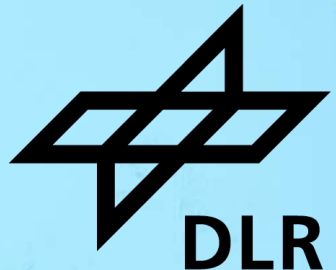


WIRKUNG VON EMISSIONEN IN 30-38 KM HÖHE AUF DIE ATMOSPHERE

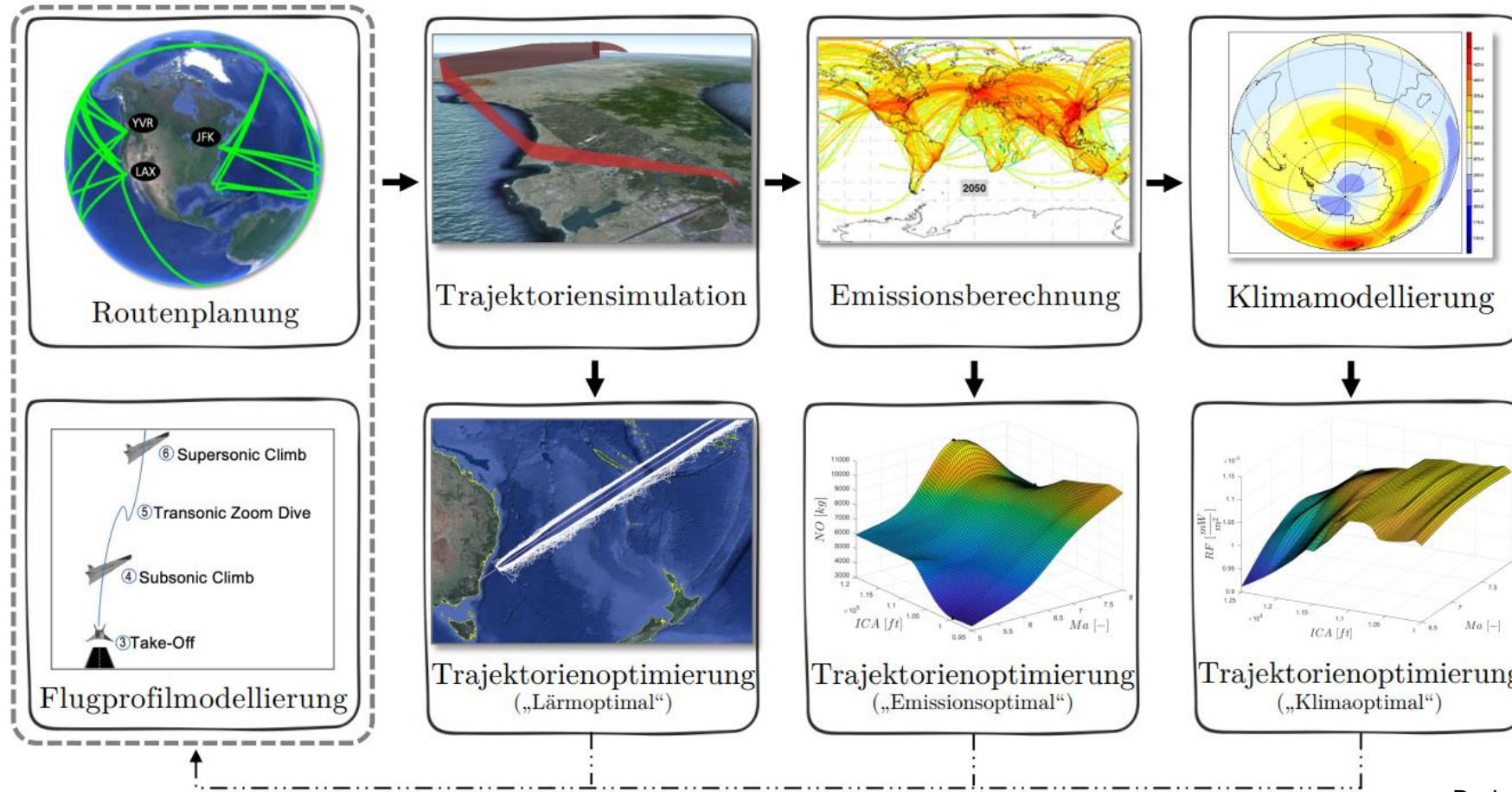
Johannes Pletzer^{1,2}, Volker Grewe^{1,2}

