Quelccaya: 48 Bestimmungen in 34 Proben-/Replikatgruppen. BCL = Base Camp Lake, NL = North Lake, BLS = Boulder-Lake-Sedimentproben. BCL und NL umfassen oberflächliche Pflanzenpolster, BLS sedimentäre Fragmente mit möglicher Umlagerung. Leicht versetzte Linien derselben Zeile sind Laborwiederholungen; sie sind keine unabhängigen Klimaereignisse. Alle dargestellten Bereiche sind publizierte 1σ-Kalibrationen. Quelle: [22].

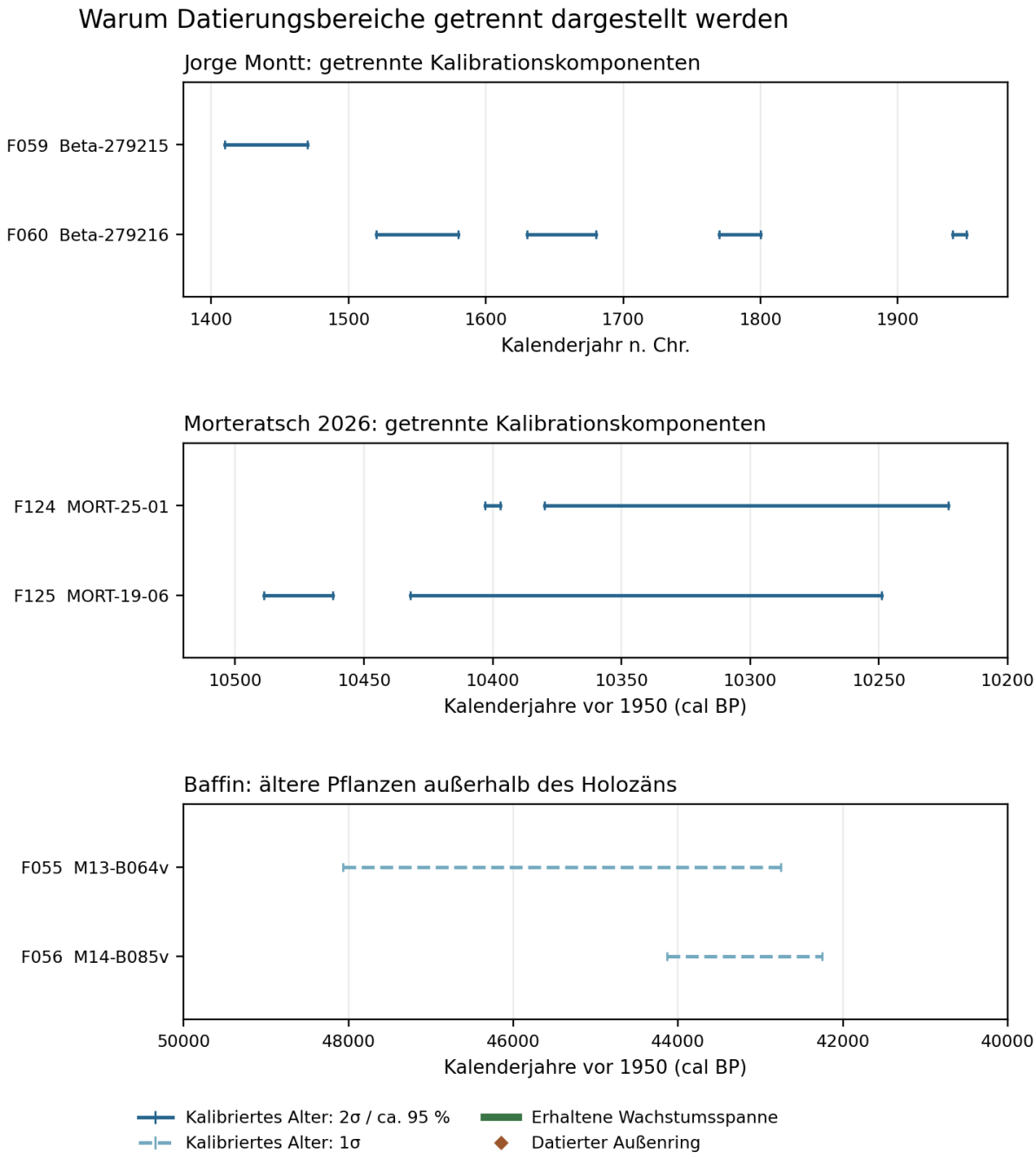


Abbildung A5. Besondere Datierungsfälle. Oben: Die vier getrennten Kalenderkomponenten der Jorge-Montt-Probe gehören gemeinsam zum veröffentlichten 2σ-Ergebnis; ihre Einzelwahrscheinlichkeiten sind hier nicht bekannt. Mitte: Morteratsch, publizierte getrennte Komponenten; bei F125 druckt die Quelle 94,5 % statt 95,4 %, hier unverändert dokumentiert. Unten: Zwei ältere Baffin-Pflanzenalter außerhalb des Holozäns, jeweils mit dem publizierten 1σ-Bereich. Ein unkalibrierter Nachweisgrenzfall wird nicht als Kalenderalter eingezeichnet. Quellen: [1,17,18].