



POTSDAM-INSTITUT FÜR  
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

*Leibniz*  
Leibniz  
Gemeinschaft

# Sachbericht 2021







## Highlights

- 6 Beispielloser Anstieg von Hitzerekorden und Extremregen
- 8 Energiewende in Deutschland und Europa
- 10 „International führend“ – Sachverständige evaluieren das PIK
- 12 Aus der Forschung
- 14 Neues von den PIK-Modellen
- 15 Erfolg in Ratings
- 16 Ehrungen und Berufungen
- 17 Berlin und Brandenburg
- 18 Wirken in die Gesellschaft
- 20 Wissenschaftliche Politikberatung
- 22 Medienresonanz

## Das PIK in Zahlen

- 24 Finanzierung · Beschäftigungszahlen · Publikationen  
PIK in den Medien · Vorträge, Lehre und Veranstaltungen  
Wissenschaftlicher Nachwuchs

## Forschungsabteilungen

- 26 Forschungsabteilung 1 – Erdsystemanalyse
- 32 Forschungsabteilung 2 – Klimaresilienz
- 38 Forschungsabteilung 3 – Transformationspfade
- 44 Forschungsabteilung 4 – Komplexitätsforschung

## 50 FutureLabs

## Anhang

- 53 Organigramm
- 54 Kuratorium und Wissenschaftlicher Beirat
- 55 Auszeichnungen und Ernennungen
- 57 Berufungen, Habilitationen und Stipendien
- 58 Drittmittelprojekte
- 61 Veröffentlichungen 2021
- 82 Impressum

Haus im Wald: Seit 2015 arbeiten in diesem modernen, energieeffizienten Neubau mehr als 200 Forschende auf vier Etagen. Das Gebäude, dessen Grundriss einem Kleeblatt ähnelt, beherbergt auch den PIK Super-Computer, der zum Zeitpunkt seiner Installation zu den damals 400 schnellsten Hochleistungsrechnern weltweit gehört. Mit der Abwärme des Super-Computers kann der gesamte Forschungsneubau beheizt werden – zusätzliche Wärme wird nicht benötigt. Die Fassade des Neubaus aus geflämmt Lärche nimmt die Farbtöne der umgebenden Bäume auf und fügt das Gebäude harmonisch in den Wald ein.

# We've moved from a small world on a big planet to a big world on a small planet.

Johan Rockström

Das Jahr 2021 erscheint in Anbetracht der derzeitigen weltpolitischen Situation schon weit entfernt. Wir lassen es hier dennoch Revue passieren, denn es war für das PIK ein sehr ereignisreiches Jahr. Ereignisreich auf ganz unterschiedlichen Ebenen.

Nach knapp einjähriger, intensiver Vorbereitung fand im Mai 2021 die Evaluierung des Instituts durch eine Sachverständigenkommission im Auftrag des Senats der Leibniz-Gemeinschaft statt – nur alle sieben Jahre gibt es diese Gelegenheit. Wie das gesamte Institutsleben war auch die Begutachtung maßgeblich von der Corona-Pandemie beeinflusst. Statt der geplanten ausführlichen und persönlichen Gespräche mit den internationalen Expertinnen und Experten in Potsdam war nur ein sehr eingeschränkter Online-Austausch möglich.

Deshalb freuen wir uns umso mehr, dass die Evaluierung für das Institut dennoch sehr erfolgreich verlaufen ist. In der Stellungnahme des Senats der Leibniz-Gemeinschaft

werden dem PIK gleichermaßen exzellente Forschungsergebnisse von herausragender Qualität wie auch eine stark nachgefragte Politikberatung bescheinigt. Auch die große internationale Sichtbarkeit des Institutes wird hervorgehoben. Dieses Ergebnis verdanken wir vor allem dem Engagement und der hervorragenden Arbeit unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Wir freuen uns, dass dies durch die Evaluierungskommission entsprechend gewürdigt wurde.

Der Sommer brachte leider Extremwetterereignisse wie etwa das verheerende Hochwasser im Ahrtal, durch die der mediale und gesellschaftliche Blick auf Klimafolgen gelenkt wurde und damit auf das PIK. Dies setzte sich im Herbst fort, als sowohl die Bundestagswahlen selbst als auch die folgenden Koalitionsverhandlungen maßgeblich von den Themen Energiewende und CO<sub>2</sub>-Bepreisung bestimmt wurden. So waren die Forscherinnen und Forscher sowie die Presseabteilung stark im Einsatz, um die vielfältigen Anfragen zu bearbeiten. Das PIK brachte sowohl auf nationaler als auch



auf europäischer Ebene evidenzbasierte Beratung in vielfältige politische Entscheidungsfindungen ein; international auch beim Weltklimagipfel COP26 in Glasgow am Ende des Jahres.

Glanz ganz unerwarteter Art bescherte uns die Verleihung des Nobelpreises an Professor Klaus Hasselmann, einem der Gründer der modernen Klimawissenschaft. Über die Ehrung dieses langjährigen Weggefährten haben wir uns sehr gefreut, gehörte er doch zu den Initiatoren, die sich Anfang der 1990er Jahre für die Schaffung unseres Instituts


eingesetzt haben. So ist ihm das PIK heute immer noch sehr verbunden.

Tatsächlich begeht das PIK im Jahr 2022 sein 30-jähriges Jubiläum. Wer hätte gedacht, dass sich aus der anfänglich exotisch anmutenden Idee eines Instituts für Klimafolgenforschung eine wissenschaftliche Einrichtung entwickeln würde, deren Ruf weit über die nationalen und europäischen Grenzen hinaus in alle Welt trägt? Die Zahlen in diesem Sachbericht zeigen es: Mehr als je zuvor in drei Jahrzehnten ist die Arbeit des PIK gefragt.

**Professor Ottmar Edenhofer**  
Direktor

**Professor Johan Rockström**  
Direktor

**Dr. Bettina Hörstrup**  
Administrative Direktorin



Bei Waldbränden und Buschfeuern kommen stets mehrere Faktoren zusammen → aber die globale Erwärmung lässt die Risiken steigen. 2021 gab es gefährlich große Feuer in Kalifornien und im Mittelmeerraum, etwa in Griechenland.

# Beispielloser Anstieg von Hitzerekorden und Extremregen

Foto: © Ylvers / Pixabay.com

Was nach den deutschen Dürresommern der letzten Jahre und den verheerenden Fluten als Folge extremer Niederschläge 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz in der Öffentlichkeit immer mehr diskutiert wird, konnte in neuen Studien mit Autoren und Autorinnen des Potsdam-Instituts auf eindrucksvolle Weise belegt werden – Wetterextreme nehmen zu. Beobachtungsdaten erhärten heute, was die Klimaforschung in der Vergangenheit an Szenarien entwickelt hat. Und Projektionen für die Zukunft zeigen, dass mit einer weiteren Zunahme zu rechnen ist, jedenfalls wenn die Erderwärmung nicht rasch wirkungsvoll begrenzt wird.

Die Häufigkeit monatlicher Hitzerekorde hat in den letzten zehn Jahren um das 90-fache zugenommen, im Vergleich zu 1951–1980, wie ein Team um Stefan Rahmstorf vom PIK zeigen konnte. Gleiches gilt für Regenextreme; im Durchschnitt kann einer von vier rekordhohen Tagesniederschlägen im letzten Jahrzehnt auf den Klimawandel zurückgeführt werden. Noch stärker ist die Veränderung bei besonders starken Wetterextremen, sogenannten 4-Sigma-Ereignissen, bei denen eine Zunahme um das 1000-fache im Vergleich zum Referenzzeitraum beobachtet wurde. Die scheinbar geringe Erwärmung in den letzten zehn Jahren von nur 0,25°C hat also die Klimaextreme bereits erheblich zunehmen lassen – Tendenz steigend.

## Kinder von heute werden zwei- bis siebenmal mehr Extreme erleben wie ihre Großeltern

Entsprechend werden die Kinder von heute über ihre Lebenszeit hinweg viel stärker von Klimaextremen betroffen sein als ihre Eltern und Großeltern, wie Forschende des PIK zusammen mit internationalen Kolleginnen und Kollegen in einer Veröffentlichung in der weltweit wichtigsten wissenschaftlichen Zeitschrift *Science* zeigen konnten. Bleibt es bei den derzeitigen ungenügenden Zusagen der Regierungen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, so wie sie auf dem Weltklimagipfel COP26 in Glasgow zur Diskussion standen, wurde ein Kind, das im Jahr 2021 geboren wird, im Laufe seines Lebens durchschnittlich doppelt so viele Waldbrände, zwei- bis dreimal so viele Dürren, fast dreimal so viele Flussüberschwemmungen und Ernteausfälle sowie siebenmal mehr Hitzewellen erleben als jemand, die oder der heute 60 Jahre alt ist.

Diese Ergebnisse wurden öffentlich stark beachtet und auch in der Politik aufgegriffen, etwa in einer Rede des britischen Regierungschefs Boris Johnson. Medien weltweit berichteten. Möglich wurde die Studie durch jahrelange Aufbauarbeit im Hintergrund – das PIK koordiniert unter der Leitung von Katja Frieler das Inter-Sectoral Impacts Modelling Intercomparison Project, kurz ISIMIP. Dieses zielt dar-

auf ab, quer durch die Sektoren wie etwa Wasserkreisläufe oder Landwirtschaft unterschiedliche Computersimulationen zu Klimafolgen, die so genannten Modelle, miteinander zu vergleichen. Dadurch werden deren Ergebnisse robuster. Beteiligt sind mittlerweile bis zu 100 Modellierungsgruppen aus Instituten und Universitäten weltweit.

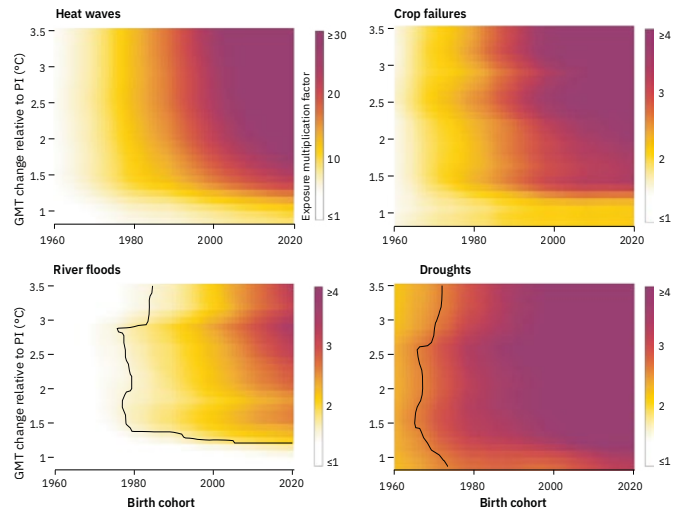
### Klimafolgen für die Gesundheit: Bundesärztekammer tritt mit PIK auf

Das Thema Hitzewellen greift auch der im Oktober von der wichtigsten internationalen medizinwissenschaftlichen Zeitschrift veröffentlichte *Lancet Countdown on Health and Climate Change* auf. Der Policy Brief für Deutschland – der gemeinsam von Expertinnen und Experten von Bundesärztekammer, Charité – Universitätsmedizin Berlin, dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und dem Helmholtz Zentrum München jährlich erstellt wird – weist darauf hin, dass nur wenige Kommunen bisher über umfassende Hitzeaktionspläne verfügen. Und wo es welche gibt, werden sie vielfach nicht umgesetzt.

Zentral für die Forschung zu Klima und Gesundheit am PIK ist Sabine Gabrysch. Wetterextreme sind nur ein Aspekt der Klimarisiken für die Gesundheit, wichtig sind auch die Auswirkungen der Erwärmung auf die Nahrungsmittelproduktion – Ernährung ist für die menschliche Gesundheit von fundamentaler Bedeutung.

### Atlantische Umwälzströmung so schwach wie nie zuvor in 1000 Jahren

Ebenfalls große öffentliche Aufmerksamkeit fanden gleich zwei Studien des PIK zur Atlantischen Umwälzströmung, zu der auch der Golfstrom gehört. Mit unterschiedlichen Methoden und mit Blick auf unterschiedliche Zeiträume zeigen



*Düstere Aussichten: Je dunkler die Farbe, desto stärker werden die Menschen Extremen ausgesetzt sein. Auf der senkrechten Achse ist die zunehmende globale Mitteltemperatur verzeichnet, zu verstehen als Szenarien für die Zukunft, auf der waagerechten Achse die Geburtsjahrgänge. (Abb. aus Wim Thiery, et al., (2021): Intergenerational inequities in exposure to climate extremes. Science [DOI:10.1126/science.abi7339])*

beide Veröffentlichungen, dass die für das weltweite Klimasystem so wichtige Meeresströmung geschwächt ist. Die eine Studie zeigt auf der Grundlage von Daten aus Ozeansedimenten und Eisbohrkernen, dass die Strömung heute so schwach ist wie nie zuvor in den vergangenen 1000 Jahren. Die andere deutet jüngere Muster in Wassertemperaturen und Salzgehaltmessungen so, dass die Umwälzströmung sich einem kritischen Schwellenwert nähern könnte. Die Zusammenhänge sind komplex, aber ein Faktor ist die globale Erwärmung.

Eine weitere Abschwächung des Strömungssystems könnte schwerwiegende Folgen für die Menschen auf beiden Seiten des Ozeans haben. Und dazu gehören auch hier wieder: Wetterextreme.



Einer von vier rekordhohen Tagesniederschlägen kann inzwischen direkt auf den Klimawandel zurückgeführt werden. Auch in Deutschland kam es zu verheerenden Überschwemmungen.

Foto: © distelAPPArath / Pixabay.com

# Energiewende in Deutschland und Europa

Klimaschutz war einer der zentralen Punkte im Bundestagswahlkampf 2021, sämtliche demokratischen Parteien machten ihn zum Thema. Zugleich stellte die Europäische Kommission ihr Politikpaket „Fit for 55“ vor. Alle bezogen sich dabei auf die Klimaforschung – die ihrerseits neue Pfade aufzeigte.

Während über das Ziel der Treibhausgasminde rung weitgehend Einigkeit herrscht, sind die Wege zu diesem Ziel in der Politik noch vielfach unklar. Nachdem die Naturwissenschaft die Risiken ungebremsten Klimawandels deutlich gemacht hat, sind deshalb nun sehr stark die Sozialwissenschaften gefragt: Wie soll der Umbau zur Klimaneutralität gelingen?