1 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Deutschland

2 Aircraft Noise and Climate Effect, Aerospace Engineering, Delft University of Technology, the Netherlands



Motivation



Entwicklung eines effizienten Modells zur schnellen Berechnung der Klimawirkung mit robusten Ergebnissen

Bodmer & Gollnick, 2023

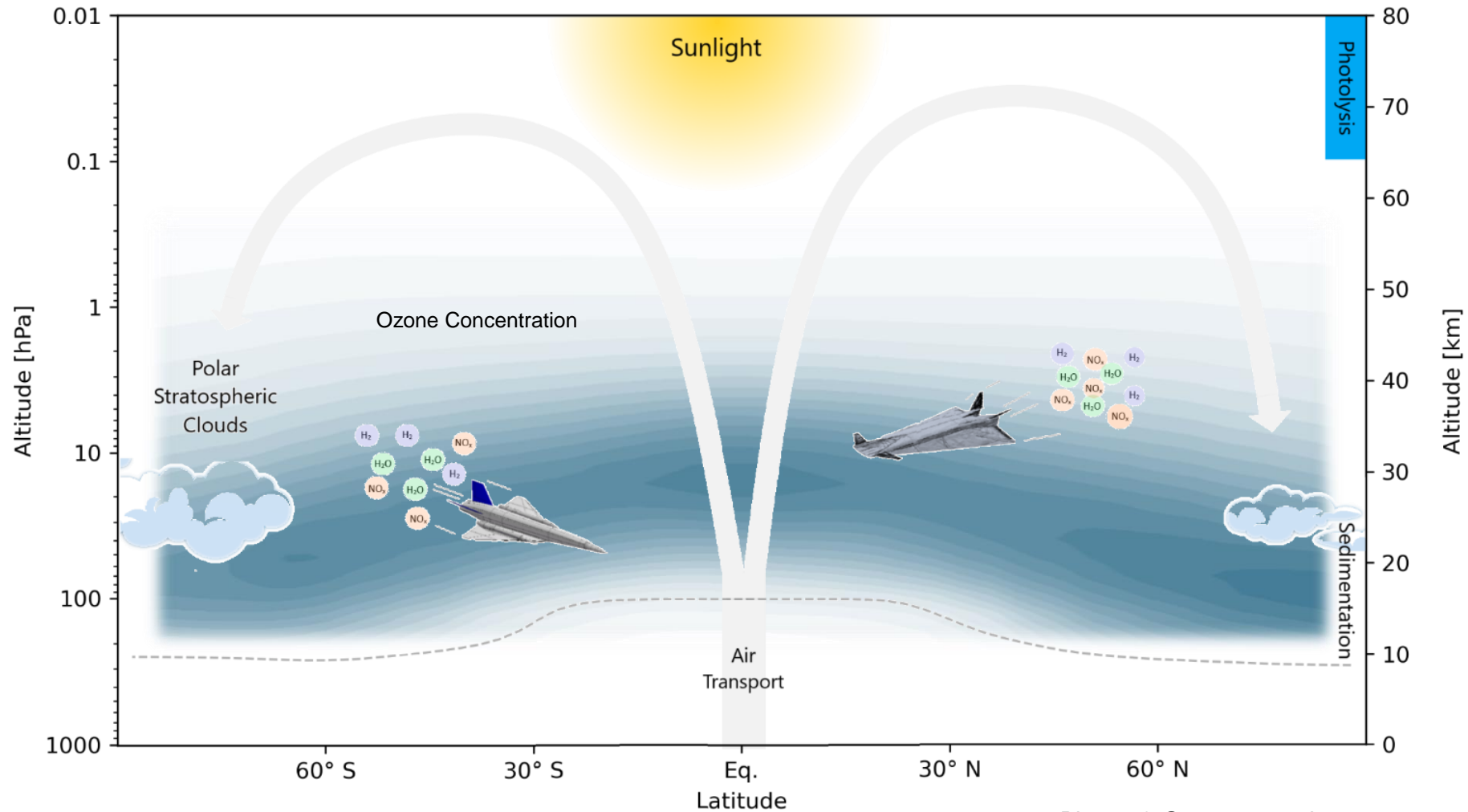
1. Hintergrund
 - Atmosphären Dynamik und Chemie
 - Erdsystem-Model EMAC

