

A fast input/output library for high-resolution climate models

Seminar Supercomputer: Forschung und Innovation

Arlonso Glao

Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Department Informatik

7. Januar 2022



- 1 Einführung
- 2 Climate Fast Input/Output (CFIO)
- 3 CFIO im Einsatz
- 4 Schluss

- 1 Einführung
 - Klimamodelle
 - Motivation
- 2 Climate Fast Input/Output (CFIO)
- 3 CFIO im Einsatz
- 4 Schluss

Was ist ein Klimamodell?

- Computergestützte Simulation des Klimasystems der Erde
- Beinhaltet Atmosphäre, Land, Ozeane und Meereis

Was ist ein Klimamodell?

- Computergestützte Simulation des Klimasystems der Erde
- Beinhaltet Atmosphäre, Land, Ozeane und Meereis

Wie funktioniert es?

- Input: externe Faktoren ("Forcings")
- Output: nahezu vollständiges Bild des Erdklimas

Trend

- erhöhte Auflösung für genauere Simulationen
- unterstützt durch Supercomputer

Trend

- erhöhte Auflösung für genauere Simulationen
- unterstützt durch Supercomputer

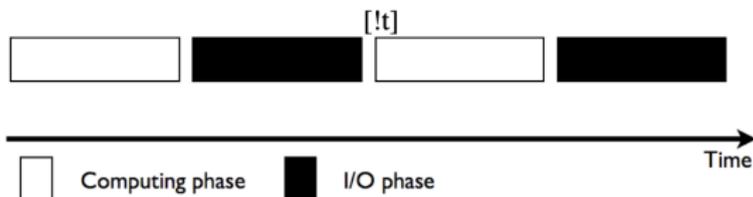
Wo liegt das Problem?

- Sehr hohe Datenmengen
- Output beeinträchtigt die Performance
- Berechnungsphase und I/O-Phase laufen seriell

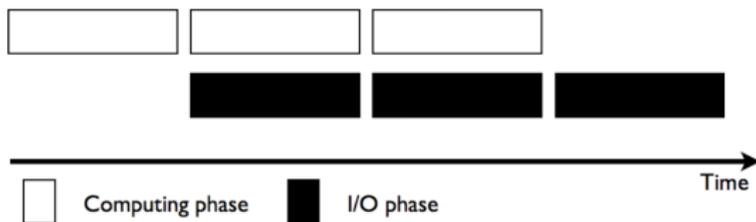
Motivation

Lösungsansatz

- parallele Ausführung der Phasen



(a) Serial execution of computing and I/O



(b) Parallel execution of computing and I/O

Climate Fast Input/Output (CFIO)

1 Einführung

2 Climate Fast Input/Output (CFIO)

- Was ist CFIO?
- I/O Forwarding Technique
- Server-Client-Architektur
- Laufzeitbeschleunigung
- Kommunikationsmethode

3 CFIO im Einsatz

4 Schluss

Was ist CFIO?

Überblick

- I/O-Library für Klimamodelle
- Überlappung von Rechen- und I/O-Phase
- schnellere Simulationen

Was ist CFIO?

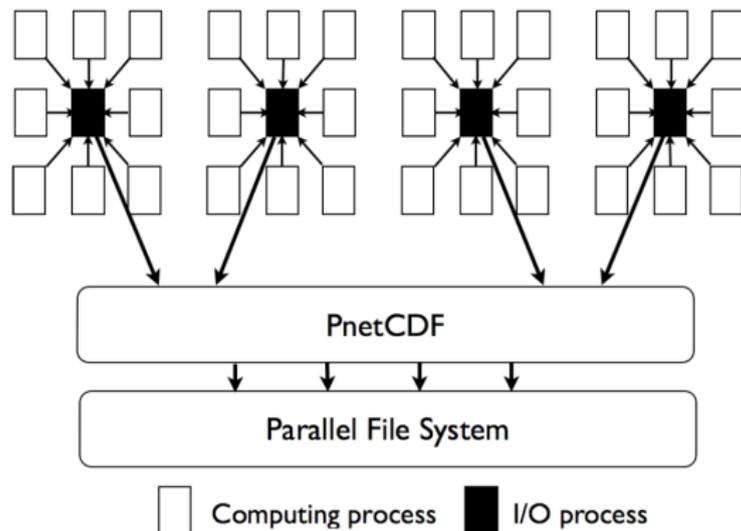
Aufbau

- Rechenprozesse
 - erledigen Berechnungsaufgaben
 - bilden I/O-Requests (Input)
- I/O-Prozesse
 - erzeugen Ausgabedaten
- I/O-Requests werden an I/O-Prozess weitergeleitet (I/O Forwarding Technique)

