



Abschlussbericht PalMod Phase III Förderkennzeichen 01LP2311A

<i>Verbundthema:</i> PalMod III – Verbundprojekt WP CC Querschnittsaktivitäten: Dateninfrastruktur	<i>Förderkennzeichen:</i> 01LP2311A
<i>Vorhabensbezeichnung:</i> TP2: Proxydaten-Portal	
<i>Laufzeit des Vorhabens:</i> 01.06.2023 - 31.05.2025	
<i>Berichtszeitraum:</i> 01.06.2023 - 31.05.2025	

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung / Ziel des Projekts

Das Verbundvorhaben CC begleitet und unterstützt modellübergreifende Analysen innerhalb von PalMod durch die Bereitstellung standardisierter Proxy- und Modelldaten sowie durch Werkzeuge für deren vergleichende Auswertung. Ziel ist es, die Aussagekraft von Modellexperimenten durch systematische Vergleiche mit paläoklimatischen Beobachtungsdaten zu verbessern. Das Teilprojekt TP2 entwickelte hierzu eine digitale Infrastruktur zur Bereitstellung harmonisierter mariner Paläoklima-Proxydaten für den Vergleich mit Klimamodellen. Ziel war der Aufbau eines neuen webbasierten Datenportals, das standardisierte Proxy-Zeitreihen visualisiert, filterbar macht und für Modellvalidierungen nutzbar bereitstellt. Grundlage sind Datenkollektionen aus PaleoDataView, die in einem einheitlichen Format auf PANGAEA archiviert werden.

Teilprojekt 2 war in vier zentrale Aufgaben untergliedert:

- Die Definition einer einheitlichen Datenstruktur für harmonisierte Proxydaten zur strukturierten Ablage auf PANGAEA.

- Die Entwicklung von Exportfunktionen für die Software PaleoDataView, um Datenkollektionen automatisiert und modellnutzbar zu veröffentlichen.
- Die Erstellung eines webbasierten Visualisierungsportals für harmonisierte Proxy-Rohdaten und Zeitreihen.
- Die Erweiterung des Portals um flexible Filter- und Downloadfunktionen zur gezielten Datenbereitstellung für Anwender:innen aus der Klimaforschung, insbesondere der Klimamodellierung.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die bewilligten Mittel wurden zur Finanzierung einer Postdoc-Stelle verwendet, die über die gesamte Laufzeit des Projekts (24 Monate) mit Dr. Michael Langner besetzt war. Die langjährige Erfahrung von Dr. Langner im Datenmanagement sowie in der Entwicklung von Anwendungssoftware stellte eine zentrale Voraussetzung für den erfolgreichen Projektverlauf dar. Die für die Projektdurchführung notwendige Büroausstattung (einschließlich Hard- und Software) sowie ein für das Projekt notwendiger Webserver wurden von der Universität Bremen bereitgestellt. Eine weitere wichtige Voraussetzung für das Projekt war die Möglichkeit, PANGAEA als Quelle für Rohdaten aber auch zur Archivierung unser Datensätze nutzen zu können sowie die technische Beratung durch PANGAEA Mitarbeiter vor während des Projektes.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Projektverlauf erfolgte im Wesentlichen entlang der ursprünglichen Planung. Fortschritte sowie die Erreichung der definierten Ziele wurden in regelmäßig stattfindenden Besprechungen zwischen Projektleiter und Postdoc überprüft. Dabei wurden potenzielle Herausforderungen identifiziert, geeignete Problemlösungsstrategien entwickelt und, falls erforderlich, unmittelbar umgesetzt. Regelmäßige Treffen und Workshops mit den Projektpartnern vom Deutschen Klimarechenzentrum (Koordination) und der Universität Tübingen dienten dem gezielten Informationsaustausch mit den anderen Teilprojekten sowie der übergeordneten projektweiten Koordination. Gemäß Planung wurde der Quellcode sämtlicher entwickelter Softwareprodukte langfristig auf der Plattform Zenodo archiviert. Die Projektergebnisse sowie potenzielle zukünftige Anknüpfungspunkte wurden vom Projektleiter im Rahmen des PalMod-Jahrestreffens am 16. Juni 2025 am MARUM vorgestellt.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Paleoklimatische Proxydaten sind ein zentrales Instrument zur Validierung von Klimamodellen. Während für instrumentelle Messreihen etablierte Workflows zur Erstellung kontinuierlich aktualisierter Datensätze existieren, fehlt in der Paläoklimatologie bislang eine vergleichbare Infrastruktur. In früheren PalMod-Phasen (Phase II, WG 3.1) wurden umfassende Sammlungen mariner Proxydaten sowie das Softwaretool PaleoDataView entwickelt, um unstrukturierte Paläoklimadaten zu konsistenten globalen Datenprodukten zu harmonisieren. Aufbauend darauf sollte in TP2 die Transparenz, Nutzbarkeit und langfristige Verfügbarkeit dieser Datensätze gesteigert werden. PaleoDataView wurde entsprechend erweitert, um harmonisierte marine Datensätze direkt für die Bereitstellung in der Datenbank PANGAEA zu erzeugen, ergänzt durch ein neues Online-Portal mit Visualisierungs-, Auswahl- und Downloadfunktionen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen regelmäßiger etwa monatlicher Treffen der internationalen Arbeitsgruppe POWERS (<http://powersoceandata.org/>, Nachfolgeprojekt von PAGES OC3) standen wir in engem Austausch mit internationalen Kolleginnen und Kollegen zur Synthese von Paläoklima-Datenprodukten. Dieser Austausch ermöglichte es uns, wertvolles externes Feedback zu unseren Software- und Datenprodukten zu erhalten und deren Qualität gezielt zu verbessern. Die Archivierung der auf unserem Webportal bereitgestellten Daten erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem PANGAEA Team.

