

Universität Bremen  
Fachbereich 1  
Physik / Elektrotechnik



# **Constraining uncertainties in multi-model projections of future climate with observations**

## **Dissertation**

*Author:*

Manuel Schlund

*Supervisors:*

Prof. Dr. Veronika Eyring

Prof. Dr. Pierre Gentine

*This thesis is submitted for the degree  
Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)*

April 2021



# Abstract (English version)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor augue. Eros donec ac odio tempor orci dapibus. Ultrices neque ornare aenean euismod elementum nisi. Vivamus arcu felis bibendum ut tristique et egestas quis ipsum. Elit ut aliquam purus sit amet luctus. Et malesuada fames ac turpis egestas sed. Egestas dui id ornare arcu odio ut sem nulla pharetra. Porta lorem mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Ultricies tristique nulla aliquet enim. Urna nunc id cursus metus aliquam. Faucibus a pellentesque sit amet porttitor. Tincidunt ornare massa eget egestas purus. Venenatis tellus in metus vulputate eu scelerisque felis imperdiet. Posuere urna nec tincidunt praesent. Risus pretium quam vulputate dignissim suspendisse in.

Aliquam id diam maecenas ultricies mi eget. Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean euismod. Vitae suscipit tellus mauris a diam maecenas. Massa massa ultricies mi quis hendrerit. Tincidunt eget nullam non nisi est sit amet. Vitae purus faucibus ornare suspendisse sed nisi. Enim sit amet venenatis urna. Malesuada fames ac turpis egestas. Viverra nam libero justo laoreet sit amet. Ornare massa eget egestas purus viverra accumsan in nisl nisi. Ac feugiat sed lectus vestibulum mattis.



# Abstract (German version)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor augue. Eros donec ac odio tempor orci dapibus. Ultrices neque ornare aenean euismod elementum nisi. Vivamus arcu felis bibendum ut tristique et egestas quis ipsum. Elit ut aliquam purus sit amet luctus. Et malesuada fames ac turpis egestas sed. Egestas dui id ornare arcu odio ut sem nulla pharetra. Porta lorem mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Ultricies tristique nulla aliquet enim. Urna nunc id cursus metus aliquam. Faucibus a pellentesque sit amet porttitor. Tincidunt ornare massa eget egestas purus. Venenatis tellus in metus vulputate eu scelerisque felis imperdiet. Posuere urna nec tincidunt praesent. Risus pretium quam vulputate dignissim suspendisse in.

Aliquam id diam maecenas ultricies mi eget. Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean euismod. Vitae suscipit tellus mauris a diam maecenas. Massa massa ultricies mi quis hendrerit. Tincidunt eget nullam non nisi est sit amet. Vitae purus faucibus ornare suspendisse sed nisi. Enim sit amet venenatis urna. Malesuada fames ac turpis egestas. Viverra nam libero justo laoreet sit amet. Ornare massa eget egestas purus viverra accumsan in nisl nisi. Ac feugiat sed lectus vestibulum mattis.



# Contents

List of Figures	ix
List of Tables	xi
1. Introduction	1
Appendix	3
A. Circle of fifths metric: Proof of the metric properties . . . . .	3
B. Source code . . . . .	3
References	5
Statutory Declaration	7





# List of Figures



# List of Tables



# 1. Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor augue. Eros donec ac odio tempor orci dapibus. Ultrices neque ornare aenean euismod elementum nisi. Vivamus arcu felis bibendum ut tristique et egestas quis ipsum. Elit ut aliquam purus sit amet luctus. Et malesuada fames ac turpis egestas sed. Egestas dui id ornare arcu odio ut sem nulla pharetra. Porta lorem mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Ultricies tristique nulla aliquet enim. Urna nunc id cursus metus aliquam. Faucibus a pellentesque sit amet porttitor. Tincidunt ornare massa eget egestas purus. Venenatis tellus in metus vulputate eu scelerisque felis imperdiet. Posuere urna nec tincidunt praesent. Risus pretium quam vulputate dignissim suspendisse in.

Aliquam id diam maecenas ultricies mi eget. Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean euismod. Vitae suscipit tellus mauris a diam maecenas. Massa massa ultricies mi quis hendrerit. Tincidunt eget nullam non nisi est sit amet. Vitae purus faucibus ornare suspendisse sed nisi. Enim sit amet venenatis urna. Malesuada fames ac turpis egestas. Viverra nam libero justo laoreet sit amet. Ornare massa eget egestas purus viverra accumsan in nisl nisi. Ac feugiat sed lectus vestibulum mattis.

(Schlund, Eyring, et al. [2020](#)) (Schlund, Lauer, et al. [2020](#))



# Appendix

## A. Circle of fifths metric: Proof of the metric properties

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor augue. Eros donec ac odio tempor orci dapibus. Ultrices neque ornare aenean euismod elementum nisi. Vivamus arcu felis bibendum ut tristique et egestas quis ipsum. Elit ut aliquam purus sit amet luctus. Et malesuada fames ac turpis egestas sed. Egestas dui id ornare arcu odio ut sem nulla pharetra. Porta lorem mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Ultricies tristique nulla aliquet enim. Urna nunc id cursus metus aliquam. Faucibus a pellentesque sit amet porttitor. Tincidunt ornare massa eget egestas purus. Venenatis tellus in metus vulputate eu scelerisque felis imperdiet. Posuere urna nec tincidunt praesent. Risus pretium quam vulputate dignissim suspendisse in.

## B. Source code

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Hendrerit gravida rutrum quisque non tellus orci ac auctor augue. Eros donec ac odio tempor orci dapibus. Ultrices neque ornare aenean euismod elementum nisi. Vivamus arcu felis bibendum ut tristique et egestas quis ipsum. Elit ut aliquam purus sit amet luctus. Et malesuada fames ac turpis egestas sed. Egestas dui id ornare arcu odio ut sem nulla pharetra. Porta lorem mollis aliquam ut porttitor leo a diam. Ultricies

tristique nulla aliquet enim. Urna nunc id cursus metus aliquam. Faucibus a  
pellentesque sit amet porttitor. Tincidunt ornare massa eget egestas purus. Ve-  
nenatis tellus in metus vulputate eu scelerisque felis imperdiet. Posuere urna  
nec tincidunt praesent. Risus pretium quam vulputate dignissim suspendisse  
in.



# References

- Schlund, M., V. Eyring, G. Camps-Valls, P. Friedlingstein, P. Gentine, and M. Reichstein (2020). “Constraining uncertainty in projected gross primary production with machine learning”. In: *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 125, e2019JG005619.
- Schlund, M., A. Lauer, P. Gentine, S. C. Sherwood, and V. Eyring (2020). “Emergent constraints on Equilibrium Climate Sensitivity in CMIP5: do they hold for CMIP6?” In: *Earth System Dynamics Discussions* 2020, pp. 1–40.



# Statutory Declaration

I assure that this thesis is a result of my personal work and that no other than the indicated aids have been used for its completion. Furthermore I assure that all quotations and statements that have been inferred literally or in a general manner from published or unpublished writings are marked as such. Beyond this I assure that the work has not been used, neither completely nor in parts, to pass any previous examination.

Oberpfaffenhofen, April 2021

---

Manuel Schlund