2. Atmosphärische Änderungen nach Breitengrad und Höhe der H₂O, NO_x und H₂ Emission
 - Simulation von Emissionsszenarien
 - Ergebnisse der Emissionsszenarien

3. Konzept und Umsetzung eines Reaktions-Models
 - Software
 - Anwendungsbeispiel

4. Zusammenfassung

Schema von Dynamik und Chemie in der Atmosphäre



Pletzer & Grewe, 2023, in prep.

Klimarelevante Treibhausgase in der Atmosphäre

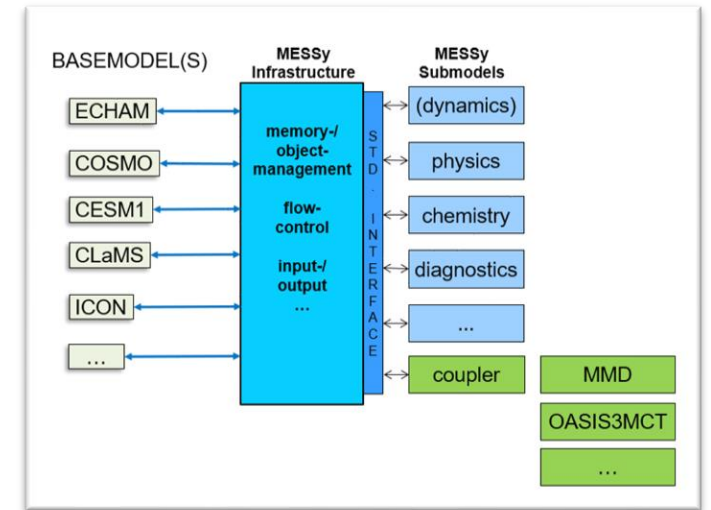
- Ozon
- Wasserdampf
- Methan

Erdsystem-Model EMAC und Methode



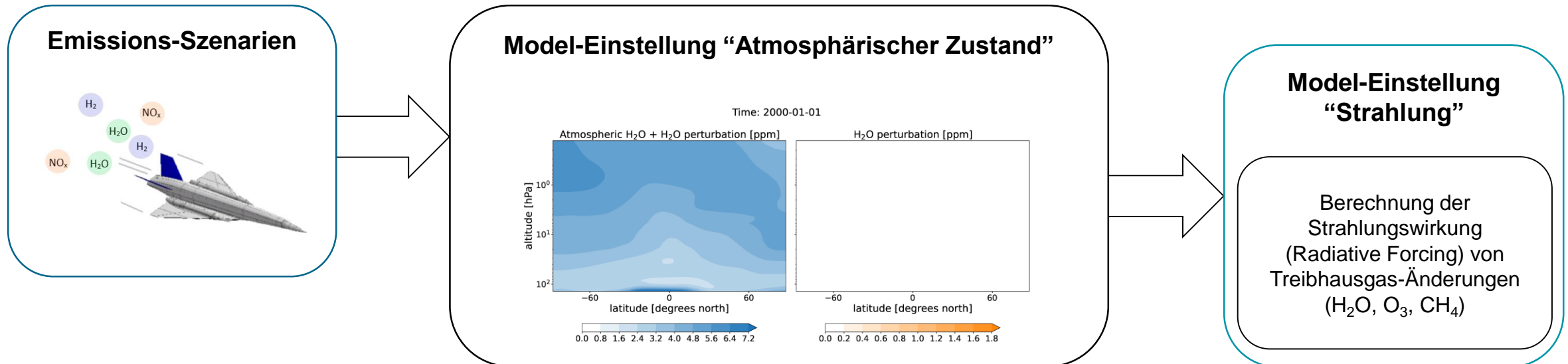
- Zwei Model-Einstellungen: “Atmosphärischer Zustand” und “Strahlung”
- Modelauflösung “T42L90MA” → 200x200 km horizontale Gitterboxgröße
- Simulation der Atmosphäre für 15 Jahre zum Erreichen des atmosphärischen Gleichgewichts und für robuste Ergebnisse