6. Aufzählung der wichtigsten Projektergebnisse

Zu den wichtigsten Projektergebnissen zählen:

- die Erweiterung der bestehenden Software PaleoDataView mit Exportfunktionen für die Ablage in Datenbanken (Langner und Mulitza, 2025),
- die Erstellung eines paläozenographischen Atlas-Produktes (Mulitza und Langner, 2025), das harmonisierte Zeitreihen verschiedener Proxies enthält,
- der Aufbau eines webbasierten Datenportals (Langner und Mulitza, 2025), das standardisierte Proxy-Zeitreihen visualisiert, filterbar macht und für Modellvalidierungen nutzbar bereitstellt.

II. Eingehende Darstellung

Ziel von TP2 „Proxydaten-Portal“ war der Aufbau einer Infrastruktur, die Zeitreihen paläozeanographischer Proxy-Parameter über ein Web-Portal für die Validierung von Modellexperimenten zugänglich macht. Damit sollten Klimamodellierer gezielt marine Paläoklima-Zeitreihen für Daten-Modellvergleiche auswählen und in aktuellen Projekten nutzen können.

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Datenstruktur und Export

In den ersten sieben Monaten des Projektes lag der Schwerpunkt zunächst auf dem Aufbau einer Datenstruktur, die eine nachhaltige Bereitstellung und Verwaltung paläoklimatischer Datensätze auf geeigneten Servern ermöglicht (Meilenstein CC2.1). Geplant war die homogenisierte Aufbereitung und Bereitstellung von drei Datentypen: (1) Rohdaten, (2) Zeitreihen mit unregelmäßigen, der ursprünglichen zeitlichen Auflösung entsprechenden Intervallen sowie (3) Zeitreihen mit äquidistanten Zeitschritten. Zur Umsetzung dieser Vorgabe wurden die globalen Datensammlungen in PaleoDataView (PDV) gepflegt, ein neues standardisiertes Exportformat definiert (Meilenstein CC2.2) und eine Exportroutine implementiert, die eine regelmäßige Übertragung aktualisierter Daten ins Webportal ermöglicht.