## Ariadne-Szenarienreport zur Energiewende

Das PIK leitet hierzu das große vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Kopernikus-Projekt Ariadne. Ziel des auf drei Jahre angelegten Projektes ist es, die Wirkung verschiedener Politikinstrumente besser zu verstehen, um gesellschaftlich tragfähige Strategien für die Energiewende entwickeln zu können. Mit einer Förderung von insgesamt 30 Millionen Euro und mehr als 25 beteiligten Institutionen gehört das Projekt zu den größten deutschen Forschungsinitiativen zum

Thema. Von Beginn an werden Entscheider und Entscheiderinnen aus der Politik und der Wirtschaft sowie Bürgerinnen und Bürger über einen groß angelegten Dialogprozess eingebunden. Erkenntnisse und Ergebnisse werden kontinuierlich über die gesamte Laufzeit auf der Projektseite <https://ariadneprojekt.de/> bereitgestellt.

Inzwischen hat das Konsortium mehr als 20 Berichte veröffentlicht, vom sektoralen Blick über Industrie, Gebäude oder Verkehr bis hin zur Rolle von Erneuerbaren Energien, Wasserstoff & E-Fuels und der Systemperspektive auf das große Ganze, von der nationalen Perspektive bis hin zum EU Green Deal. Erstmals hat Ariadne in einer richtungsweisenden Veröffentlichung Transformationspfade zur Klimaneutralität 2045 im umfassenden Modellvergleich vorgelegt. Der Ariadne Szenarienreport „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“ basiert auf zehn Modellen für sechs Szenarien zeigt auf, wie der beispiellose Strukturwandel über



alle Sektoren hinweg gelingen kann. Mehr als 60 Forschende aus mehr als 10 Instituten waren beteiligt, darunter neben dem PIK zum Beispiel Fraunhofer-Institute des CINES-Verbunds oder das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt.



Der damalige Bundesfinanzminister und heutige Kanzler Olaf Scholz (rechts) besuchte im Sommer das PIK für ein Gespräch mit dem Ökonom Ottmar Edenhofer (links). Foto: © Marlene Gawrisch



Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier (links) ließ sich von der Physikerin Ricarda Winkelmann (ganz rechts) über das Gelände führen. Foto: © Bundesregierung / Henning Schacht





## PIK und RWI schlagen eine soziale Kompensation der CO<sub>2</sub>-Bepreisung vor: zunächst über Stromabgaben, später als Pro-Kopf-Zahlungen.

Die Ergebnisse stießen auch in der Politik auf starke Resonanz. Auch in den vom neuen Bundesministerium für Wirtschaft und Klima zu Beginn der Legislaturperiode genannten Zahlen etwa zum nötigen Ausbau der erneuerbaren Energien spiegeln sich die Ergebnisse des Ariadne-Szenarienreports wider.

### CO<sub>2</sub>-Preis: Expertise für die Politik, vom Finanzminister bis zum Staatsoberhaupt

Eines der effektivsten Politikinstrumente ist aus klima-ökonomischer Perspektive die CO<sub>2</sub>-Bepreisung. Angesichts steigender Energiepreise stellt sich hier rasch auch die Frage der Sozialverträglichkeit. Damit diese Diskussion fundiert geführt werden kann, hat das PIK zusammen mit dem RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung – eine neue Analyse vorgestellt. Auf der Grundlage ihrer Berechnungen plädieren die Forschenden dafür, dass die Bepreisung ergänzt werden muss durch einen breit angelegten Ausgleichsmechanismus, damit einkommensschwache Haushalte nicht überproportional belastet werden.

Zu diesen Themen informierten Forschende um den PIK-Direktor und Ökonomen Ottmar Edenhofer auch den damaligen Bundesfinanzminister, inzwischen Bundeskanzler, Olaf Scholz. Dieser besuchte im Sommer 2021 das PIK. Auch Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier kam mit nicht weniger als fünf Amtskollegen – den Staatsoberhäuptern von Österreich, Belgien, Schweiz, Liechtenstein und Luxemburg – auf den Telegraphenberg, um hier eine Arbeitssitzung zum Schwerpunktthema Klimapolitik abzuhalten.

Damit die öffentliche Diskussion über diese Themen differenziert und faktenbasiert verläuft, hat das PIK seine Expertise etwa auch den Nachrichtenredaktionen von ARD und ZDF zur Verfügung gestellt. Bei zwei Hintergrund-Briefings waren hochrangige Journalistinnen und Journalisten dabei – also diejenigen, von denen die Politikerinnen und Politiker zu den oft komplexen Themen der Klimapolitik interviewen, die selbst aber keine Fachberichterstatler sind. Das eine Gespräch fand vor der Wahl statt, das andere nach Vorliegen des Koalitionsvertrages.

### Unterstützung für die europäische Klimapolitik

Von entscheidender Bedeutung für die wirkungsvolle Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen ist die europäische Ebene – Europa ist als eine der größten Wirtschaftsmächte weltweit nicht für nur viele Emissionen verantwortlich, sondern kann auch Vorbildfunktion für andere haben. Forschende des PIK haben in vielfacher Weise Expertise für die europäische Politik bereit gestellt: In persönlichen Gesprächen, in öffentlichen Debatten etwa mit dem Brüsseler Think-Tank Bruegel, und in Studien. So konnte eine gemeinsame Veröffentlichung von PIK und dem Mercator Research Institute for Global Commons and Climate Change (MCC) zeigen, welche eine wichtige Rolle die Verteilung der Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung zwischen den Mitgliedsstaaten spielen kann, wenn eine starke Emissionsminderung und hohe Kooperation erzielt werden soll. Eine andere in Fachkreisen stark beachtete Arbeit zeigte auf, wie der EU-Emissionshandel vor Spekulation durch Finanzmarktaktive geschützt werden kann.

## Studie: Solarzellen sind ansteckend – auf gute Weise

Wieviele Solarpaneele wie weit weg vom eignen Haus sind – das bestimmt wie wahrscheinlich es ist, dass man ebenfalls eine solche Anlage auf dem Dach hat. Dieser Ansteckungseffekt ist wohl wesentlich wichtiger als andere sozioökonomische und demografische Variablen, wie eine Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung zur US-Stadt Fresno zeigt. Obwohl bekannt ist, dass Vorbilder für Entscheidungen über die eigene Energieversorgung relevant sind, waren sehr hochauflösende Daten in Kombination mit Techniken der künstlichen Intelligenz notwendig, um die Bedeutung schlichter Nähe dingfest zu machen. Das Ergebnis ist relevant für politische Maßnahmen, die auf einen breiten Einsatz von Solarzellen abzielen, um die Energieerzeugung aus klimaschädlichen fossilen Brennstoffen zu ersetzen.

# „International führend“ – Sachverständige evaluieren das PIK

Dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) wurde von internationalen Sachverständigen über alle Disziplinen und Tätigkeitsbereiche hinweg herausragende Leistungen attestiert: für die Sozial- ebenso wie für die Naturwissenschaften, für die Forschung ebenso wie für Beratungstätigkeiten. Dies ist Ergebnis der Evaluierung des PIK durch eine von der Leibniz-Gemeinschaft berufene Kommission. Die umfassenden Veränderungsprozesse der vergangenen Jahre wurden sehr positiv hervorgehoben und die Pläne des PIK für eine strategische fachliche Erweiterung befürwortet.

## „Die Arbeitsergebnisse des PIK sind hervorragend.“

Die herausragenden Arbeiten zu Kipp-Punkten im Erdsystem wie etwa dem Golfstrom-System im Atlantik, zu den planetaren Wellen des Jetstreams und deren Einfluss auf Wetterextreme, oder auch zum Management des globalen Kohlenstoff-Kreislaufes und zur CO<sub>2</sub>-Bepreisung – sie alle hebt der Bericht als konkrete Beispiele für die „exzellente Forschung“ des Instituts hervor.

„Die ganze Vielfalt der Folgen des Klimawandels“ wird beforscht, von Waldbränden bis zu Migration, von der Monsun-Vorhersage bis zu Störungen von Lieferketten, von der Dekarbonisierung des Energiesystems bis zur Nahrungssicherheit, von Mooren als

CO<sub>2</sub>-Senken bis zu Gerechtigkeitsfragen der Klimapolitik. Gegenüber der vorigen Evaluationsperiode konnte das Institut seine Publikationen in begutachteten Journalen um 46% steigern

und hat wie empfohlen seine Veröffentlichungen in einschlägigen ökonomischen Fachzeitschriften verstärkt. Die Kommission merkt an, dass das PIK „weiterhin extrem erfolgreich“ in der Einwerbung von Drittmitteln ist, etwa von der EU oder der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft, und dies noch einmal „signifikant steigern“ konnte, im Evaluierungszeitraum auf über 50% des Gesamtbudgets. Die „hervorragenden Forschungsergebnisse“ werden regelmäßig in „hochrangigen Fachzeitschriften“ veröffentlicht, darunter *Nature*, *Science* und *PNAS*, so der Evaluierungsbericht. Die Sachverständigen heben die große Zahl „exzellenter Modelle“ hervor, also von Computersimulationen, die das PIK für seine wissenschaftliche Arbeit entwickelt hat. Diese sind wichtige Werkzeuge moderner Forschung, die auf der Auswertung von und dem Modellieren mit komplexen Datensätzen basieren. Das Institut „genießt einen herausragenden Ruf für das Software Engineering“ und koordiniert weltweite systematische Vergleiche der Computersimulationen vieler verschiedener Institute.

## „Das PIK erbringt äußerst wichtige und sehr stark nachgefragte Leistungen in der Politikberatung.“

Die Evaluierungskommission betont auch die Relevanz der Forschung des PIK für die Gesellschaft. Die herausragenden Forschungsergebnisse des PIK werden immer auch nutzbar gemacht für Entscheiderinnen und Entscheider in Wirtschaft und Politik. Von der damaligen Bundeskanzlerin bis zu internationalen Zentralbanken greifen diese regelmäßig



## Was ist eine Leibniz-Evaluierung?

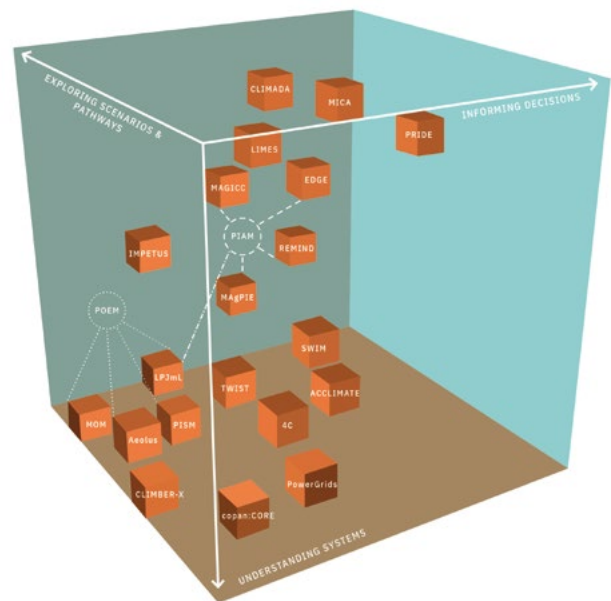
Jedes Leibniz-Institut wird im regelmäßigen Turnus alle sieben Jahre durch eine unabhängige internationale Kommission von hochrangigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern evaluiert. Die Evaluierung bewertet nicht nur die wissenschaftliche Qualität der Arbeit im Detail, sondern prüft auch ihre Relevanz für die Gesellschaft sowie die Einhaltung anerkannter Standards. Das Ergebnis der Evaluierung bildet zudem die Grundlage, um zu überprüfen, ob die Voraussetzungen für eine öffentliche Förderung weiterhin erfüllt sind. Der Senat der Leibniz-Gemeinschaft veröffentlicht dazu eine Stellungnahme, welche dann als Empfehlung an die Gemeinsame Wissenschaftskommission (GWK) zur Diskussion geleitet wird. Die Evaluierung ist außerdem die einzige Möglichkeit für ein Leibniz-Institut, den ersten Schritt zu gehen auf dem Weg zu einer möglichen Erhöhung des Kernhaushaltes. Die Evaluierung ist daher für jedes Leibniz-Institut von sehr hoher Bedeutung.

„Das PIK ist international mit führend bei der Entwicklung aufwändiger numerischer Simulationen zur Modellierung von Veränderungen des Erdsystems.“

auf die Expertise des PIK zurück. Zudem wird am PIK wird die nächste Generation exzellenter Forschender gefördert. Die Evaluierungskommission beschreibt das „stimulierende Arbeitsumfeld“ des PIK und hebt den erfolgreichen Abschluss von Promotionen und Habilitationen hervor. Die 2019 etablierten FutureLab-Gruppen beforschen „innovative neue Themen“ und geben Nachwuchswissenschaftlerinnen die

„Das PIK fördert die verschiedenen Phasen der wissenschaftlichen Qualifikation sehr erfolgreich.“

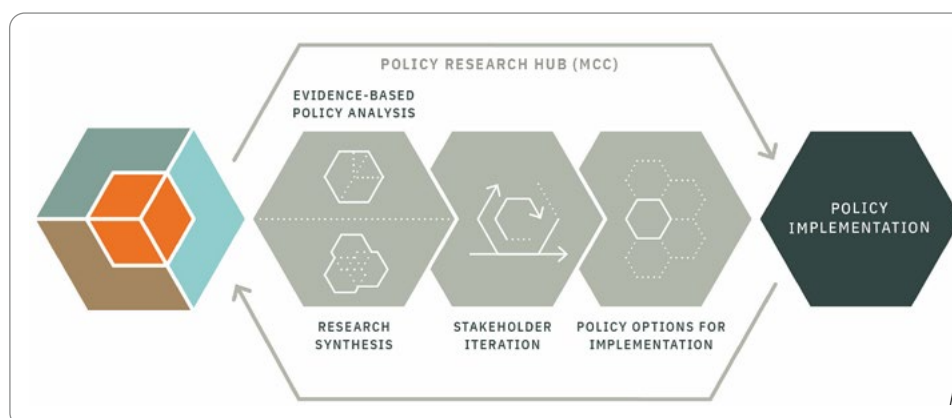
Möglichkeit, eine eigene Forschungsagenda aufzubauen. Seit der letzten Evaluierung vor sieben Jahren wurden vom neuen Vorstand des Instituts – den beiden wissenschaftlichen Direktoren Ottmar Edenhofer und Johan Rockström, und der administrativen Direktorin Bettina Hörstrup – „bedeutende Veränderungen“ vorgenommen. Auf der Abteilungsleitungsebene gab es vier Wechsel, neue Themen wurden etabliert und die Forschungsagenda geschärft. Der Senat hebt hervor, dass die fachlichen Erweiterungen der vergangenen Jahre „ausgesprochen überzeugend“ seien. Dass das Institut nun plant, seine Arbeit im Bereich der Sozialwissenschaften auszubauen, um die Entwicklung von Lösungen für durch den Klimawandel entstehende Probleme und Herausforderungen weiter zu verstärken, wird von der Kommission „grundsätzlich unterstützt“ und ist „sehr willkommen“. Der



Die Modellentwicklung des PIK wird von wissenschaftlichen Zielen geleitet, insbesondere der Erforschung planetarer Grenzen und dem Management der globalen Gemeingüter. Die Modelle verbessern das Verständnis natürlicher und sozioökonomischer Systeme, und stellen Zukunftsszenarien und -pfade sowie Informationen für Entscheidungen bereit.