EMAC (ECHAM/MESSy)



Jöckel et al, 2016

[Film auf zenodo.org einsehbar](#)



Model-Läufe

1. Emissionsszenarien

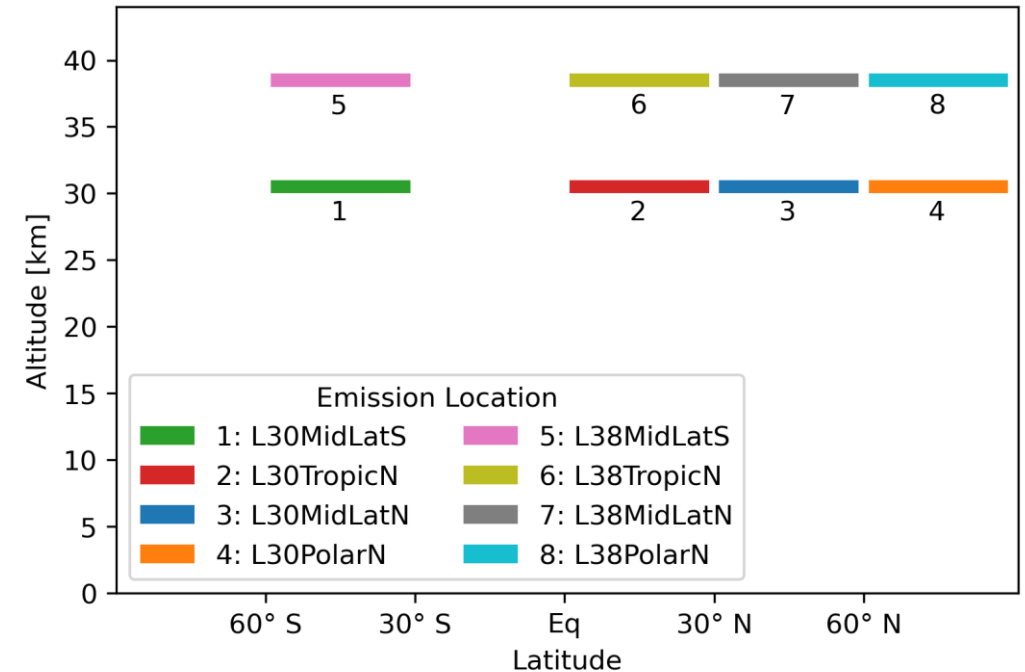
- Drei unabhängig emittierte Spurengase (H_2O , NO_x , H_2)
- Boxemissionen
 - Zwei Emissionshöhen (30 und 38 km)
 - Vier Breitengrade ($60\text{-}30^\circ\text{ S}$, $0\text{-}30^\circ\text{ N}$, $30\text{-}60^\circ\text{ N}$, $60\text{-}90^\circ\text{ N}$)

2. Umfang der Berechnungen

- Simulation von 24 Emissionsszenarien
- Eine Referenzsimulation

3. Ergebnisse

- Treibhausgas-Konzentrationen (CH_4 , H_2O , O_3)
 - Erhöhung oder Abnahme der Treibhausgas-Konzentrationen
- Strahlungswirkung aufgrund dieser Konzentrationsänderungen



Pletzer & Grewe, 2023, in prep.