I/O Forwarding Technique

Eigenschaften

- Schnittstelle zwischen Rechen- und I/O-Prozessen
- Ermöglicht Parallelisierung der Phasen



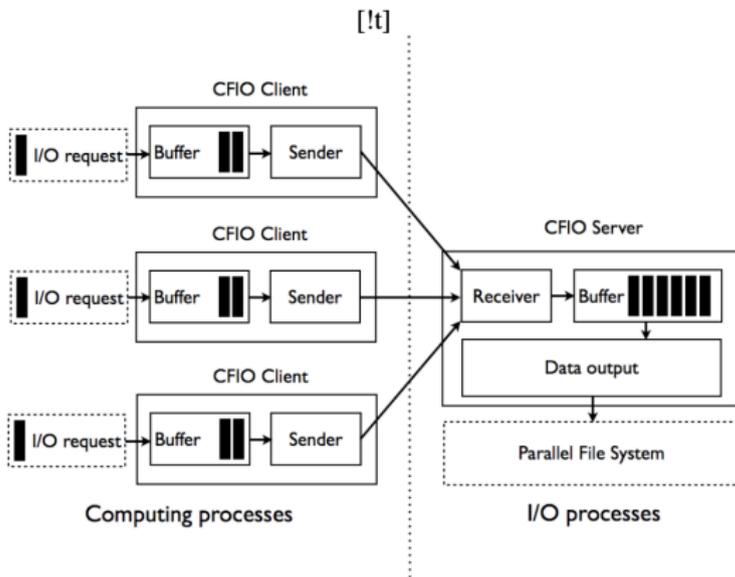
Vorteile

- verringert die Laufzeit
- Ressourcen werden viel effizienter genutzt
- Reduzierung des Bedarfs an lokalen CPU- und Speicherressourcen
- I/O-Prozesse bieten großen Speicherpuffer

Server-Client-Architektur

Ablauf

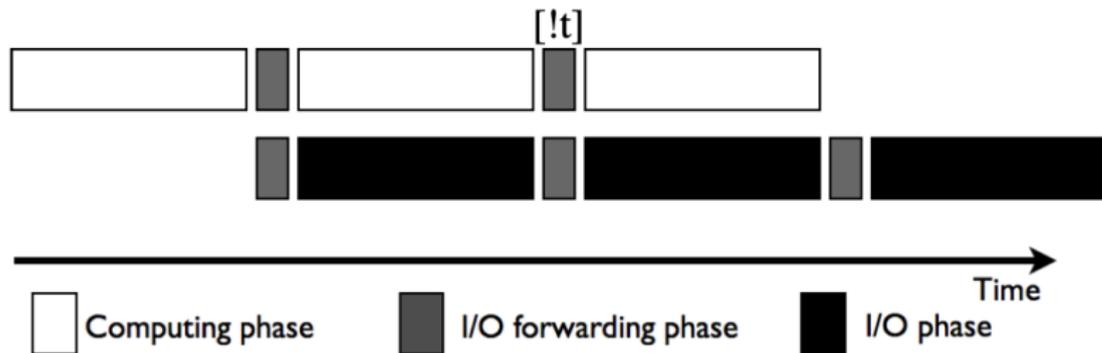
- 1 CFIO-Client sendet Request zum Server
- 2 Server setzt Request auf Warteschlange
- 3 Server verarbeitet nacheinander alle Requests



Server-Client-Architektur

Gesamtlaufzeit

- Rechenphase + I/O-Forwarding-Phase + I/O-Phase



Wo liegt das Maximum?