Bericht hebt die Idee hervor, entlang einer ‘knowledge value chain’ das Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) zu integrieren und drei innovative Forschungsfelder aufzubauen. Hierfür müsse das PIK sich für eine zusätzliche institutionelle Finanzierung bewerben, einen sogenannten Sondertatbestand, heißt es in dem Bewertungsbericht der Evaluierungskommission.

„Das PIK hat in den letzten Jahren einen umfangreichen personellen und organisatorischen Veränderungsprozess sehr gut gestaltet.“



**Mit dem Sondertatbestand möchte das PIK Lücken in den globalen Nachhaltigkeitswissenschaften schließen und evidenzbasiertes Orientierungswissen für Entscheidungstragende bereitstellen.**

Alle öffentlichen Dokumente im Rahmen der Evaluierung können hier eingesehen werden:



# Aus der Forschung

„Es steht zu viel auf dem Spiel, um darauf zu setzen, dass sich die Unsicherheiten zum Guten wenden.“

Ricarda Winkelmann

## RD1: Risikoanalyse von Klima-Domino-Effekten

Kipp-Elemente im Erdsystem können sich gegenseitig destabilisieren, mit dem Risiko von Klima-Domino-Effekten, wenn die globale Erwärmung weiter voranschreitet. Die Eisschilde auf Grönland und der Westantarktis sind hierbei mögliche Ausgangspunkte für Kippkaskaden, wie eine neuartige Netzwerkanalyse zeigt. Ist ihr Kipp-Punkt erst einmal überschritten, könnten über die Atlantikzirkulation auch entfernte Systeme wie der Amazonas-Regenwald beeinträchtigt werden. Die Folgen für den Menschen würden vom Anstieg des Meeresspiegels bis zu schweren Schäden der Biosphäre reichen. Wechselwirkungen im Netzwerk können laut der Analyse die Temperaturschwellen senken, jenseits derer einzelne Kipp-elemente langfristig instabil werden – das Risiko hierfür nimmt bereits im Temperaturbereich des Pariser Klimaabkommens zwischen 1.5°C und 2°C deutlich zu. Die Arbeit ist ein gelungenes Beispiel für die institutsinterne Kooperation. Ein neuartiger Netzwerkansatz aus der PIK-Abteilung Komplexitätsforschung kommt hier bei den Kolleginnen und Kollegen des Forschungsbereichs Erdsystemanalyse zum Einsatz.

- Nico Wunderling, Jonathan F. Donges, Jürgen Kurths, Ricarda Winkelmann (2021): Interacting tipping elements increase risk of climate domino effects under global warming. *Earth System Dynamics* [DOI:10.5194/esd-12-601-2021]

## RD2: Neue Studie von NASA und PIK – Bauern weltweit müssen sich schon innerhalb des nächsten Jahrzehnts auf neue Klimarealität einstellen

Neue Computersimulationen sagen tiefgreifende Veränderungen in den Anbaubedingungen und Erträgen der wichtigsten Kulturpflanzen schon in den nächsten 10 Jahren voraus, wenn sich die derzeitigen Trends der globalen Erwärmung fortsetzen. In den wichtigsten Kornkammern der Welt kann es viel schneller als bisher erwartet zu gravierenden Veränderungen kommen, so dass sich die Bauern und Bäuerinnen in aller Welt schon jetzt an die neuen klimatischen Gegebenheiten anpassen müssen. Bis Ende 2100 könnten global die Maiserträge um fast ein Viertel zurückgehen, während die Weizen-erträge möglicherweise weltweit um etwa 17% steigen könnten. Erschwerend zeigen die Daten, dass ärmere Länder die stärksten Rückgänge bei den Erträgen ihrer wichtigsten Grundnahrungsmittel verzeichnen werden und so einmal mehr Hauptleidtragende des Klimawandels sind.

- Artikel: Jonas Jägermeyr, Christoph Müller, Alex Ruane et al. (2021): Climate change signal in global agriculture emerges earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food* [DOI: 10.1038/s43016-021-00400-y]

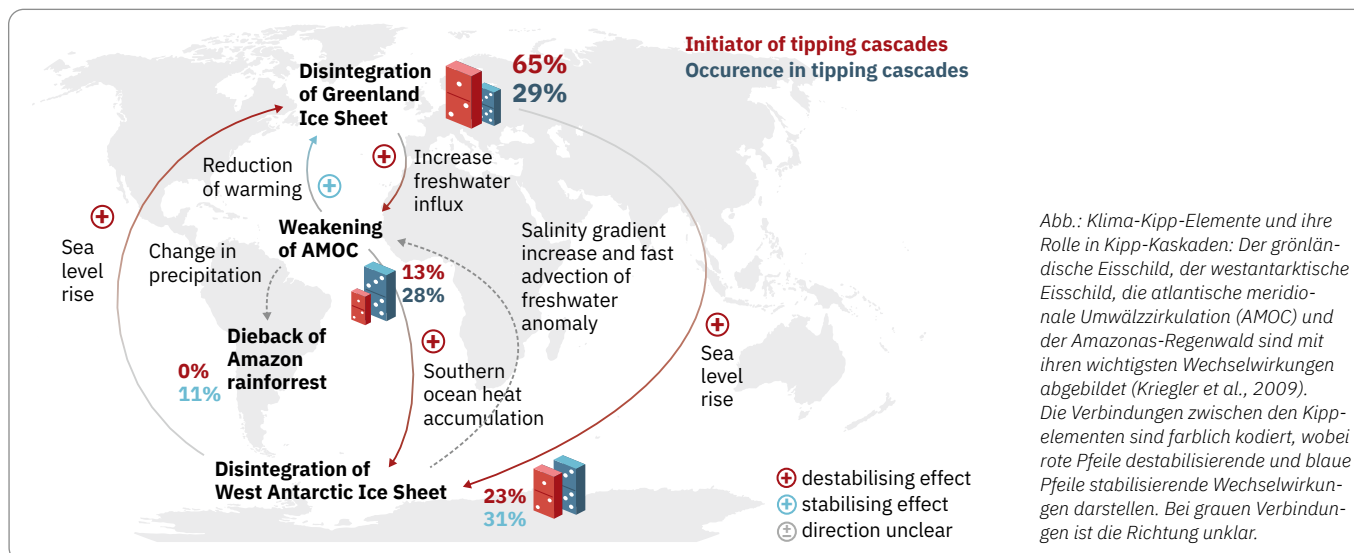
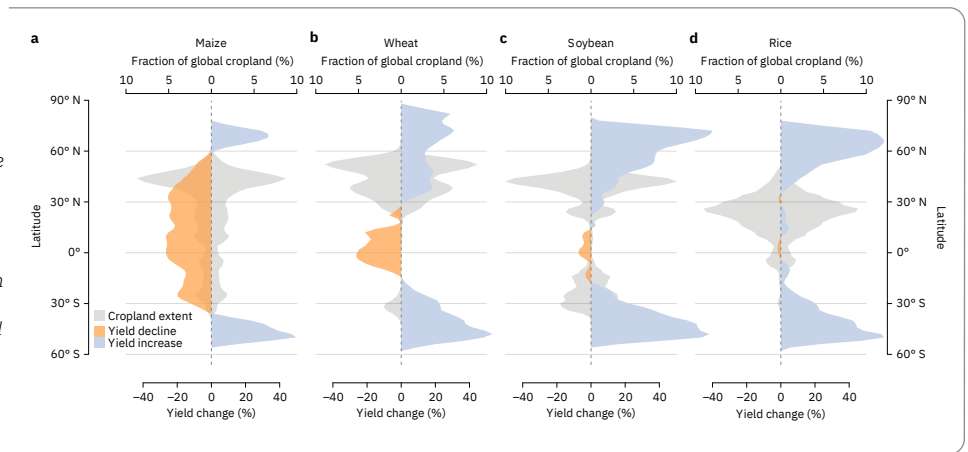


Abb.: Klima-Kipp-Elemente und ihre Rolle in Kipp-Kaskaden: Der grönländische Eisschild, der westantarktische Eisschild, die atlantische meridionale Umwälzzirkulation (AMOC) und der Amazonas-Regenwald sind mit ihren wichtigsten Wechselwirkungen abgebildet (Kriegler et al., 2009). Die Verbindungen zwischen den Kipp-elementen sind farblich kodiert, wobei rote Pfeile destabilisierende und blaue Pfeile stabilisierende Wechselwirkungen darstellen. Bei grauen Verbindungen ist die Richtung unklar.

Abb.: a-d, Ertragsänderungen (SSP585, 2069-2099) sind als Breitengrad-Durchschnitte für Mais (a), Weizen (b), Sojabohnen (c) und Reis (d) dargestellt, basierend auf Anbausimulationen in allen Gitterzellen, ohne Einschränkung durch die aktuelle Ackerfläche (untere x-Achse). Zur Veranschaulichung wird die derzeitige Ackerfläche in den verschiedenen Breitengraden als Bruchteil der kulturspezifischen globalen Fläche dargestellt (obere x-Achse; gespiegelt, um Überschneidungen mit positiven und negativen Ertragsänderungen zu ermöglichen). Die Ertragsdaten sind als Median des Klima- und Kulturpflanzenmodells dargestellt (Randgebiete mit Erträgen unter dem 20. Perzentil pro Kulturpflanze sind ausgeschlossen). Abb. aus Jägermeyr, et al. (2021): *Climate change signal in global agriculture emerges earlier in new generation of climate and crop models*. *Nature Food* [DOI: 10.1038/s43016-021-00400-y]



### RD3: Auswirkungen tropischer Wirbelstürme reduzieren – Der doppelte Nutzen von Klimaschutz durch Begrenzung und Verzögerung der globalen Erwärmung

Die Erhöhung von einem auf zwei Grad Celsius globale Erwärmung könnte dazu führen, dass ca. 25 Prozent mehr Menschen durch tropische Wirbelstürme gefährdet sind, so das Ergebnis einer Studie, die zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Schweizer Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, der ETH und dem MIT durchgeführt wurde. Schon heute gehören Wirbelstürme und Taifune zu den schlimmsten Naturkatastrophen weltweit und bedrohen potenziell etwa 150 Millionen Menschen pro Jahr. Zusätzlich zum Klimawandel trägt das Bevölkerungswachstum dazu bei, dass die Gefährdung durch tropische Wirbelstürme weiter zunimmt, insbesondere in den Küstengebieten ostafrikanischer Länder und der USA. Gleichzeitig bietet die gekoppelte Berücksichtigung von Klimawandelfolgen und Bevölkerungswachstum ein ungenutztes Potenzial zum Schutz einer sich wandelnden Weltbevölkerung.

- Tobias Geiger, Johannes Gütschow, David N. Bresch, Kerry Emanuel, Katja Frieler (2021): *Double benefit of limiting global warming for tropical cyclone exposure*. *Nature Climate Change* [DOI: 10.1038/s41558-021-01157-9]

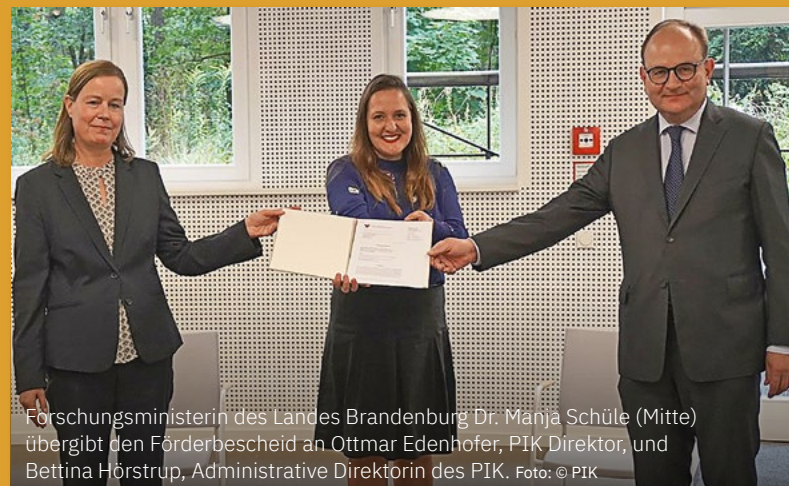
### RD4: Schockverstärkung – Wirtschaftliche Schäden durch Wetterextreme können einander weltweit aufschaukeln

Wetterextreme können Schockwellen entlang unserer Lieferketten verursachen. Wenn sie ungefähr zur gleichen Zeit auftreten, überlagern sich diese Wellen und können einander verstärken, so die Studie – selbst wenn die Wetterextreme an völlig unterschiedlichen Orten der Welt auftreten. Die Auswirkungen von Wetterextremen in unserer globalisierten Wirtschaft führen zu Verlusten in Regionen, in denen es dann Knappheiten in der Versorgung gibt, und gleichzeitig zu Gewinnen in anderen Weltgegenden, die dann eine erhöhte Nachfrage und damit höhere Preise verzeichnen. Aber wenn sich verschiedene Wetterextreme überlagern, sind die wirtschaftlichen Verluste in der gesamten vernetzten Weltwirtschaft im Durchschnitt um 20 Prozent höher als die Verluste durch die einzelnen Ereignisse zusammen. Reiche Länder sind dabei stärker betroffen als arme, denn je größer die Volkswirtschaft, desto stärker der Effekt.

- Kilian Kuhla, Sven N. Willner, Christian Otto, Tobias Geiger, Anders Levermann (2021): *Ripple resonance amplifies economic welfare loss from weather extremes*. *Environmental Research Letters* [DOI: 10.1088/1748-9326/ac2932]

## 10,3 Millionen Euro für neuen Klima-Supercomputer

Die Forschung des PIK lebt von Computermodellen und Szenarienanalysen. Dies ist nur mit Hochleistungsrechnern möglich. Das PIK ist dem Land Brandenburg daher sehr dankbar für einen Zuwendungsbescheid in Höhe von 10,3 Millionen Euro aus dem Zukunftsinvestitionsfonds des Landes. Die Fördermittel ermöglichen den Aufbau eines neuen Computerclusters zur Analyse wissenschaftlicher Klimadaten. Damit sind in Zukunft noch genauere Berechnungen von Klimarisiken und Lösungsstrategien möglich.