Tabellen zu Atmosphären- und Klimasensitivitäten

Emission		Sensitivity of Atmospheric Composition Changes to Emission of NO _x , H ₂ O and H ₂												
	Altitude	ΔH ₂ O (above tropopause, WMO)	Unit	ΔO ₃ (Whole Model Domain)	Unit	Δτ _{CH₄} (Whole Model Domain)	Unit							
1 Gmol NO _x	30 km	geschwärtzt					%							
	38 km						%							
1 Tmol H ₂ O	30 km						x 10 ⁻³ %							
	38 km						x 10 ⁻³ %							
1 Tmol H ₂	30 km						x 10 ⁻² %							
	38 km						x 10 ⁻² %							
		Latitude	60-30°S	0-30°N	30-60°N	60-90°N	60-30°S	0-30°N	30-60°N	60-90°N	60-30°S	0-30°N	30-60°N	60-90°N

*** ** *

Emission		Sensitivity of Radiative Forcing caused by Atmospheric Composition Changes to Emission of NO _x , H ₂ O and H ₂												
	Altitude	Δ H ₂ O net RF	Unit	Δ O ₃ net RF	Unit	Δ CH ₄ net RF	Unit							
1 Gmol NO _x	30 km	geschwärtzt					mWm ⁻²							
	38 km						mWm ⁻²							
1 Tmol H ₂ O	30 km						mWm ⁻²							
	38 km						mWm ⁻²							
1 Tmol H ₂	30 km						mWm ⁻²							
	38 km						mWm ⁻²							
		Latitude	60-30°S	0-30°N	30-60°N	60-90°N	60-30°S	0-30°N	30-60°N	60-90°N	60-30°S	0-30°N	30-60°N	60-90°N

*** ** *

Pletzer & Grewe, 2023, in prep.

Simulationen

- 2 Monate Simulationen
- Kondensierte Ergebnisse von > 1000 TB Daten
- 6-12 Monate Datenanalyse

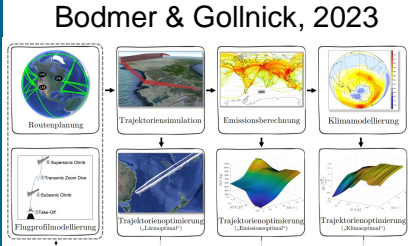
Tabelle

- „Key Performance Indicators“
- Wasserdampf-, Ozon- und Methanänderungen
- Änderung der Strahlungswirkung aufgrund von Treibhausgasänderungen