- Maximum ergibt sich aus I/O-Zeit / Rechenzeit
- Je größer die I/O Zeit desto größer die Leistungssteigerung
- Ideale Laufzeit = Rechenzeit + I/O-Forwarding-Zeit

Was wenn I/O-Zeit $>$ Rechenzeit

- Zahl der I/O-Prozesse wird erhöht
- Größerer Buffer-Pool
- I/O-Zeit kann dadurch reduziert werden

Asynchrone Kommunikation

- alle I/O-Requests in einem Client-Buffer
- Forwarding auf separatem Thread
- Überlappung mit Rechenzeit

Asynchrone Kommunikation

- alle I/O-Requests in einem Client-Buffer
- Forwarding auf separatem Thread
- Überlappung mit Rechenzeit

Problem

- Netzressourcenkonflikt zwischen den Phasen
- Führt zu hoher Rechenzeit bei vielen Kernen
- Optimierung daher zwecklos

Synchrone Kommunikation

- Effektiver bei großen Datenmengen
- Rechen- und I/O-Forwarding-Phase laufen getrennt
- Keine Netzressourcenkonflikte

Synchrone Kommunikation

- Effektiver bei großen Datenmengen
- Rechen- und I/O-Forwarding-Phase laufen getrennt
- Keine Netzressourcenkonflikte

Problem

- Mögliche Erschöpfung der Buffer
- Client muss warten
- Kann bei ausreichender Serverzahl verhindert werden

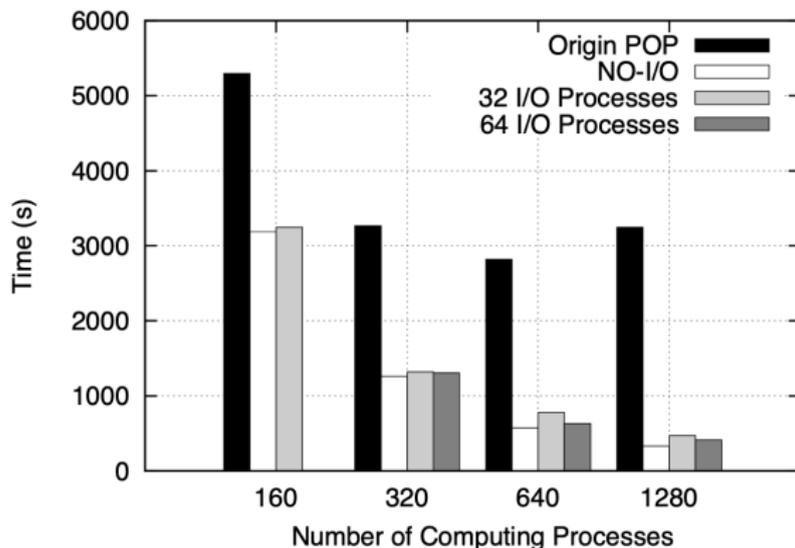
- 1 Einführung
- 2 Climate Fast Input/Output (CFIO)
- 3 CFIO im Einsatz**
 - Experimente
 - Vergleich
 - CFIO verglichen mit PnetCDF und PIO
- 4 Schluss

POP Fallstudie

- Ozean-Zirkulationsmodell
- Ursprünglich serielle Phasenstruktur
- Laufzeitmessung verschiedener Varianten

POP Fallstudie: Laufzeitvergleich

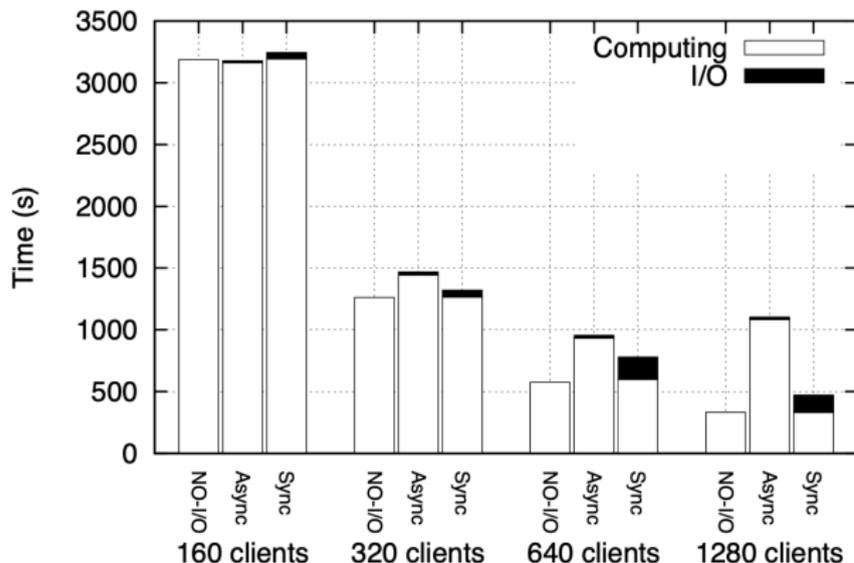
- CFIO deutlich besser als Standard-I/O (Faktor: 7,9)
- Nah an Obergrenze (NO-I/O-Fall)
- Performancesteigerung bei mehr I/O-Prozessen