PaleoDataView, das bereits in den Förderphasen PalMod I & II in C++/Qt entwickelt wurde, stellt zentrale Werkzeuge bereit, um paläoklimatische Messdaten zu homogenisieren und in konsistente globale Datenprodukte zu überführen. Die Exportfunktionalität war bislang auf Excel- und Textdateien einzelner Kerne beschränkt. In PalMod III wurde diese Funktion dahingehend erweitert, dass nun erstmalig komplette Datensammlungen in einem einheitlichen Datenformat exportiert werden können. Dieses Format erfüllt zwei wesentliche Anforderungen: Einerseits erlaubt es die Ablage der Kollektionen als abgeschlossene Datenprodukte bei PANGAEA zur langfristigen Archivierung, andererseits können die exportierten Daten direkt in eine PostgreSQL-Datenbank eingespielt und dort als Grundlage für weiterführende Datenservices im Webportal genutzt werden (Abb. 1).

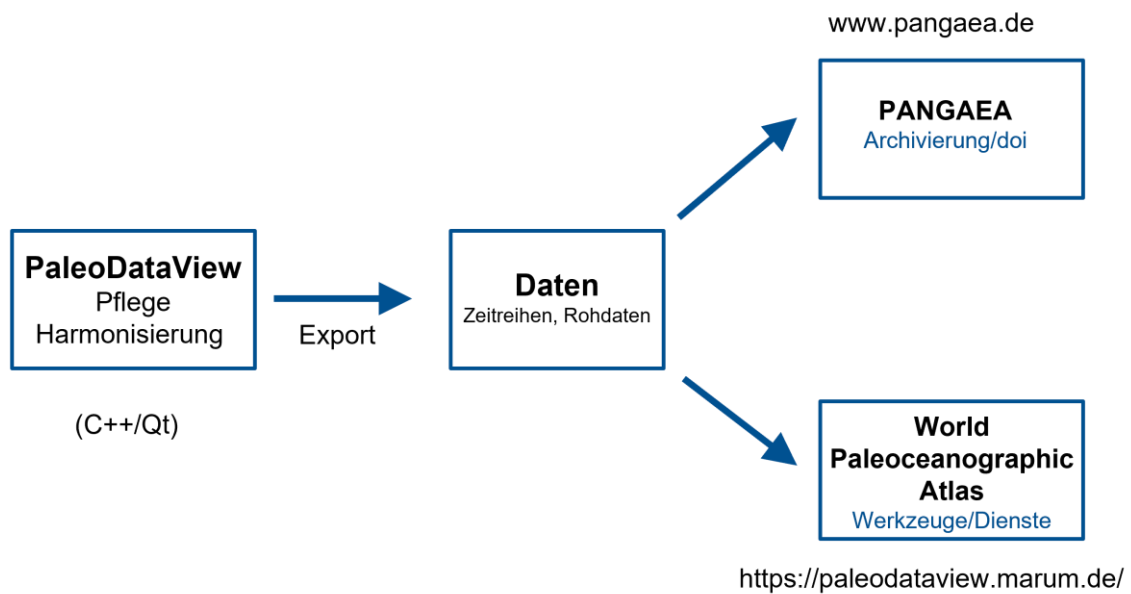


Abb. 1: In CC2 implementierter Workflow zur Bereitstellung von Paläoklimadaten.

Entwicklung eines Webportals

2024 lag der Fokus auf dem Aufbau des Portals (Meilenstein CC2.3) mit Visualisierungs- und Downloadfunktionen (Meilenstein CC2.4), das unter <https://paleodataview.marum.de/> verfügbar ist. Für die Entwicklung des Webportals wurde im MARUM-Intranet ein eigener Server eingerichtet und eine Entwicklungsumgebung auf Basis von Django und PostgreSQL aufgebaut. Damit wurde die technische Grundlage geschaffen, um die mit PDV erzeugten Datensammlungen in eine webbasierte Infrastruktur einzubinden und über geeignete Schnittstellen verfügbar zu machen. Über die Startseite des Portals (Abb. 2) können Forschende wahlweise die datenbankgestützten Werkzeuge zur interaktiven Untersuchung und Visualisierung verwenden oder auch das vollständige, bei PANGAEA hinterlegte Datenprodukt herunterladen. Auf unserem Portal können wir nicht nur endgültig archivierte Datensätze, sondern auch Zwischenprodukte zeitnah bereitstellen, um eine frühzeitige Nutzung der Daten für wissenschaftliche Auswertungen zu ermöglichen.