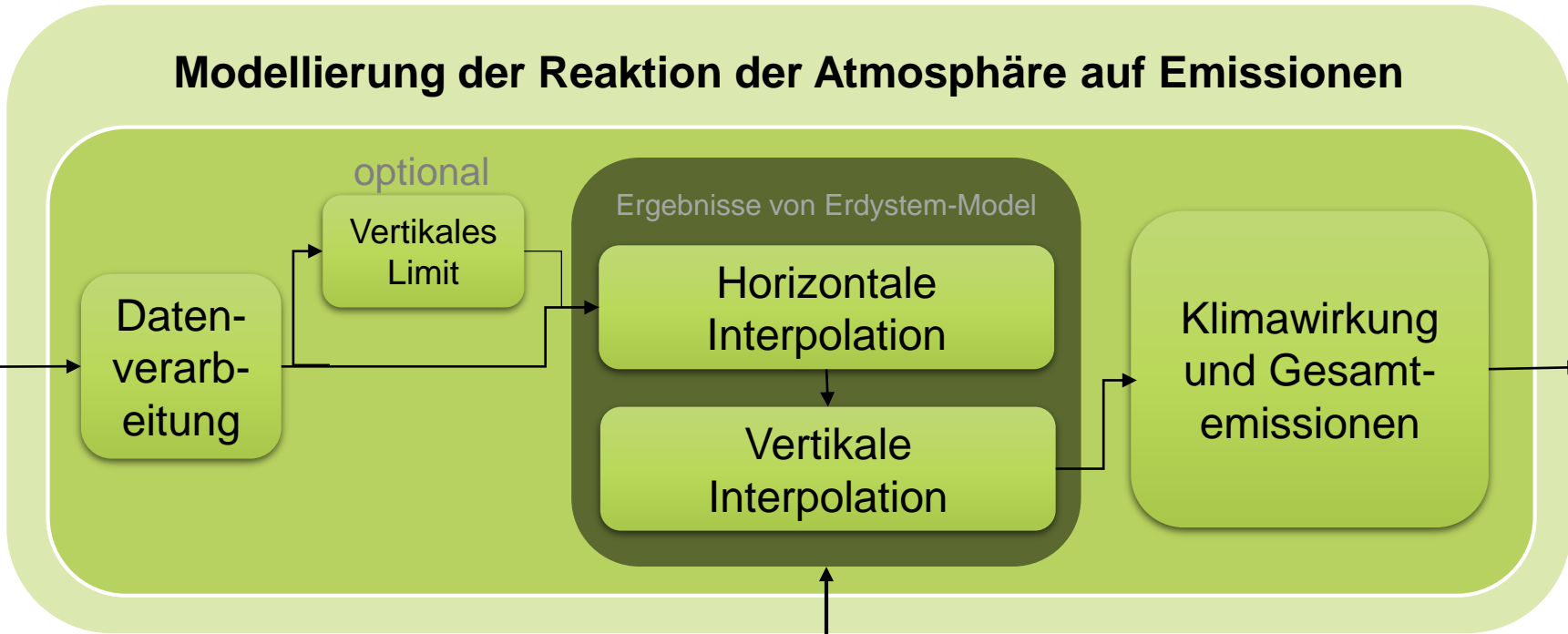
Grundlage der Software

Software: Konzept eines Reaktions-Model



Emissionsoptimiert

Daten
3D Emissionen
H₂O, NO_x, H₂



Tabellen zu Atmosphären- und Klimasensitivitäten

Software `rf_of_hypersonic_trajectories()`

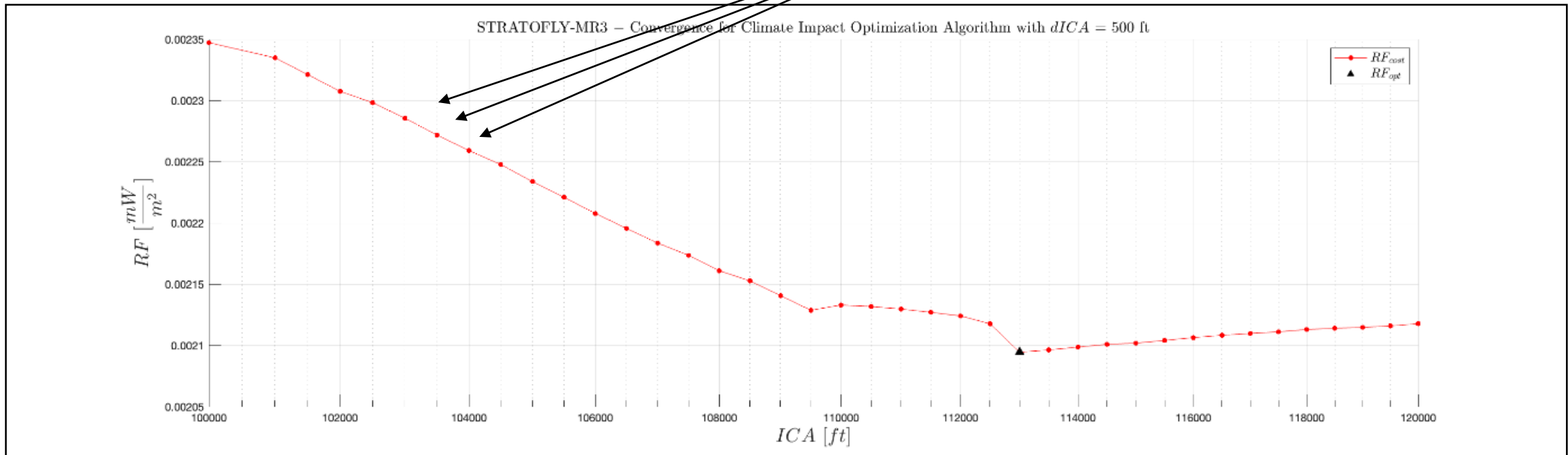
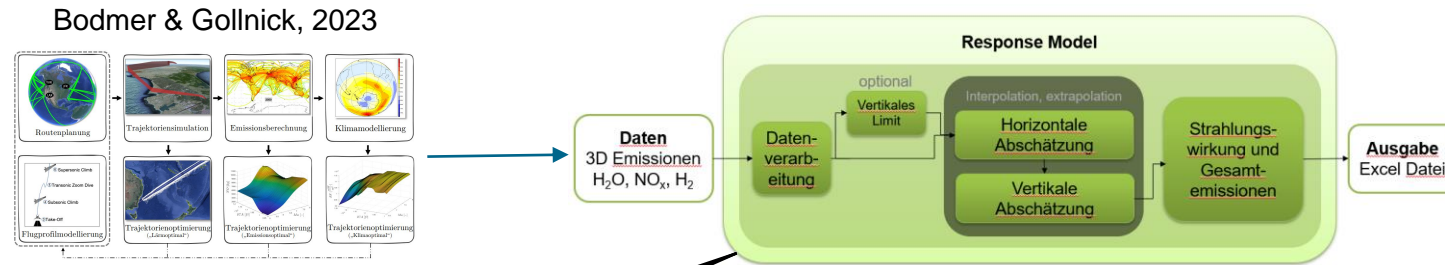