Experimente

POP Fallstudie: Kommunikationsmethoden im Vergleich

- Synchroner Methode nah am NO-I/O-Fall
- Asynchrone Methode deutlich langsamer
- Bei mehr Rechenprozessen wird Performanceunterschied größer

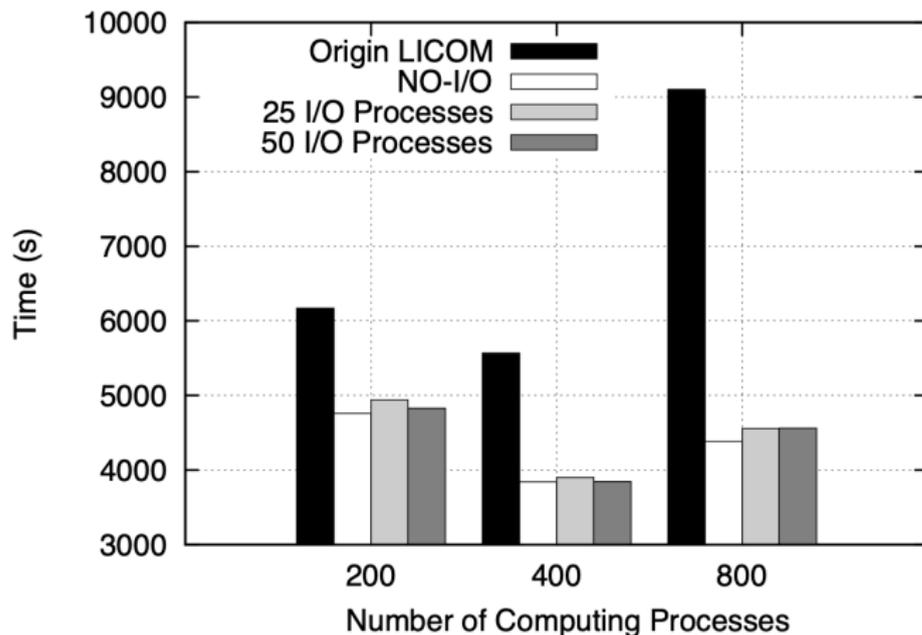


LICOM Fallstudie

- Ozean-Modell
- eingeschränkte Skalierbarkeit

LICOM Fallstudie: Laufzeitvergleich

- Maximaler Beschleunigungsfaktor: 2,07



PnetCDF

- Paralleles I/O-System
- Ermöglicht gleichzeitiges Schreiben auf File-System

CFIO verglichen mit PnetCDF und PIO

PnetCDF

- Paralleles I/O-System
- Ermöglicht gleichzeitiges Schreiben auf File-System

PIO

- Application-Level-Parallel-I/O

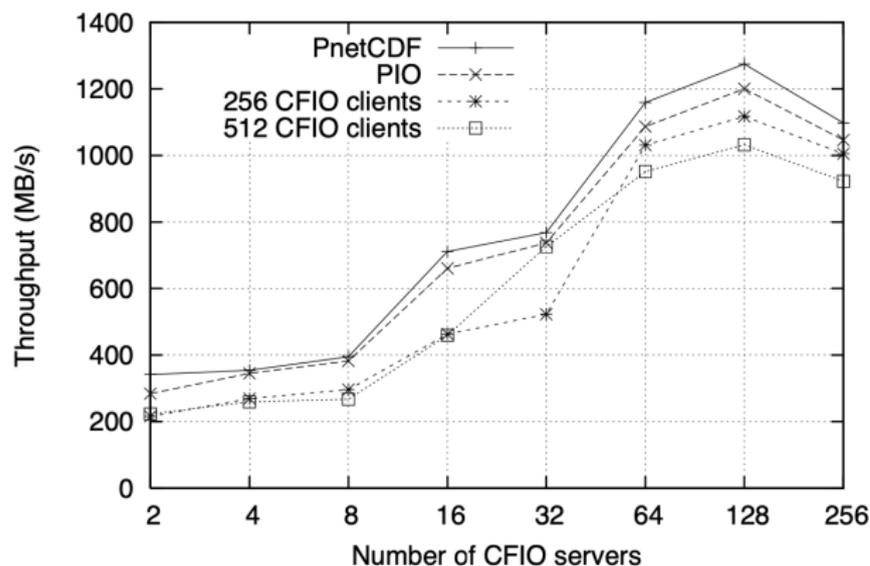
Aufbau

- Zwei Testprogramme
 - ① Messung der Bandbreite beim Schreibprozess
 - ② Simulation typischer I/O-Muster von Klimamodellen
- Alle drei Libraries wurden damit getestet