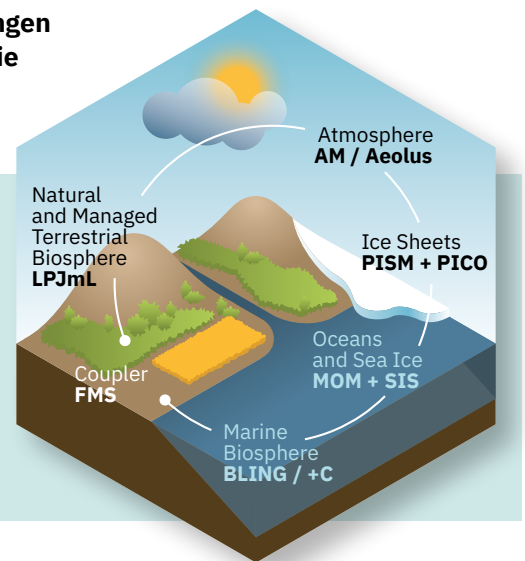
Forschungsministerin des Landes Brandenburg Dr. Manja Schüle (Mitte) übergibt den Förderbescheid an Ottmar Edenhofer, PIK Direktor, und Bettina Hörstrup, Administrative Direktorin des PIK. Foto: © PIK

# Neues von den PIK-Modellen

**Das PIK lebt von seinen international renommierten Modellen. Diese werden kontinuierlich weiterentwickelt, um neue Fragestellungen bearbeiten zu können. Für die institutsinterne Modellierungsstrategie konnten 2021 wichtige Meilensteine erreicht werden.**

## Erste Version des Potsdamer Erdmodells POEM ist einsatzbereit

Anders als klassische globale Klimamodelle ist POEM – entwickelt am PIK – ein schnelles und vielseitiges Erdsystemmodell, das es erlaubt, eine Vielzahl wichtiger biosphärischer Prozesse zu erfassen. In einer ersten Anwendung untersuchten die PIK-Forschenden den möglichen Kipp-Punkt des Amazonaswaldes unter starkem Klimawandel.



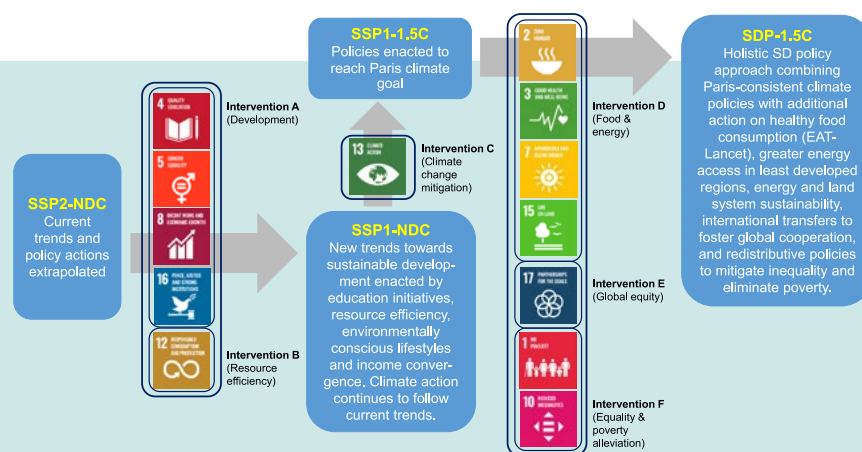
Die Integration von PIK-eigenen Modellen (Aeolus, LPJmL, +C, PISM+PICO) in ein schnelles, umfassendes Erdsystemmodell

## Neues Erdsystemmodell mittlerer Komplexität entwickelt

Ein neues Erdsystemmodell mittlerer Komplexität, Climber-X, wurde umfassend validiert und für erste Berechnungen eingesetzt. Climber-X kann die Entwicklung des Erdsystems auf Zeitskalen von Jahrzehnten bis hin zu Gletscherzyklen simulieren. Dabei berücksichtigt es die Reaktion des Erdsystems auf Veränderungen verschiedener Klimaantriebe, wie z.B. Veränderungen der Treibhausgaskonzentrationen oder der Erdbahn. Das Modell bildet die physikalischen Prozesse in der Atmosphäre, im Ozean und an Land ab, die den Klimazustand der Erde bestimmen. Zusätzlich simuliert es die bio- und geochemischen Prozesse in der Biosphäre, im Boden, im Ozean und in den Meeressedimenten und ermöglicht so eine interaktive Bestimmung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>- und Methankonzentrationen.

## Veröffentlichung des Open-Source-Eisschildmodells PISM

Das Parallel Ice Sheet Model (PISM) v2.0 ist ein Open-Source-Modell, das gemeinsam von der Universität Alaska Fairbanks, USA (UAF) und dem PIK entwickelt wurde. Um das Modell einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wurden eine neue Website (<https://www.pism.io>) und ein Twitter-Account (@PISM\_model) eingerichtet. Ferner wurde mit Hilfe einer flexiblen Kopplungssoftware das Eisschildmodell erfolgreich mit dem Ozeanmodell MOM gekoppelt, um die Wechselwirkungen zwischen dem antarktischen Eisschild und dem globalen Ozean zu analysieren.



Reprinted by permission from Springer Nature from: Sörgel, B. et al. (2021): A sustainable development pathway for climate action within the UN 2030 Agenda. - Nature Climate Change, 11, 8, 656-664. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01098-3>

## Das Potsdam Integrated Assessment Modelling Framework (PIAM) ist um die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung erweitert worden.

Eine Welt, die den Klimawandel bekämpft und gleichzeitig große Fortschritte zur Erreichung der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) macht, ist möglich – so das Ergebnis einer Studie (Soergel et al. 2021). Dazu sind 56 Indikatoren erfasst worden, mit denen die 17 SDGs abgedeckt werden.

# Erfolg in Ratings

## PIK etabliert sich in der Rangliste der weltbesten Klima-Denkfabriken

Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung gehörte auch im Jahr 2021 zu den einflussreichsten Think Tanks im Bereich Umweltpolitik. Das zeigt der diesjährige von der University of

Pennsylvania veröffentlichte „Global Go To Think Tank Index Report“. Das Ranking berücksichtigt mehr als 6.500 Einrichtungen weltweit.



## Top 1 Prozent der meistzitierten Forschenden: Erfolg für PIK in weltweiter Rangliste

Das vierte Jahr in Folge sind Forschende des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) unter den Top 1 Prozent der wissenschaftlich einflussreichsten Autorinnen und Autoren weltweit. Das vielbeachtete „Highly Cited“-Ranking wird einmal jährlich von der Wissenschaftsplattform Web of Science von Clarivate Analytics veröffentlicht. Gewertet wird die Häufigkeit, mit der Forschende in anderen Arbeiten zitiert werden – einer der wichtigsten Indikatoren für wissenschaftliche Relevanz.

Aufgeführt werden zwölf Forschende des PIK, darunter auch die Direktoren des Instituts, womit der Erfolg des Vorjahrs sich bestätigt.

---

**Benjamin Bodirsky**  
**Ottmar Edenhofer**  
**Dieter Gerten**  
**Elmar Kriegler**  
**Jürgen Kurths**  
**Hermann Lotze-Campen**  
**Gunnar Luderer**  
**Christoph Müller**  
**Alexander Popp**  
**Stefan Rahmstorf**  
**Johan Rockström**  
**Hans Joachim Schellnhuber**

---

Von den rund 6.600 Forschenden, die 2021 als meistzitiert gelistet werden, kommen 12 vom PIK.

## Zwei Studien belegen Spitzenplätze bei der Online-Sichtbarkeit



Die Wissenschaftsstatistiker von Altmetric untersuchen die Online-Wirkung wissenschaftlicher Forschungsergebnisse. Gleich zwei Studien des PIK haben es

2021 unter die Top 5 Prozent der sichtbarsten Forschung geschafft: Die Studie „Intergenerational inequities in exposure to climate extremes“ von Thiery, Lange, Frieler u.A. ist in *Science* erschienen. Niklas Boers' Studie "Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation", erschienen in *Nature Climate Change*, schaffte es sogar unter die Top 1 Prozent der online sichtbarsten Forschungsergebnisse des Jahres.

- Wim Thiery, Stefan Lange et al. (2021): *Intergenerational inequities in exposure to climate extremes*. *Science* [DOI:10.1126/science.aba7339]
- N. Boers (2021): *Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation*. *Nature Climate Change* [DOI: 10.1038/s41558-021-01097-4]

## Ottmar Edenhofer auf Platz 15 im Ranking von Deutschlands einflussreichsten Ökonomen

Wer Einfluss in Medien, Forschung und Politik hat, das untersucht das Ökonomen-Ranking der Frankfurter Allgemeinen Zeitung. Ottmar Edenhofer belegt im Jahr 2021 den 15. von insgesamt 100 Rängen. Maßgeblich für das Ranking sind jeweils zur Hälfte die Impulse für die Wissenschaft und die Wirkung in der Öffentlichkeit, das heißt in klassischen wie auch in den sozialen Medien.

## Planetare Grenzen: Earth Commission Studie

Die Grenzen des Planeten nicht überschreiten, im Einklang mit den nachhaltigen Entwicklungszielen stehen: In der Zeitschrift *Earth's Future* hat ein internationales Forschungsteam der Earth Commission unter Mitwirkung des PIK seinen Ansatz zur Definition eines „sicheren und gerechten Lebensraums für Mensch und Planet“ dargelegt. Dieser Ansatz erlaubt abzuschätzen, welche Bedingungen helfen können, gefährliche Kippunkte zu vermeiden und

eine gerechte Verteilung von Risiken, Verantwortlichkeiten und Ressourcen für alle sicher zu stellen.

Ein weiterer Artikel in *Nature Communications* stellt eine Anwendung des Konzepts der Planetaren Grenzen vor. Das Papier zeigt dabei Dilemmata auf: So könnte der Einsatz von Biomasseplantagen zum Erbringen nötiger negativer Emissionen zu einem deutlich erhöhten Wasserstress führen (Stenzel 2021).

Auch die Analyse von Kipp-Elementen und Kipp-Punkten ist eine zentrale Forschungsfrage am PIK. Wie eine neuartige Netzwerkanalyse zeigt, können Kipp-Elemente im Erdsystem sich gegenseitig destabilisieren, mit dem Risiko von Klima-Domino-Effekten, wenn die globale Erwärmung weiter voranschreitet. Wunderling et al. (2021). Die Eisschilde auf Grönland und der Westantarktis sind hierbei mögliche Ausgangspunkte für Kippkaskaden.

# Ehrungen und Berufungen

## **Christina Roolfs: eine der besten Dissertationen in der Leibniz-Gemeinschaft**



Foto: © Christina Roolfs

Christina Roolfs gehört 2021 zu den besten Doktoranden und Doktorandinnen in der gesamten Leibniz-Gemeinschaft. In ihrer Dissertation setzt sich Roolfs damit auseinander, wie viele Länder mit mehreren Regierungsebenen wirksame Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgas-Emissionen betreiben können.

## **Giorgia di Capua: Outstanding Student & PhD candidate Presentation Award 2021 der EGU**

PIK Forscherin Giorgia di Capua wurde mit dem Virtual Outstanding Student & PhD candidate Presentation (vOSPP) Award in der Kategorie „Nonlinear Processes in Geosciences“ ausgezeichnet. Der Preis wird von der European Geosciences Union (EGU) verliehen.

## **Ottmar Edenhofer: Arthur Burkhardt-Preis als herausragender Ökonom und Experte der CO<sub>2</sub>-Bepreisung**



Foto: © David Ausserhofer/PIK

Die Arthur Burkhardt-Stiftung ehrt Ottmar Edenhofer für seine wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels und der Klimapolitik: „Mit Ottmar Edenhofer wird ein herausragender Wirtschaftswissenschaftler geehrt, der Strategien zur Bewältigung des Klimawandels, einer der grundlegendsten Herausforderungen unserer Zeit, erforscht.“

## **Hans Joachim Schellnhuber: Orden der Ehrenlegion & großes Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland**

Direktor Emeritus Hans Joachim Schellnhuber ist mit dem höchsten Verdienstorden der Republik Frankreich, der Ehren-

legion, und dem Großen Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet worden.

## **Björn Soergel: Postdoc-Preis des Landes Brandenburg**



Foto: © PIK

Björn Sörgel hat den Postdoc-Preis 2021 des Landes Brandenburg in der Kategorie Geistes- und Sozialwissenschaften erhalten. Der Preis würdigt seine Arbeit zur gemeinsamen Bewältigung von zwei der drängendsten globalen Fragen unserer Zeit – der Eindämmung des Klimawandels und der Beseitigung extremer Armut.

## **Jürgen Kurths: Fellow der Network Science Society 2021**

Jürgen Kurths, ehemaliger Leiter der Forschungsabteilung „Complexity Science“, ist zum Fellow der Network Science Society 2021 gewählt worden. Er ist der erste deutsche Wissenschaftler, der diese Auszeichnung erhält.

Wir gratulieren folgenden PIK Beschäftigten zu einem Ruf auf eine Professur:



### **Linus Mattauch**

Robert Bosch Juniorprofessur „Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“, TU Berlin.



### **Roopam Shukla**

Assistant Professor, Indian Institute of Technology Roorkee, in Indien.



### **Niklas Boers**

Professur für Erdsystemmodellierung an der TU München.



### **Bernhard Schauburger**

Professur „Agrarsysteme und Klimawandel“ an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.

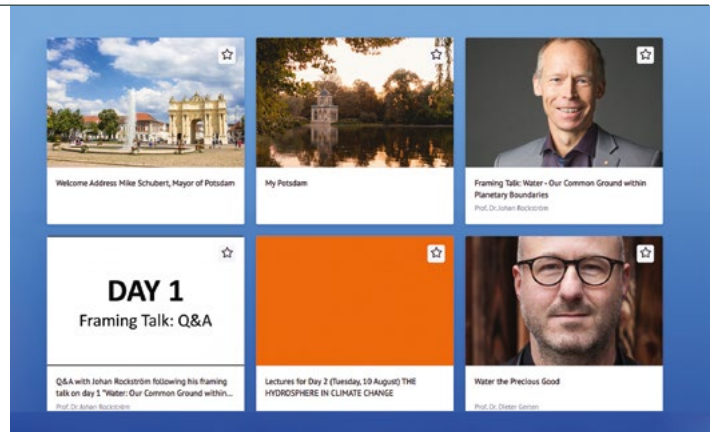
Fotos: © PIK / privat



# Berlin und Brandenburg

## Potsdam Summer School

„Wasser: Unser globales Gemeingut – die Hydrosphäre an Land und auf See“ war das zentrale Thema der Potsdam Summer School 2021. Expertinnen und Experten von hochrangigen deutschen und internationalen Instituten und Organisationen brachten ihre Erkenntnisse zu dieser erneut sehr erfolgreichen Veranstaltung ein, um die internationale Zusammenarbeit und den interdisziplinären Ideenaustausch zu fördern.