Details

- Python3 Paket
- Vielfache Anwendungsmöglichkeiten (Luftfahrt-, Vulkan-Emissionen)
- Berechnungsdauer von Sekunden, statt Monate
- Apache 2.0 Lizenz
- Entwickelt und versioniert auf GitHub

→ Bei Rückfragen oder Interesse den Autor per Email (Johannes.Pletzer@dlr) kontaktieren.

Anwendung der Software zur Flughöhenoptimierung



Berechnung der Klimawirkung je Flughöhe mit emissionsoptimierten Daten zur Lokalisation eines lokalen Minimums (29-37 km)

- Atmosphärische Prozesse und deren Simulation mit einem Erdsystem-Model
- Atmosphären- und Klimasensitivitäten von H_2O , NO_x und H_2 Emissionen
 - Abhängig von Breitengrad und Höhe (30-38 km) der Emissionen
 - Robuste, kondensierte Ergebnisse berechnet mit einem komplexen Erdsystem-Model
- Reaktions-Model `rf_of_hypersonic_trajectories()`
 - Berechnung innerhalb weniger Sekunden
 - Optimierung der Flughöhe von innovativen Flugzeug-Modellen (Anwendungsbeispiel)

- *Bodmer & Gollnick*, 'Klimaoptimierter Hyperschall-Flugbetrieb auf Missions- und Flottenebene', Präsentation, DGLR-Workshop zum Thema Missionsführung, Bahnführung und Bahnplanung für innovative Luftfahrtanwendungen, 23.-24. Mai 2023, Manching, Deutschland.
- Jöckel *et al.*, 'Earth System Chemistry integrated Modelling (ESCiMo) with the Modular Earth Submodel System (MESSy) version 2.51', *Geosci. Model Dev.*, vol. 9, no. 3, pp. 1153–1200, Mar. 2016, doi: [10.5194/gmd-9-1153-2016](https://doi.org/10.5194/gmd-9-1153-2016).
- *Pletzer, Hauglustaine, Cohen, Jöckel, and Grewe*, 'The climate impact of hydrogen-powered hypersonic transport', *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 22, no. 21, pp. 14323–14354, Nov. 2022, doi: [10.5194/acp-22-14323-2022](https://doi.org/10.5194/acp-22-14323-2022).
- *Pletzer & Grewe*, 'Sensitivities of atmospheric composition and climate to altitude and latitude of hypersonic aircraft emissions', *Atmospheric Chemistry and Physics*, in preparation.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