CFIO verglichen mit PnetCDF und PIO

Programm 1

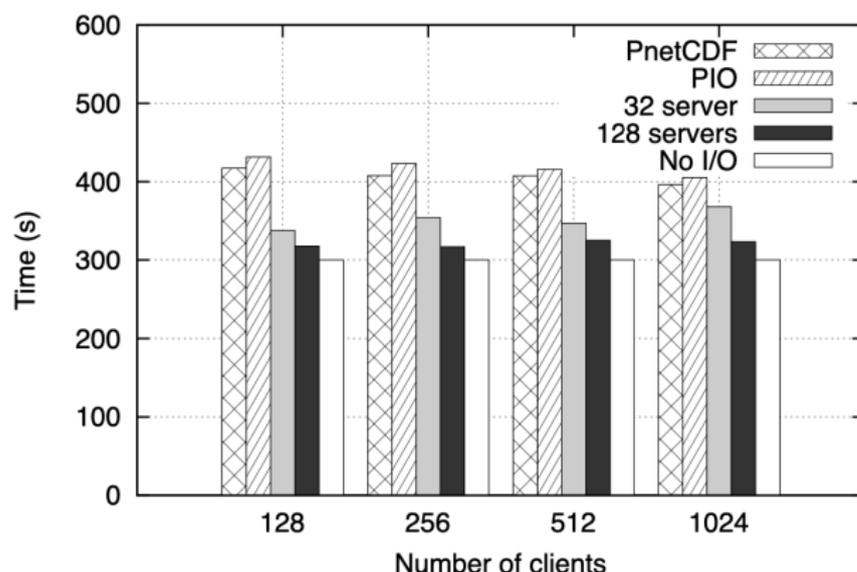
- CFIO mit ca. 10% weniger Bandbreite
- I/O-Forwarding sorgt für Verzögerung



CFIO verglichen mit PnetCDF und PIO

Programm 2

- CFIO verringert I/O-Aufwand
- Deutlich schneller als andere Libraries



- 1 Einführung
- 2 Climate Fast Input/Output (CFIO)
- 3 CFIO im Einsatz
- 4 Schluss**
 - Verwandte Arbeit
 - Zusammenfassung
 - Literatur

Überlappung der Phasen

- Multi-Thread-Mechanismen
- Deutliche Verbesserung der I/O-Performance

Überlappung der Phasen

- Multi-Thread-Mechanismen
- Deutliche Verbesserung der I/O-Performance

Collective Buffering

- Zerlegung der I/O-Operation in zwei Phasen
- Weniger Nodes notwendig
- verhindert Ressourcenkonflikte

I/O-Forwarding

- Wurde bereits oft verwendet
- verringert Auswirkungen von I/O auf Rechenphase

I/O-Forwarding

- Wurde bereits oft verwendet
- verringert Auswirkungen von I/O auf Rechenphase

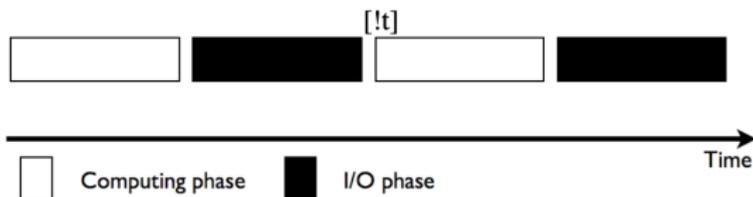
Klimamodelle

- Application Level Parallel I/O (PIO)
- Data-Rearrangement
- Höhere Bandbreite mit weniger Speicherverbrauch
- Phasenüberlappung allerdings nicht möglich

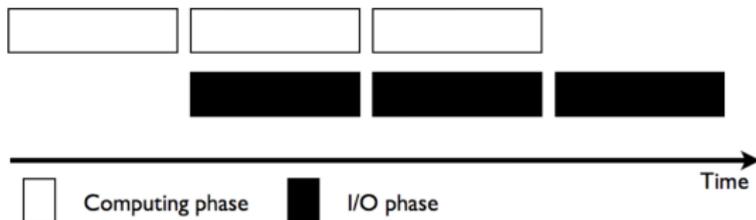
Zusammenfassung

Wesentliche Erkenntnisse

- CFIO: Library mit neuartiger Architektur
- Überlappung von I/O- und Rechenphase