## Potsdamer Klimarat mit PIK Beteiligung

PIK-Forscher und Soziologe Fritz Reusswig ist seit Februar 2021 Mitglied im neuen Klimarat der Landeshauptstadt Potsdam. Der Klimarat sieht sich als Vermittler, Experte und Mediator für

einen erfolgreichen Klimaschutz und zielt darauf ab, eine breite Debatte zum Thema in der Landeshauptstadt Potsdam zu schaffen.

## Ottmar Edenhofer im Brandenburger Nachhaltigkeitsbeirat

Ottmar Edenhofer stellt seit November 2021 die Expertise des PIK in der Nachhaltigkeitsforschung dem Land Brandenburg zur Verfügung. Wichtigste Aufgabe des sechsköpfigen, ehrenamtlich tätigen Beirats ist es, die Landesregierung bei der Umsetzung und Überarbeitung der brandenburgischen Nachhaltigkeitsstrategie zu unterstützen.

## Holz statt Stahlbeton: „Bauhaus der Erde“ in Bundespressekonferenz

**Baustelle Weltklima:** Hans Joachim Schellnhuber, Direktor Emeritus des Instituts, hat zu einer grünen Bauhaus-Bewegung für das 21. Jahrhundert aufgerufen. Er stellte die von ihm mitgegründete Initiative „Bauhaus Erde“ gemeinsam mit der Architektin Annette Hillebrandt und dem Präsidenten des Umweltbundesamtes Dirk Messner in der Bundespressekonferenz vor. Schellnhuber forderte die Substitution von Stahlbeton durch organische Baustoffe, vor allem Holz, und präsentierte Strategien für eine nachhaltige Siedlungswirtschaft. Das Bauhaus Erde wird seinen Standort in Potsdam haben und ab 2022 jährlich mit 500.000 Euro durch das Land Brandenburg unterstützt werden. Foto: © Evan Chen / Unsplash

# Wirken in die Gesellschaft



## Netflix-Film „Breaking Boundaries“

### Mit PIK-Direktor Johan Rockström und Sir David Attenborough: Preview beim Klimagipfel des US-Präsidenten

Der Dokumentarfilm porträtiert die Arbeit von Johan Rockström und erzählt – auch mit Stimmen anderer Forschender wie PIK-Wissenschaftlerin Ricarda Winkelmann – die Geschichte der wichtigsten wissenschaftlichen Entdeckung unserer Zeit: dass die Menschheit die Erde über jene planetaren Grenzen hinausgetrieben hat, die sie seit 10.000 Jahren im Gleichgewicht hielten. Eine Preview wurde im April exklusiv den Staats- und Regierungschefs und -chefinnen bei einem virtuellen Klimagipfel von US-Präsident Biden präsentiert.



### Klimafolgenforschung für die Öffentlichkeit besser zugänglich machen: ISIpedia-Portal gestartet

Entscheidungsstragenden auf allen Ebenen wurde mit dem Onlineportal ISIpedia ein neues Werkzeug zur Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels an die Hand gegeben. Daten und Erklärungen zu den Auswirkungen der globalen Erwärmung – von Überschwemmungen bis hin zu Dürren – werden von einem Team aus 12 internationalen Forschungsinstituten der Öffentlichkeit besser zugänglich gemacht. Hier werden Studien erklärt und globale Ergebnisse auf Länderebene heruntergebrochen, sowohl für die Planung von Anpassung an die Folgen als auch von Emissionsminderungen.

### Klimastudie für Deutsche Bahn wird Grundlage für Resilienz-Strategie des Konzerns

Die Deutsche Bahn bereitet sich mit einer Resilienz-Strategie auf künftige Witterungsextreme vor. Grundlage für das konzernweite Maßnahmenpaket ist eine Studie des PIK, in der ein Team

klimatechnische Veränderungen bis 2060 untersucht hat. Das Ergebnis: deutlich mehr Hitzetage und weniger harte Winter in Deutschland; hinzu kommen Wetterextreme wie Starkregen und Hagel. Die Deutsche Bahn nutzt die wissenschaftlichen Daten, um vor allem Infrastruktur, Fahrzeuge, Energieanlagen und Bahnhöfe noch besser gegen Klimafolgen zu wappnen und wetterfest zu machen. Die aktuelle, bereits zweite PIK-Studie für die Deutsche Bahn weist dabei erstmals detaillierte Prognosen zu klimatischen Besonderheiten einzelner Regionen aus.

### Webseite „Wissenschaft trifft Höhlenforschung“



Die Bleibberghöhle in Thüringen ist eine der spektakulärsten Tropfsteinhöhlen Deutschlands. Ihre Tropfsteine stellen ein beeindruckendes und einzigartiges Archiv für Klima- und Paläoumweltveränderungen dar. Während Hö-

lenforschende entdecken, erkunden und vermessen, ist die akademische Forschung eher an ganz spezifischen Details in der Höhle interessiert. Eine Webseite hilft, die Erkenntnisse aus den beiden Communities zusammenzubringen und bereitet sie für die Öffentlichkeit auf.

### Bidens Klimagipfel: Staatsoberhäupter und Medien suchen die Expertise des PIK



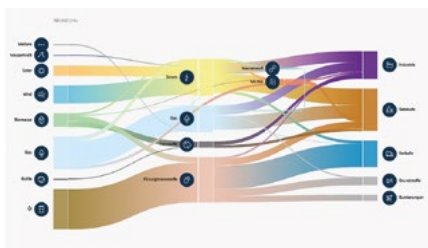
Auf Einladung von US-Präsident Joe Biden trafen sich Regierende aus 40 Ländern sowie Wissenschaftler und zivilgesellschaftliche Akteurinnen zum virtuellen Leaders Summit on Climate. Im Vorfeld und im Nachgang des historischen Ereignisses befragten zahlreiche Medien Expertinnen und Experten des PIK. In verschiedenen Interviews mit deutschen Zeitungen und Fernsehsendern kommentierte PIK-Direktor Ottmar Edenhofer das angestrebte Ziel sowie die Ergebnisse des Gipfels.

# Youtube Video: Klimaforschung – dein Traumjob? MINT auf Mission



Was machen Klimaforscherinnen und -forscher? „MINT auf Mission“ ist eine 24-teilige Webvideoserie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Vier Jugendliche interviewen Beschäftigte zu ihrem Arbeitsalltag und besuchen Einrichtungen, die Wege in die MINT-Berufswelt eröffnen. In einer Folge stand PIK-Expertin Johanna Beckmann Rede und Antwort. Das Video wurde über 17.000-mal angeschaut.

## Interaktiver Ariadne-Pathfinder: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045



Wie könnte eine effiziente, klimaneutrale Zukunft für Deutschland aussehen? Warum wird erneuerbarer Strom zum Dreh- und Angelpunkt der Transformation? Die wichtigsten Ergebnisse des großen Szenarienreports des Ariadne Projekts lassen sich mit dem Ariadne-Pathfinder interaktiv entdecken – vom Gesamtsystem bis zu den einzelnen Sektoren und über verschie-

dene Technologieansätze hinweg. Der Pathfinder wirkt wie ein Nachschlagewerk und zeigt nicht nur den möglichen Umbau der Energieversorgung, sondern bietet auch detaillierte Einblicke in die Nutzung von Strom, Wasserstoff und E-Fuels. <https://pathfinder.ariadne-projekt.de/>

## Nobelpreis-Gipfel 'Our Planet, Our Future'



Von Al Gore und Xiye Bastida zum Dalai Lama und Jennifer Doudna – diese und

viele weitere renommierte Persönlichkeiten nahmen am ersten Nobelpreis-Gipfel 'Our Planet, Our Future' teil. Das Gipfeltreffen brachte Nobelpreisträgerinnen und -träger sowie weitere engagierte Köpfe aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft, Jugendbewegungen und Kunst zusammen, darunter auch PIK-Direktor Johan Rockström. Gemeinsam wurden Maßnahmen ergründet, um den Weg in eine nachhaltigere, bessere Zukunft für alle zu bereiten. Der Nobel Summit wurde zusammen mit der Nobel Stiftung, der US National Academy of Sciences und dem Stockholm Resilience Centre organisiert.

**Hotter, wetter, drier: the science behind extreme weather events**



**Sustain Ability**  
The Potsdam Dialogues



## Wissenschaft für die Ohren

Das PIK startete im Jahr 2021 einen eigenen Podcast, bei dem der Titel Programm ist: „Sustain Ability. The Potsdam Dialogues – Science for a Safe Tomorrow“. Die Gesprächsreihe zu Nachhaltigkeit und Klima bringt Expertinnen und Experten mit Praktikerinnen und Praktikern zusammen, um zu diskutieren, wie wir auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse ein sicheres Morgen für alle gewährleisten können. Dabei geht es um Risiken, aber viel mehr noch um Lösungen. Gast der ersten Folge war der Vizepräsident der Europäischen Union Frans Timmermans, es folgten unter anderem Friederike Otto vom Imperial College London und die indische Sterneköchin Megha Kohli.

# Politikberatung

## Sabine Gabrysch bei der Einweihung des WHO-Hub für Pandemie- und Epidemieforschung



Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat in Berlin ein neues Zentrum für Pandemie- und Epidemieforschung eingerichtet („WHO Hub for Pandemic and Epidemic Intelligence“). Ziel ist es, Partner auf der ganzen Welt zusammenzubringen, um gemeinsam die Instrumente und Daten zu schaffen, die alle Länder benötigen, um besser mit Pandemie- und Epidemierisiken umzugehen. Tedros Adhanom Ghebreyesus, Generaldirektor der WHO, und die damalige Bundeskanzlerin Angela Merkel weihen das Zentrum ein. Sabine Gabrysch vom PIK sprach bei der zentralen Podiumsdiskussion, zusammen mit Fabiola Gianotti, Generaldirektorin des CERN, Katalin Karikó, Senior Vice President von BioNTech, und dem Leiter des Zentrums, Chikwe Ihekweazu.

## Ottmar Edenhofer diskutiert mit Ursula von der Leyen über den „Green Deal“ der Europäischen Kommission

Am 14. Juli 2021 legte die europäische Exekutive ein Paket von Vorschlägen zur Klimagesetzgebung vor, bekannt als „Fit for 55“. Weniger als eine Woche später nahm PIK-Direktor Ottmar Edenhofer an einem Gespräch mit der Präsidentin der Europäischen Kommission, Ursula von der Leyen, und Fachleuten des Europäischen Hochschulinstituts teil. Die Vorschläge der Kommission zielen ab auf eine Reduzierung der Emissionen gegenüber 1990 um mindestens 55% bis 2030 und Klimaneutralität bis

2050. „Dieser Vorschlag ist eine große Sache – es gibt jetzt kein Zurück mehr. Das politische Paket der EU zur Stabilisierung unseres Klimas ist das bisher umfassendste seiner Art und baut auf vielem auf, was die Forschung entwickelt hat“, kommentierte Edenhofer.

## Wasserstoff im Klimaschutz: Qualität statt Quantität

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) hat ein Gutachten zum Thema Wasserstoff vorgelegt, mit Wolfgang Lucht vom PIK als einem der sieben Mitglieder des von der Bundesregierung berufenen Gremiums. In ihrem Gutachten kommen die Forschenden zu dem Schluss, dass Wasserstoff eine wichtige Rolle für den



Klimaschutz spielen kann, aber auf absehbare Zeit ein knapper und wertvoller Energieträger bleiben wird. Sie empfehlen, die Anstrengungen auf grünen Wasserstoff aus Wind- und Sonnenenergie zu konzentrieren. Grüner Wasserstoff und nachgelagerte Produkte sollten gezielt in die Sektoren gelenkt werden, die ohne ihn nicht auskommen, vor allem in die Chemie- und Stahlindustrie sowie in Schifffahrt und Luftfahrt.

## „Anpassung der Wälder an den Klimawandel“: John Schellnhuber auf der 8. Forest Europe Ministerialkonferenz

Forest Europe ist eine Politikinitiative, die den Schutz und die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder zum Ziel hat. Ihr regelmäßiges Format sind zwischenstaatliche Gipfeltreffen, die so genannten Ministerialkonferenzen. Die Konferenz zum 30-jährigen Bestehen der Initiative zum Schutz der Wälder in Europa wurde im April 2021 virtuell abgehalten. Unter dem Motto „Die Zukunft, die wir wollen: Die Wälder, die

wir brauchen“ bemühten sich die teilnehmenden Ministerinnen und Minister sowie Interessenvertretungen aus 45 europäischen Ländern und der EU, politische Verpflichtungen zur nachhaltigen Waldbewirtschaftung in Europa einzugehen. Der emeritierte PIK-Direktor Hans Joachim Schellnhuber war einer der Diskussions Teilnehmer.

## Hermann Lotze-Campen als Experte in Kommission „Niedersachsen 2030“



Klimawandel, fortschreitende Digitalisierung und demografischer Wandel: Dies sind nur drei Beispiele für aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen für die Zukunft Niedersachsens. Auf Initiative der Landesregierung hat eine unabhängige wissenschaftliche Kommission auf das Land zugeschnittene Empfehlungen erarbeitet. Unter den Forschenden war auch Hermann Lotze-Campen vom PIK. Speziell im Bereich Landwirtschaft und Ernährung sollte sich Niedersachsen darauf konzentrieren, Stickstoffüberschüsse im Ernährungssystem zu reduzieren, den Erhalt der Biodiversität zu verbessern und eine klimafreundliche Bewirtschaftung von Mooren anzustreben, so Lotze-Campen. Die Kommission hat den Bericht „Niedersachsen 2030 – Potenziale und Perspektiven“ im März 2021 an Ministerpräsident Stephan Weil übergeben.