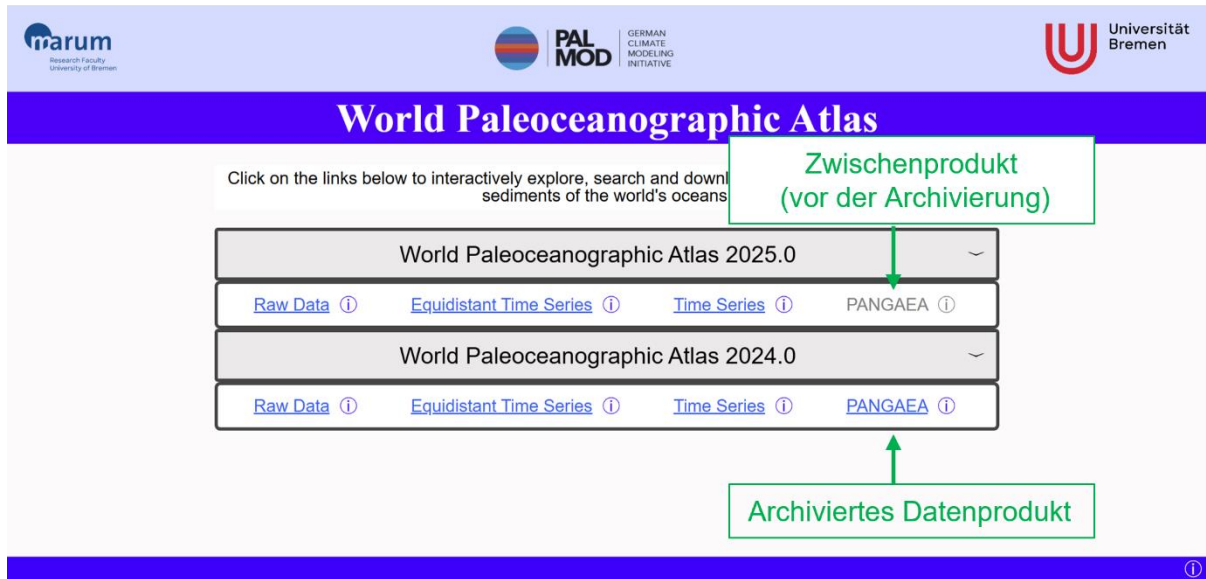


Abb 2: Startseite des in CC2 produzierten Datentools.

Die Datenaufbereitung (Qualitätskontrolle, Stratigraphie, Erstellung von Zeitreihen) erfolgte mit PaleoDataView. Mit Hilfe der neu entwickelten Exportroutine wurden die Daten in einem identischen Format in der Webportal-Datenbank und auf PANGAEA abgelegt. Der erste umfangreiche online verfügbare Datensatz wurde bei PANGAEA archiviert (Mulitza & Langner, 2025, Deliverable CC2.1). Über die Links auf der Startseite gelangen Nutzende in verschiedene interaktive Unterseiten, auf denen die verfügbaren Daten – sowohl Rohdaten als auch aufbereitete Zeitreihen verschiedener Proxies – über ein interaktives Karteninterface oder eine filterbare Liste ausgewählt, visualisiert und in wählbaren Formaten heruntergeladen werden können (Abb. 3).