(a) Serial execution of computing and I/O

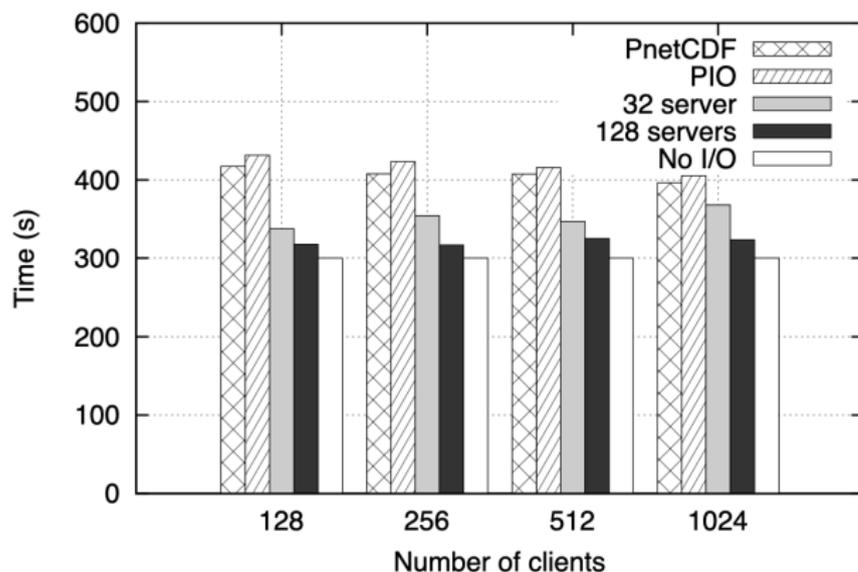


(b) Parallel execution of computing and I/O

Zusammenfassung

Wesentliche Erkenntnisse

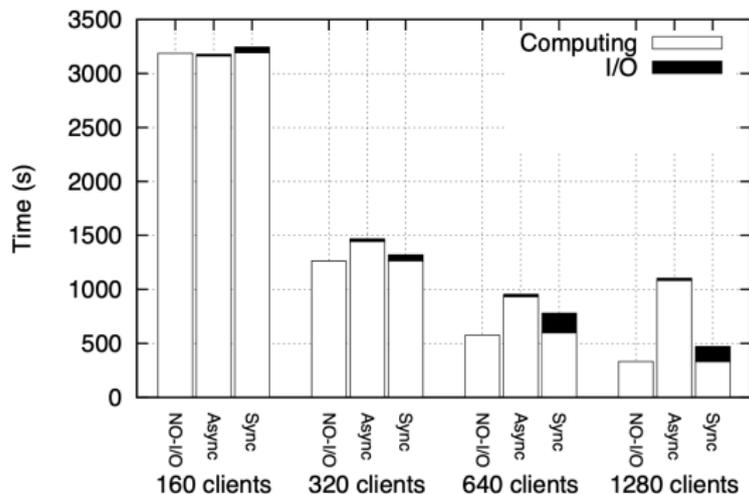
- Schnellere Laufzeit durch geringeren I/O-Aufwand



Zusammenfassung

Wesentliche Erkenntnisse

- Synchroner Kommunikationsmethode effektiver bei vielen Kernen
- Keine Netzressourcenkonflikte



Klimanavigator,

<https://www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/011977/index.php>

(Letzter Zugriff: 20.12.2021)

Puttfarcken, L. So funktioniert Klimamodellierung.,

<https://klimasimulationen.de/modelle/>

(Letzter Zugriff: 20.12.2021)

What are the inputs and outputs for a climate model?,

<http://climatecat.eu/uFAQs/2-what-are-the-inputs-and-outputs-for-a->

(Letzter Zugriff: 03.01.2022)

PnetCDF,

<http://cucis.ece.northwestern.edu/projects/PnetCDF/>

(Letzter Zugriff: 06.01.2022)

IO: What is pio?,

[https://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/cesm/doc/usersguide/x2147.](https://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/cesm/doc/usersguide/x2147)

(Letzter Zugriff: 06.01.2022)