## Beitrag zum IPCC-IPBES-Bericht über die Wechselwirkung von Klimawandel und Verlust der biologischen Vielfalt

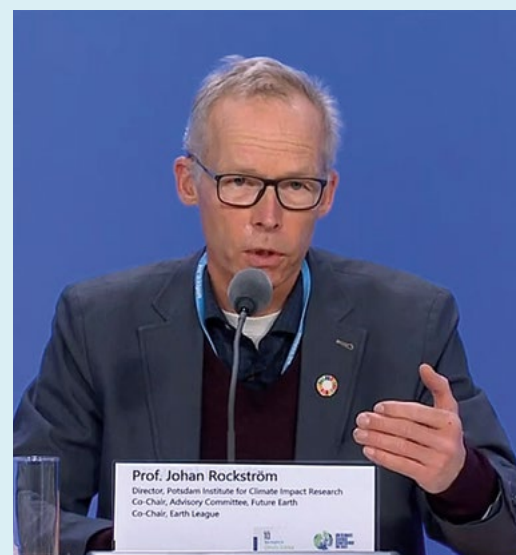
Zwei führende UN-Wissenschaftsorga-

# Weltklimagipfel COP26

**Nach einem pandemiebedingten Jahr Pause beteiligten sich 2021 wieder mehrere Forschende des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung mit ihrer wissenschaftlichen Expertise an der Klimakonferenz der Vereinten Nationen COP26 in Glasgow.**



Besondere Aufmerksamkeit erregte die Neuauflage der „10 neuen Erkenntnisse der Klimawissenschaft 2021“. Patricia Espinosa, Exekutivsekretärin des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC), leitete die Sitzung, in der zehn der wichtigsten Erkenntnisse auf dem Gebiet der Klimawissenschaft 2021 vorgestellt wurden. Ein internationales Team von Forschenden, darunter PIK-Direktor Johan Rockström, sowie Kolleginnen und Kollegen von FutureEarth, der Earth League und dem World Climate Research Programme, hat diese „Must-Knows“ zusammengestellt. Grundlage ist die stetig wachsenden Zahl wissenschaftlicher Publikationen zum Thema. Seit 2017 werden jährlich die dringendsten Forschungsergebnisse und neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammengestellt. Der Beitrag von Johan Rockström auf der Pressekonferenz wurde mehr als 44.000 Mal gestreamt.



## Weitere COP26 Events mit aktiver PIK-Beteiligung:

**Klimauswirkungen auf die Ernährungssicherheit in der Sahelzone:** Die Notwendigkeit einer wissenschaftlich fundierten Anpassungsplanung (Christopher Gornott, Johan Rockström) • **Dekarbonisierung des Straßenverkehrs:** Wo stehen wir und was steht auf dem Spiel? (Gunnar Luderer) • **Klima, Frieden und Stabilität:** Stärkung von Voraussicht, Prävention und Resilienz gefährdeter Bevölkerungsgruppen (Barbora Sedova, Johan Rockström) • **Auf dem Weg zu einer emissionsneutralen Gesellschaft:** Herausforderungen und Möglichkeiten (mitorganisiert von Elmar Kriegler & Kollegen) • **Wiederherstellung und Schutz von Mooren:** Input im Global Peatland Pavilion (Florian Humpenöder)

nisationen, ein Bericht: Der Weltklimarat (IPCC) und die Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) haben sich 2021 erstmals zusammengetan und eine Analyse veröffentlicht, die das Zusammenspiel von Klimawandel und Verlust der Artenvielfalt untersucht. Ihr zentrales Ergebnis: Keines der beiden Probleme wird erfolgreich gelöst werden können, wenn nicht beide gemeinsam angegangen werden. Dies ist die Botschaft eines Workshop-Berichts, der von 50 weltweit führenden Biodiversitäts- und Klimaexpertinnen und -experten veröffentlicht wurde, unter ihnen Alexander Popp, Leiter der PIK-Forschungsgruppe Landnutzungsmanagement. „Um den Klimawandel und den Verlust der biologischen Vielfalt, zwei der größten globalen Probleme, in den Griff zu bekommen, wird es entscheidend sein, sich auf naturbasierte Lösungen zu konzentrieren“,

erklärte Popp. „Ökosysteme wie Wälder oder Torfmoore sind wichtige Lebensräume für viele Tier- und Pflanzenarten. Sie sind gleichzeitig Orte, an denen in großem Umfang Kohlenstoff aufgenommen und gespeichert wird. Der Schutz dieser Lebensräume ist daher in zweierlei Hinsicht entscheidend: Er hilft, das Artensterben zu stoppen und kann auch einen wichtigen Beitrag zur Bekämpfung der globalen Erwärmung leisten.“

### **PIK-Expertise im „Factsheet Klimawandel“ der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina**

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina hat sich zum Ziel gesetzt, die Ursachen und Folgen des Klimawandels verständlich zusammenzufassen und Maßnahmen zur Stabilisierung des Klimas zu diskutieren. Auf 17 Seiten stellt das Factsheet

den aktuellen Stand der Klimafolgenforschung übersichtlich und prägnant dar.



dar. Von den insgesamt zehn renommierten Autorinnen und Autoren, die an dem Dossier mitgewirkt haben, stammen allein vier aus dem PIK:

Ottmar Edenhofer, Sabine Gabrysch, Stefan Rahmstorf, und Ricarda Winkelmann. Weitere Institute, die an dem Dossier mitgearbeitet haben, sind das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung und das Umweltbundesamt.

---

**Siehe auch „Energiewende in Deutschland und Europa“ S. 8/9.**

---

# Medienresonanz

2021 war die Forschung des PIK wieder stark in den Medien. Zuvor hatte Corona das Klima als Thema in den Medien teils verdrängt. 2021 aber gelang dem PIK ein Zuwachs in der Medienresonanz von mehr als 30 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Rund 3.000 Artikel mit Bezug auf das PIK erschienen in den deutschen Printmedien, mit einer kumulierten Gesamtauflage von rund 230 Millionen Exemplaren. Mehr als 300 mal kamen das Institut oder seine Forschenden in Fernsehbeiträgen vor, rund 1.700 mal im Radio, einschließlich der Wiederholungen. Online erschienen weltweit mehr als 20.000 Artikel zu unserer Arbeit. Insgesamt wurden mehr als 100 Forschende des PIK in den Medien erwähnt.



## ZEIT ONLINE

### "Für Europa könnte das extreme Hitzewellen bedeuten"



Das Golfstromsystem ist so schwach wie seit über 1.000 Jahren nicht mehr. Das wird zu Extremwettern und steigenden Meeresspiegeln führen, sagt Forscher Stefan Rahmstorf.



### Der Domino-Effekt

## FINANCIAL TIMES

### Climate crisis: Scientists spot warning signs of Gulf Stream collapse

A shutdown would have devastating global impacts and must not be allowed to happen, researchers say

The Guardian



## The New York Times

### A Crucial System of Ocean Currents Is Faltering, Research Suggests

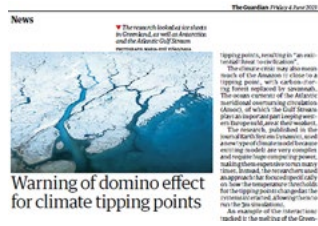
A slowdown in the network, which influences weather far and wide, could spell trouble. "We're poking a beast," one expert said.



Please watch and share #BreakingBoundaries from David Attenborough. I also interviewed @JRockstrom for #BeforetheFlood 5 years ago and he was able to articulate the science around the interconnected

## Klimaforscher Johan Rockström über die Weltklimakonferenz

# »Wir sind weiter auf dem Weg in eine gefährliche Zukunft«

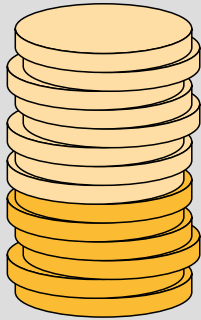


# Das PIK in Zahlen

Stand 31.12.2021

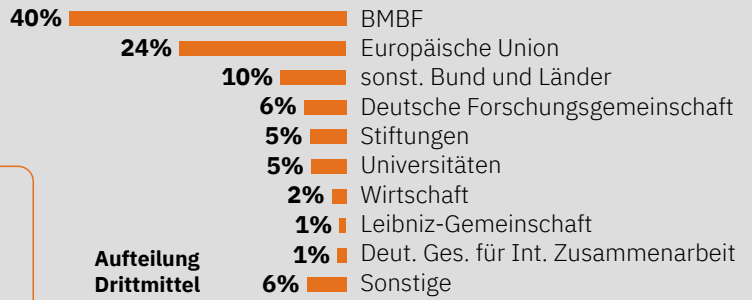
## Finanzierung

**31,8**  
Millionen €  
Gesamthaushalt



**19,2**  
Millionen €  
Drittmittel

**12,6**  
Millionen €  
Institutionelle  
Förderung

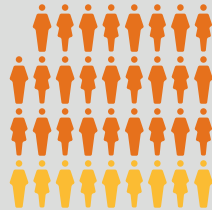


## Beschäftigungszahlen

2019  
**356**



2020  
**374**



2021  
**403**



**Personal insgesamt 403**  
46% 54%

**Wissenschaftliches Personal 261**  
37% 63%

**Wissenschaftsunterstützendes Personal 142**  
63% 37%  
davon 50 wissenschaftliche und studentische Hilfskräfte sowie Auszubildende

## Vorträge, Lehre und Veranstaltungen

**859** Vorträge



davon **431**  
für wissenschaftliche  
Zielgruppen



**135** Industrie  
und Wirtschaft



**167** Bildung



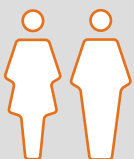
**126** Politik

**59** universitäre Lehrveranstaltungen mit **139** Semesterwochenstunden an **9** Universitäten

**68** wissenschaftliche Veranstaltungen mit **4.300** Teilnehmenden

## Wissenschaftlicher Nachwuchs

**81** Promovierende



**43%** Anteil Frauen

**42%** aus dem Ausland

**19%** Stipendiatinnen  
und Stipendiaten

## Anzahl betreuer Qualifizierungsarbeiten



**23** Master



**9** Bachelor

**10** Promotionen  
am PIK



**6** Promotionen  
extern

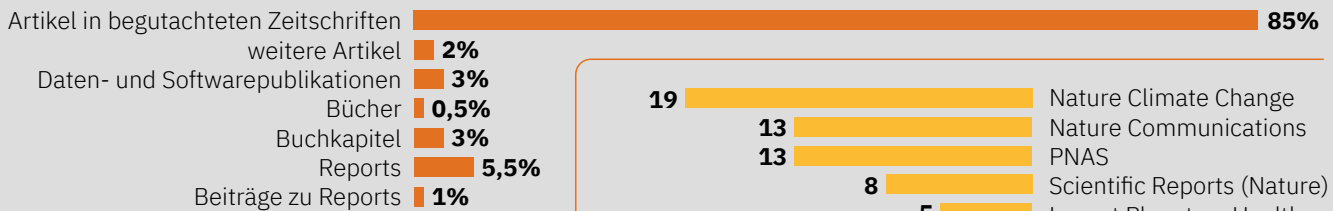


## PIK in the Media



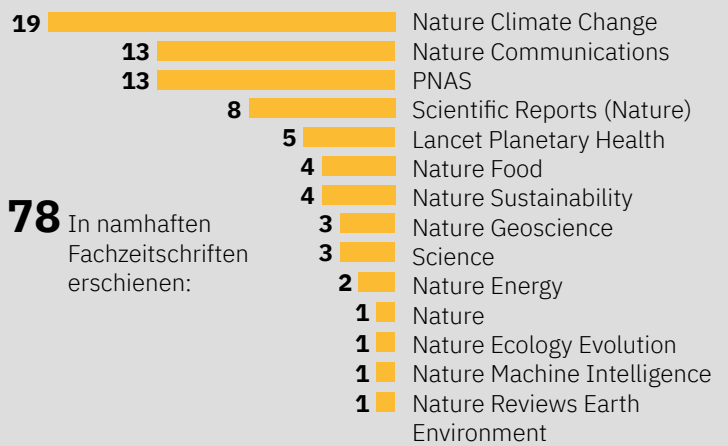
## Publikationen

**507** Publikationen

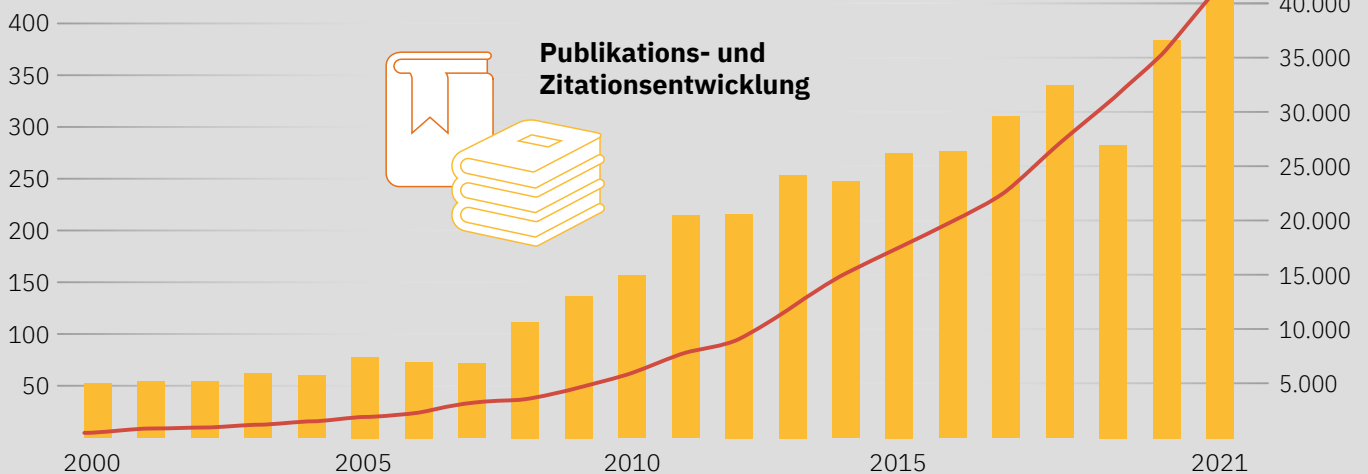


**430** Artikel in begutachteten Zeitschriften, davon **44%** mit PIK-Erstautorenschaft.

**78** In namhaften Fachzeitschriften erschienen:



## Publikationen



Source: Web of Science Core Collection (SCI-E, SSCI) am 04.03.2022

# Forschungsabteilung 1

# Erdsystemanalyse

Wie funktioniert das Erdsystem und welche biophysikalischen Grenzen definieren einen sicheren Rahmen für die menschliche Entwicklung?