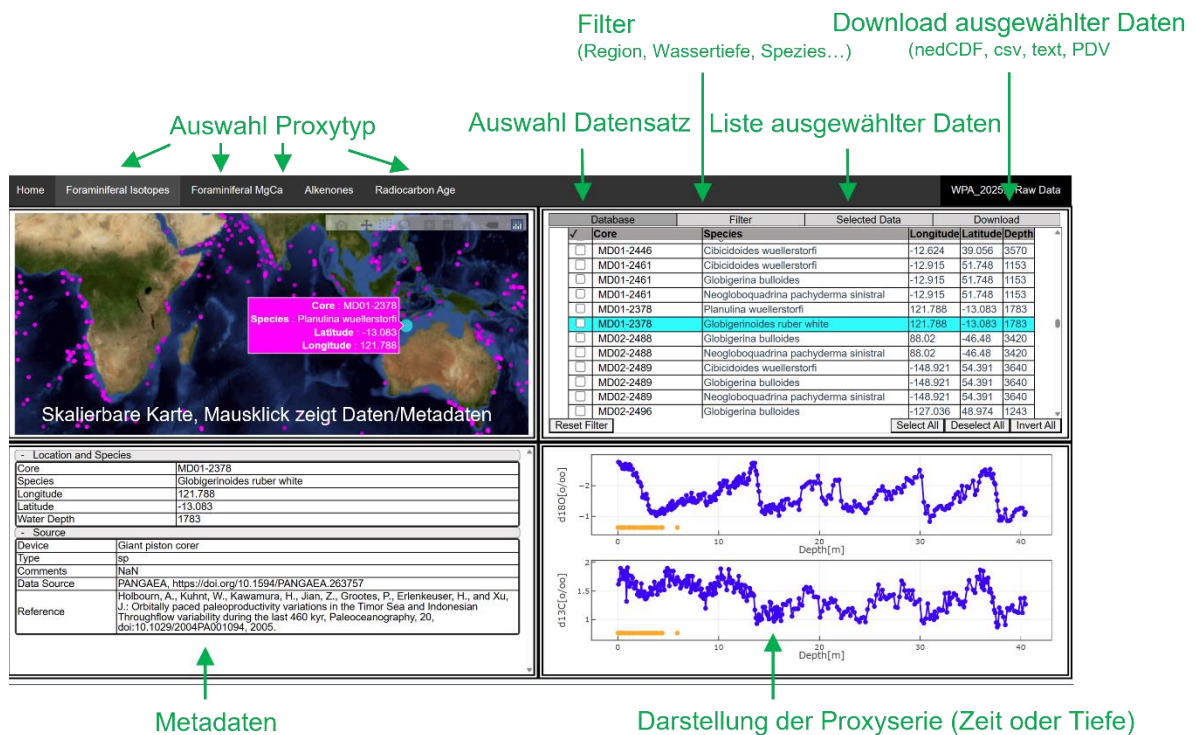


Abb 3: Beispiel einer interaktiven Unterseite des Webportals für paläozeanographische Daten und die entsprechenden Funktionen.

Auf jeder Unterseite kann der gewünschte Proxytyp (z. B. stabile Isotope, Alkenone, Mg/Ca, bei Rohdaten zusätzlich Radiokarbon-Alter) ausgewählt werden. Datensätze einzelner Kernpositionen lassen sich durch einen Mausklick in die Karte oder auf die Kernlabels in der rechts oben eingeblendeten Tabelle anzeigen. Die zugehörige Metadatatabelle ist nach verschiedenen Kriterien filterbar und ermöglicht die gezielte Auswahl durch die Nutzer:innen. Sowohl die Karte als auch die Visualisierungen der Datensätze können vergrößert und im Detail untersucht werden. Für den Download stehen mehrere Formate zur Verfügung: als Text, CSV, netCDF oder gezippte PaleoDataView-Kollektion.

Zusammenfassung mit Bezug auf die Milestones & Deliverables

Task	Beschreibung	Geplant	Erreicht
M CC2.1	Definition eines Datenformates zur Ablage der PalMod Proxy-Datenkollektionen auf PANGAEA	M09/23	M09/23
M CC2.2	Erfolgreicher Test der Exportroutinen für PalMod Proxy-Datenkollektionen	M12/23	M12/23
M CC2.3	Erste Version des Proxydaten-Portals mit Visualisierungsmöglichkeiten	M10/24	M10/24
M CC2.4	Version des Proxydaten-Portals mit Möglichkeit zum Filtern und bedarfsgerechten Download der Proxydaten	04/25	M04/25
D CC2.1	Ablage der exportierten PalMod-Kollektionen auf PANGAEA	M03/24	M12/24
D CC2.2	Proxydaten-Portal mit Visualisierungsfunktionen	M10/24	M10/24
D CC2.3	Proxydaten-Portal mit Filter- und Downloadfunktionen	M05/25	M05/25

2. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der überwiegende Teil der Projektkosten entfiel auf die Personalausgaben für den angestellten Postdoc Dr. Michael Langner. Demgegenüber machten die Aufwendungen für Dienstreisen (Workshops, Arbeitsgruppentreffen, Jahrestreffen, Tagungen) nur einen geringen Anteil aus. Der detaillierte zahlenmäßige Nachweis wird gesondert vorgelegt.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Projektion der zukünftigen Klimaentwicklung anhand von Modellen muß alle zur Verfügung stehenden Datenquellen zur Validierung heranziehen. Eine Nutzung der für diese Aufgabe sehr wichtigen aber strukturell komplexen Paläoklimadaten war bisher aufgrund fehlender entsprechend aufbereiteter Datensätze und spezialisierter Datenportale mit großen Hindernissen verbunden. Das in CC2 bereitgestellte Datenportal ermöglicht den transparenten Zugang zu harmonisierten Daten. Die von uns erarbeiteten Workflows sind wegweisend für die zukünftige Weiterentwicklung von Datenportalen in der Paläoklimaforschung. Die im Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse wären ohne die Förderung des BMBF nicht umsetzbar gewesen.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Ein unmittelbarer wirtschaftlicher Nutzen ergibt sich aus den Ergebnissen des Projekts nicht. Mittelfristig ist jedoch zu erwarten, dass die erstellte Infrastruktur mit den entsprechenden Workflows wesentlich zur Verbesserung der Prognosefähigkeit aktueller Klimamodelle beitragen, deren Projektionen eine wichtige Grundlage für nachhaltige Planungs- und Investitionsentscheidungen der Gesellschaft darstellen.

Die von uns entwickelten Datensätze liefern unverzichtbare Informationen über natürliche Klimazustände und deren Variabilität. Sie ermöglichen die Validierung von Modellexperimenten auf Zeitskalen, die über den Zeitraum instrumenteller Beobachtungen hinausreichen und für die heutige menschliche Gesellschaft und ihre Anpassungsstrategien hochrelevant sind. Damit schaffen die Projektergebnisse eine belastbare Wissensbasis für künftige Forschungsvorhaben.

Die entwickelten Datenprodukte sind international zugänglich und erhöhen so die Sichtbarkeit und Nutzbarkeit deutscher Forschung im internationalen Kontext. Langfristig leisten die Ergebnisse somit einen Beitrag zum Wissenstransfer, zur

internationalen Zusammenarbeit und zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Forschungsstandortes Deutschland.

5. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Ein ähnliches Projekt anderer Stellen ist uns zurzeit nicht bekannt. Die in PalMod gewonnenen Erfahrungen und Softwarelösungen werden aber bereits in weiteren internationalen Projekten zur Aufbereitung und Harmonisierung mariner Paläoklimadaten genutzt und weiterentwickelt (siehe „Zusammenarbeit mit anderen Stellen“).

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Projektergebnisse

Langner, M. and Mulitza, S.: PaleoDataView V1.1, Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.14886825>, 2025.

Langner, M.: A website for download and visualisation of PaleoDataView proxy collections, Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.15268173>, 2025.

Mulitza, S. and Langner, M.: World Paleoceanographic Atlas 2024.0, PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.974598>, 2025.

Weitere Publikationen, die durch das Projekt ermöglicht wurden

Köhler, P. and Mulitza, S.: No detectable influence of the carbonate ion effect on changes in stable carbon isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$) of shallow dwelling planktic foraminifera over the past 160 kyr, *Clim. Past*, 20, 991–1015, <https://doi.org/10.5194/cp-20-991-2024>, 2024.

Muglia, J., Mulitza, S., Repschläger, J. et al. A global synthesis of high-resolution stable isotope data from benthic foraminifera of the last deglaciation. *Sci Data* 10, 131 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02024-2>

Muglia, J., Mulitza, S., Repschläger, J., and Schmittner, A.: A global database of carbon and oxygen isotopes for the last deglaciation, *PAGES Mag*, 32, 61, <https://doi.org/10.22498/pages.32.1.61>, 2024.

Geplant:

Muglia, J., Schmittner, A., Mulitza, S., Rafter, P.A, Repschläger, J., Somes, C., Wilmes, S.-B.: Southern Ocean ventilation drives early deglacial ocean carbon release and CO_2 rise, *Nature Communication* (submitted)