Die thematischen Schwerpunkte und Arbeitsziele der Abteilung sind:

- **Kipppunkte.** Grundlagenforschung über nichtlineare Erdsystemprozesse und potentielle kritische Schwellen.
- **Planetare Grenzen.** Politikrelevante Forschung zu Definitionen, Quantifizierungen und Operationalisierungen von planetaren Grenzen und deren Wechselwirkungen.
- **Entwicklungspfade der Erde.** Forschung über die Dynamik und Funktionsweise des Erdsystems unter natürlichem und menschlichem Antrieb sowie die daraus resultierenden lang- und kurzfristigen Entwicklungspfade.
- **Extremereignisse.** Forschung über die dynamischen Mechanismen und sich verändernde Statistik extremer Wetterereignisse auf einer sich erwärmenden Erde.

Leitung: **Stefan Rahmstorf & Wolfgang Lucht**, Stellvertretung: **Kirsten Thonicke & Georg Feulner**,  
 Koordination: **Christine von Bloh**, Sekretariat: **Brigitta Krukenberg**

**RD1**

Wechselwirkungen im Erdsystem		Lebensraum der Menschheit und Integrität der Biosphäre			
<b>Langfristige Dynamik des Erdsystems</b>	<b>Eisdynamik</b>	<b>Zustände des sich wandelnden Erdsystems</b>	<b>Ökosysteme im Wandel</b>	<b>Sicherer Handlungsraum Landbiosphäre</b>	<b>Analyse des Gesamtsystems Erde-Mensch</b>
Andrey Ganopolski	Ricarda Winkelmann	Georg Feulner	Kirsten Thonicke	Dieter Gerten	Jonathan Donges
<b>Entwicklung von Erdsystemmodellen</b> Stefan Petri & Sibyll Schaphoff					

**Die Forschung in Forschungsabteilung 1 (RD1)** wird in sieben Arbeitsgruppen durchgeführt, die jeweils von erfahrenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern geleitet werden. Diese unterteilen sich in zwei Themenbereiche: „Wechselwirkungen im Erdsystem“, koordiniert von S. Rahmstorf, mit dem Ziel, unser Verständnis des Erdsystems im Lichte der planetaren Grenzen zu verbessern und „Menschlicher Lebensraum und Integrität der Biosphäre“, koordiniert von W. Lucht, mit dem Ziel, die zentrale Rolle der Ökosphäre für die biogeochemischen Kreisläufe der Erde und ihre Nutzung durch den Menschen zu untersuchen. Die beiden Themenbereiche spiegeln zwei Hauptpfeiler des Zustands des Erdsystems wider. Das eng mit RD1 verbundene FutureLab (FL) "Erdsystemresilienz im Anthropozän" führt diese Forschung weiter, um die Eigenschaften eines stabilisierten Erdsystems im Anthropozän und Entwicklungspfade dorthin zu skizzieren.

Die Arbeitsgruppen werden in einigen ihrer Arbeiten abteilungsübergreifend koordiniert; so liefern sie z.B. gemeinsam die Grundlagen für die Entwicklung des Potsdamer Erdmodells POEM. Die Arbeitsgruppen spiegeln die aktuellen Schwerpunkte der RD1 Forschungsagenda wider: zwei Gruppen arbeiten zu lang- und kurzfristigen Trajektorien im Erdsystem (einschließlich paläoklimatischer sowie ozeanischer Forschung), zwei zu besonders wichtigen Subsystemen (Eis- und Landökosysteme), eine zu planetaren Grenzen und sicherem Handlungsraum für die Menschheit und eine zur Modellierung der Koevolution zwischen Mensch und Umwelt im Anthropozän. Das FutureLab ist eng mit RD1 verbunden, da seine doppelte Leitung seit langem erfolgreich und innovativ in RD1 forscht und das FL stark auf den wissenschaftlichen Ergebnissen von RD1 aufbaut.

# Ausgewählte Ergebnisse

## Arbeitsgruppe

### Langfristige Dynamik des Erdsystems

**Im Jahr 2021 wurde das neue Erdsystemmodell mittlerer Komplexität, CLIMBER-X, umfassend validiert und zur Beantwortung eines Spektrums von Forschungsfragen eingesetzt.** Das Modell in der vollständigen Konfiguration wurde umfassend anhand der Ergebnisse modernster Klimamodelle sowie Beobachtungs- und Paläoklimadaten validiert. CLIMBER-X konnte dann zur Simulation der langfristigen Klimaentwicklung und der Reaktion des grönländischen Eisschildes auf verschiedene Szenarien des anthropogenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes angewandt werden. Außerdem wurde mit systematischen Studien über die möglichen Auswirkungen der verbleibenden Wissenslücken und Parameterunsicherheiten bei der Modellierung der terrestrischen und ozeanischen Komponenten des globalen Kohlenstoffkreislaufs auf die langfristige CO<sub>2</sub>-Dynamik begonnen. Als Beitrag zur laufenden zweiten Phase der deutschen nationalen Paläoklimamodellierungsinitiative (PalMod II) hat die Arbeitsgruppe ein Ensemble von Simulationen des vergangenen Eiszeitbeginns durchgeführt, um die Rolle systematischer Fehler in Klimamodellen, der räumlichen Auflösung und der Wahl der Oberflächenmassenbilanzparametrisierung zu analysieren.

## Arbeitsgruppe

### Eisdynamik

**Die ICE-Gruppe hat das Wissen über die Eisdynamik in Grönland und der Antarktis vertieft, wobei der Schwerpunkt auf der langfristigen Stabilität der Eisschilde**

**und dem künftigen Meeresspiegelanstieg lag.** Wichtige Höhepunkte waren die Veröffentlichung von PISM2.0 und die Entwicklung von Kopplungsmodulen zwischen den Eisschilden und dem Ozean, der Atmosphäre und der festen Erde. Die Gruppe hat weitere Fortschritte erzielt, die Prozesse, die die Dynamik und langfristige Stabilität der grönländischen und antarktischen Eisschilde bestimmen, besser zu verstehen und zu modellieren. Zusammen mit der University of Alaska, Fairbanks, hat die PIK ICE-Gruppe eine neue Version des Parallel Ice Sheet Model (PISM2.0) veröffentlicht, einschließlich einer neuen Website ([www.pism.io](http://www.pism.io)) und eines Twitter-Accounts (@PISM\_model). Inzwischen wird das Open-Source-Modell für Eisschilde und Gletscher zur Untersuchung der Eisdynamik und Veränderungen des Meeresspiegels weltweit genutzt. Ein Hauptaugenmerk lag im vergangenen Jahr auf der Entwicklung von Kopplungsmodulen zwischen Eis und Ozean, der Atmosphäre und der festen Erde. Zur Kopplung des Ozeanmodells MOM5 an PISM über das Potsdam Ice Shelf Cavity mOdel PICO gibt es eine erste Veröffentlichung (Kreuzer et al. 2021) – die Kopplung ermöglicht die Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen dem antarktischen Eisschild und dem globalen Ozean auf Zeitskalen von mehreren Jahrtausenden. Darüber hinaus wurde das neue Oberflächenmodul dEBM-simple (Zeit et al. 2021, ausgewählt als Highlight-Artikel in The Cryosphere) entwickelt und implementiert, mit dem die Schmelz-Albedo sowie die Höhe-Schmelz-Rückkopplungen analysiert werden können. Mithilfe dieses neuen Moduls kann die mögliche Überschreitung von Kippunkten in Grönland untersucht werden. Im Rahmen von PalMod wurde PISM auch erfolgreich mit dem Viscoelastic Lithosphere and Mantle model VILMA gekoppelt, um damit die Auswirkungen von Veränderungen der festen Erde auf der Grundlage einer dreidimensionalen Erdstruktur und des relativen Meeresspie-

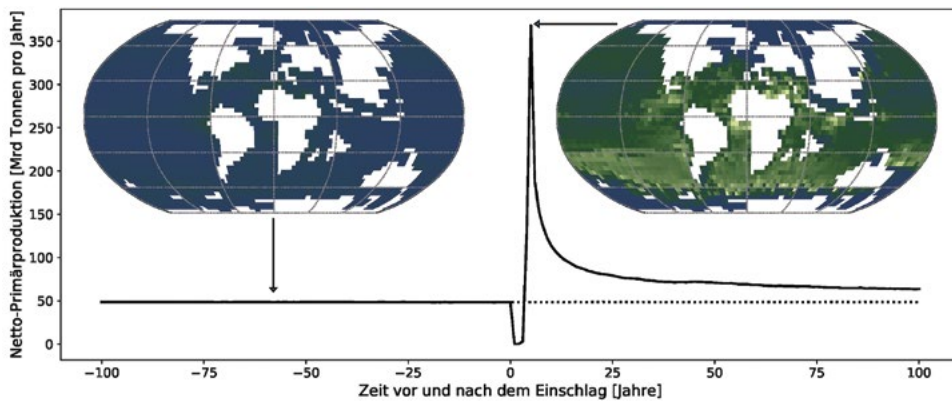


Abb. 1: Veränderung der Netto-Primärproduktion im Ozean rund um den Meteoriteneinschlag vor 66 Millionen Jahren (durchgezogene Kurve). Durch die Dunkelheit kurz nach dem Einschlag bricht die biologische Produktion im Ozean völlig zusammen, erreicht dann aber ein Maximum (Karte rechts) bei etwa siebenfach höheren Werten als vor dem Einschlag (Karte links). Diese global Algenblüte kommt durch Nährstoffe zustande, die zum einen aus der Tiefsee, zum anderen aus dem Meteoriten selbst stammen.

gels zu verstehen. Auf der Basis der neuen Erkenntnisse und Modellentwicklungen wurden die langfristige Stabilität sowie Kippunkte der Eisschilde untersucht (Garbe et al. 2020; Rosier et al. 2021) und Meeresspiegelprojektionen für das 21. Jahrhundert und darüber hinaus erstellt (Payne et al. 2021; Edwards et al. 2021).

### Arbeitsgruppe

## Zustände des sich wandelnden Erdsystems

### Die Arbeitsgruppe veröffentlichte neue Erkenntnisse über die Dynamik extremer Wetterereignisse in einem sich erwärmenden Klima, über die Stabilität der atlantischen meridionalen Umwälzzirkulation während des letzten Jahrtausends und über vergangene Treibhausklimazustände und Massenaussterbeereignisse.

Die Gruppe Atmosphäre und Wetterextreme veröffentlichte neue Ergebnisse (1) zu den Wechselwirkungen der atmosphärischen Zirkulation zwischen den Tropen und den mittleren Breiten im Sommer, die eine Bewertung der kausalen Wirkung der beiden Hauptmodi der Ko-Variabilität zwischen tropischer Konvektion und Wellenzügen der mittleren Breiten auf die Oberflächenbedingungen und die atmosphärische Zirkulation in der nördlichen Hemisphäre erlaubt (Di Capua et al. 2020), und zwischen der Arktis und den mittleren Breiten im Winter, die darauf hindeuten, dass die Barents-Kara-See-Region die Nordatlantische Oszillation (NAO) auf wöchentlichen Zeitskalen beeinflusst, während der stratosphärische Polarwirbel die Jet-Variabilität in den mittleren Breiten auf monatlichen Zeitskalen beeinflusst (Harwood et al. 2021); (2) über robuste Veränderungen der nordatlantischen atmosphärischen Zirkulationsmuster bei steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und deren Auswirkungen auf das Klima und Wetterextreme in Europa in einem sehr hoch auflösenden Klimamodell (Rousi et al. 2021); und (3) über die Triebkräfte der Sommerextreme 2010 über Russland und Pakistan, die durch drei Faktoren begünstigt wurden: Erwärmung des Landes in den hohen Breiten, Bodenfeuchtigkeitsdefizit im Frühsommer in Russland und Anomalien der Meeresoberflächentemperatur, einschließlich La-Niña-Bedingungen im tropischen Pazifik (Di Capua et al. 2021).

**Die Ozeangruppe** stellte Proxy-Rekonstruktionen der atlantischen meridionalen Umwälzzirkulation (AMOC) für die letzten 1000 Jahre aus der Literatur zusammen, analysierte deren Konsistenz und untersuchte die statistische Signifikanz der wichtigsten Veränderungen. Wir fanden ein ziemlich konsistentes Bild der AMOC-Entwicklung: Nach einer langen und relativ stabilen Periode gab es eine erste Abschwächung ab dem 19. Jahrhundert, gefolgt von einem zweiten, schnelleren Rückgang in der Mitte des 20. Jahrhunderts, der in den letzten Jahrzehnten zum schwächsten Zustand der AMOC seit mindestens einem Jahrtausend führte (Caesar et al. Nature Geoscience 2021).

**Die Paläoklimagruppe** hat eine umfassende Analyse der Ursachen für die Klimatrends im Mesozoikum (vor 252 bis 66 Millionen Jahren) veröffentlicht, einem Zeitabschnitt in der Erdgeschichte, der durch extreme Treibhausklimata gekennzeichnet ist, und dabei die Schlüsselrolle von CO<sub>2</sub> hervorgehoben (Landwehrs et al. 2021). Darüber hinaus wurde der Ozean nach dem Einschlag eines großen Meteoriten vor 66 Millionen Jahren analysiert, der zum Aussterben der Dinosaurier führte. Dabei wurde festgestellt, dass Nährstoffe aus dem tiefen Ozean und aus dem Projektil eine kurze Algenblüte mit potenziell tödlichen Auswirkungen für komplexe Meereslebewesen verursachten (Brugger et al. 2021, siehe Abb. 1).

### Arbeitsgruppe

## Ökosysteme im Wandel

### Die Gruppe arbeitete intensiv an der Untersuchung biophysikalischer Rückkopplungen im Erdsystem mit POEM und fand heraus, dass dynamisches Wurzelwachstum und variable Wurzelverteilung im Boden die saisonale Evapotranspiration und die räumliche Verteilung tropischer immergrüner Wälder in Südamerika beeinflussen.

Die biophysikalische Kopplung von LPJmL mit dem POEM Erdsystemmodell (Abb.2) wurde abgeschlossen (unter Verwendung des Ozeanzirkulationsmodells MOM5 und des grob aufgelösten Atmosphärenmodells AM2; Drüke et al. 2021). Die Arbeitsgruppe konnte zeigen, dass durch die Kopplung von Energie-, Wasser- und Landoberflächeneigenschaften simulierte Klima- und Vegetationsmuster mit Klimasimulationen (CMIP5) und Vegetationsbenchmarkingdaten vergleichbar sind. In einer ersten Anwendung des gekoppelten Erdsystemmodells wurde untersucht, ob Feuer zu einem klimabedingten

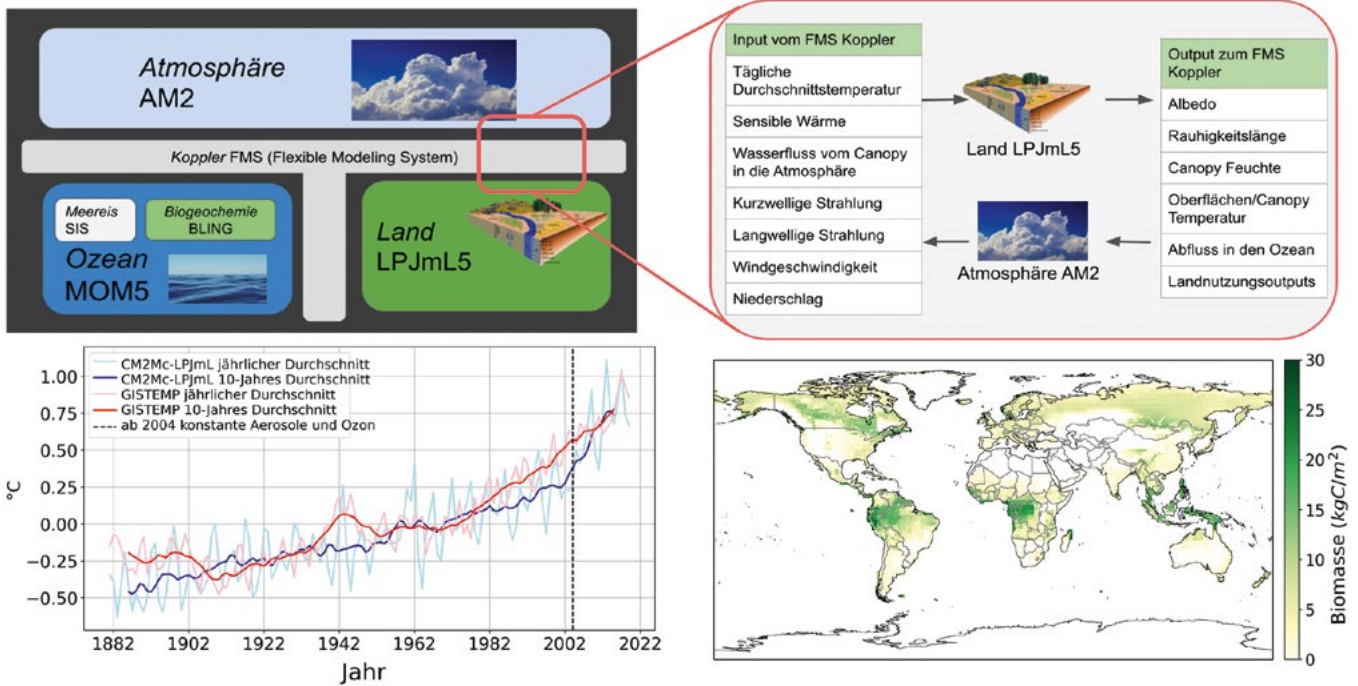


Abb 2: Schema der biophysikalischen Kopplung zwischen der Landbiosphäre mit Hilfe von LPJmL5 und dem Atmosphären-Ozeanmodell CM2Mc (oben rechts) innerhalb des Potsdam Erdsystemmodells POEM (oben links). Die Simulation im voll gekoppelten Erdsystem einschließlich dynamischer Vegetation reproduziert den Trend zunehmender globaler Mitteltemperatur, der mit gemessenen Daten (GISTEMP) vergleichbar ist (unten links). Die globale Verteilung der simulierten Biomasse entspricht bekannten Mustern und belegt eine stabil simulierte Vegetation (unten rechts). (Abb. nach Drüke et al, 2021, Geosci. Model Dev., 14, 4117–4141, <https://doi.org/10.5194/gmd-14-4117-2021>)

Kippen der Tropenwälder zu savannenähnlicher Vegetation führen könnte und Drüke et al. fanden heraus, dass Feuer nur eine geringe Rolle spielt (2021). Zusätzlich wurde die Prozessdarstellung in der offline-Version des LPJmL-Modells verbessert. Die Arbeitsgruppe integrierte variable Wurzelsstrategien und machte das Wachstum tropischer Bäume (Höhe) und die Wurzeltiefe abhängig von der Produktivität der Vegetation. Dabei wurde festgestellt, wenn zusätzlich die Sedimentdicke in die Simulation einbezogen wird, verbessert sich die Simulation der saisonalen Evapotranspiration und gleichzeitig entspricht die räumliche Verteilung von immergrünen und regengrünen Tropenwäldern den heutigen beobachteten Daten. Durch diese Modellentwicklung konnte ein seit langem bestehendes Modellierungsproblem gelöst werden (Sakschewski et al. 2021). Des Weiteren setzte die Arbeitsgruppe ihre datengestützte Analyse von Bränden und Landnutzungsänderungen im Amazonasgebiet fort und stellte fest, dass extreme Brände räumlich an Abholzungsgrenzen und entlang von Autobahnen gebunden sind, die in den letzten Jahren mit verstärkter Abholzung wieder zugenommen haben (Cano-Crespo et al. 2021).

## Arbeitsgruppe

# Sicherer Handlungsraum Landbiosphäre

**Die Arbeitsgruppe zeigte das Dilemma auf, dass der mit der Erbringung negativer Emissionen einhergehende Wasserstress stärker sein könnte als der durch ungebremsten Klimawandel verursachte.** In einer umfassenden LPJmL-Modellstudie (Stenzel et al. 2021a) wurde der

Wasserbedarf für die Bewässerung großräumiger Plantagen zur Bioenergie-Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (BECCS) quantifiziert, denen gemäß Simulationen mit Integrated Assessment Models ein hohes CO<sub>2</sub>-Sequestrierungspotenzial zugewiesen wird. In weitgehender Übereinstimmung mit anderen globalen Studien – die in einem Review-Artikel (Stenzel et al. 2021b) ausführlich besprochen wurden – stellte die Arbeitsgruppe fest, dass dieser Wasserbedarf durchaus in einer Größenordnung vergleichbar mit dem derzeitigen landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf liegt. Damit würde man auch den Wasserstress in vielen potenziellen Einsatzregionen erhöhen, was sogar die Erhöhung des Wasserstress übersteigen würde, die in Szenarien mit einer recht starken globalen Erwärmung (> drei Grad) ohne substanzielle BECCS erwartet wird. Nur ein verbessertes Wassermanagement sowohl auf Biomasseplantagen als auch auf landwirtschaftlichen Flächen könnte diese zusätzliche Belastung der Süßwassersysteme verringern. Darüber hinaus wurde ein Kommentar dazu veröffentlicht, wie die interaktiven Auswirkungen mehrerer planetarer Grenzüberschreitungen das Potenzial zur Erhaltung der globalen Wasser- und Ernährungssicherheit verringern könnte (Gerten und Kumm, 2021). Weiter wurde das Fachwissen der Arbeitsgruppe zur Darstellung von Dürren und deren Auswirkungen unter künftigem Klimawandel durch die Analyse von LPJmL-Ergebnissen als Teil von ISIMIP-Analysen mit mehreren Modellen beigetragen (z. B. Pokhrel et al. 2021). Im Rahmen des EU-H2020-Projekts NEGEM, bei dem die Arbeitsgruppe das Arbeitspaket zu den Auswirkungen von Technologien zur Erreichung negativer Emissionen leitet, wurde eine detaillierte Analyse des land- und kalorienneutralen Potenzials von Biokohlepfaden (PyCCS) durchgeführt und zur Veröffentlichung vorbereitet.

## Arbeitsgruppe

# Analyse des Gesamtsystems Erde-Mensch

**Die Gruppe veröffentlichte das integrierte Welt-Erde-Modellierungssystem copan:CORE und legte dessen theoretische Grundlagen als Taxonomie von Erdsystemprozessen und ihrer Interaktionen vor, untersuchte sowohl Mechanismen für positive soziale Kippunkte zur Klimastabilisierung als auch globales kollektives Verhalten zum Aufbau gesellschaftlicher Resilienz angesichts wechselwirkender Klima-, ökologischer und soziopolitischer Krisen und systemischer Risiken.** Der erste Entwicklungszyklus des integrierten Welt-Erdsystem-Modellierungssystems copan:CORE (Donges et al. 2020, mit RD4 und GaNe-FL im Rahmen der COPAN-Kollaboration) wurde abgeschlossen und die zugrundeliegenden theoretischen und konzeptionellen Grundlagen in einer Taxonomie biophysikalischer, sozio-metabolischer und sozio-kultureller Mensch-Erdsystem-Prozesse, ihrer Interaktionen und Rückkopplungsschleifen entwickelt (Donges et al. 2021). Zur weiteren Untermauerung dieser integrierten Welt-Erde-System-Analyse wurde ein theoretischer Rahmen vorgelegt, der aufzeigt, wie menschliches Handeln im Anthropozän konzeptualisiert werden kann (Otto et al. 2020). Zudem untersuchte die Arbeitsgruppe Mechanismen zur Auslösung rascher gesellschaftlicher Veränderungen zur Klimastabilisierung und identifizierte vielversprechende positive soziale Kippdynamiken und zugehörige kritische Interventionspunkte (Otto et al. 2020). Die Gruppe entwickelte neuartige Datenanalysemethoden, um die zugrundeliegende komplexe Ausbreitungsdynamik von Verhaltensweisen, sozialen Normen, Ideen oder Innovationen in zeitaufgelösten Netzwerkdaten aufzudecken (Donges et al. 2021). Die wichtigsten Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen klimatischen, ökologischen und sozialen Kipp-Prozessen wurden herausgearbeitet, um verfeinerte Definitionen und verbesserte dynamische Mehrebenen-Netzwerkmodelle solcher Kipp-Elemente zu entwickeln (Donges et al. 2022). Zur Bewältigung sich abzeichnender globaler systemischer Risiken und wechselwirkender klimatischer, ökologischer und sozio-politischer Krisen des Anthropozäns (Ide et al. 2020) wurden Prinzipien für eine bessere

Governance globalen kollektiven Verhaltens untersucht (Bak-Colemann et al. 2021). Zu diesem Zweck wurden Lehren aus der COVID-19-Pandemie gezogen (Ringsmuth et al. 2022), aus einer umfassenden Multi-Methoden-Datenanalyse des Nexus Klimaextreme-bewaffnete Konflikte-Kooperation (Ide et al. 2020) sowie aus Modellierungsstudien zur Dynamik der räumlichen politischen Polarisierung am Beispiel der Ukraine (Chu et al. 2021) und zu den Voraussetzungen für langfristiges, kollektives Handeln unter der Gefahr des Überschreitens drohender Klimakippunkte (Barfuss et al. 2020).

## Arbeitsgruppe

# Entwicklung von Erdsystemmodellen

**Die Entwicklungsarbeit am Potsdamer Erdmodell (POEM) wurde in mehreren Bereichen fortgesetzt: Modellbeschreibungspapiere und eine erste wissenschaftliche Anwendung des POEM-Kerns wurden veröffentlicht.**

Eine Modellbeschreibung und eine erste wissenschaftliche Anwendung der Kernversion von POEM, bestehend aus dem Atmosphärenmodell AM2, dem Ozeanmodell MOM5 und dem dynamischen Vegetationsmodell LPJmL (einschließlich dynamischer Vegetation, Permafrost, einem prozessbasierten Feuermodell und einem fortgeschrittenen Landnutzungsschema) wurden veröffentlicht (Drüke et al. 2021a, Drüke et al. 2021b). Derzeit wird es für eine integrierte Bewertung der interagierenden planetarischen Grenzen eingesetzt. Außerdem wurde eine Modellbeschreibung für die Kopplung von MOM5 mit PISM-PICO veröffentlicht (Kreuzer et al. 2021). Fortschritte wurden bei der Integration der aktuellen Ozeanmodellgeneration MOM6 in POEM erzielt. Dazu gehören Werkzeuge zur Modellierung des Meeresspiegelanstiegs, die eine Kopplung mit dem Eisschildmodell PISM und dem Landhöhenmodell VILMA ermöglichen, sowie ein grob aufgelöstes (d. h. schnelles) Setup von MOM6. Außerdem wurde mit der Entwicklung der nächsten Phase unseres Atmosphärenmodells, Aeolus2, begonnen (Rostami et al. eingereicht). Mit dem FutureLab „Artificial Intelligence in the Anthropocene“ (RD4) wird die Anwendung von maschinellem Lernen zur Verbesserung der Modellleistung im Vergleich zu Reanalysedaten untersucht (Hess et al. Abstract angenommen zur EGU2022).

## Abgeschlossene Promotionen

<b>Brugger, Julia</b>	Universität Potsdam	Modeling Changes in Climate during Past Mass Extinctions
<b>Di Capua, Giorgia</b>	Vrije Universiteit Amsterdam	The Indian monsoon and its interactions with the mid-latitude circulation
<b>Stenzel, Fabian</b>	Humboldt-Universität zu Berlin	The implications of large-scale irrigated bioenergy plantations for future water use and water stress
<b>Wunderling, Nico</b>	Universität Potsdam	Nonlinear dynamics and interactions of tipping elements in the Earth system

# Highlights

In einem Grundsatzurteil des Bundesverfassungsgerichts vom April 2021 zur intertemporalen Klimagerechtigkeit wurde ausführlich auf die Berechnungen eines nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionsbudgets nach dem Pariser Klimaabkommen für Deutschland Bezug genommen, die Wolfgang Lucht für den **Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung** (SRU) in Zusammenarbeit mit Stefan Rahmstorf erstellt hat, der über eine langjährige Expertise in der Wissenschaft der CO<sub>2</sub>-Budgets verfügt.

„**10 New Insights in Climate Science**“ (10 neue Erkenntnisse der Klimawissenschaft) war eine vielbeachtete Aktualisierung der neuesten Erkenntnisse der Klimawissenschaft

als Beitrag zu den COP26-Klimaverhandlungen in Glasgow im November 2021, veröffentlicht von Future Earth, The Earth League und dem Weltklimaforschungsprogramm, mit Beiträgen von Stefan Rahmstorf, Jonathan Donges, Ricarda Winkelmann und Kirsten Thonicke.

Das sehr erfolgreiche populäre Buch „**Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie**“ von Stefan Rahmstorf und Hans Joachim Schellnhuber, das mittlerweile seit 15 Jahren in gedruckter und aktualisierter Form vorliegt, ist seit 2021 in mehreren Sprachen erhältlich: neben Deutsch auch in Russisch, Türkisch, Arabisch, Koreanisch, Vietnamesisch und seit kurzem auch in Estnisch.

## Ausgewählte Veröffentlichungen

Caesar, L., McCarthy, G. D., Thornalley, D. J. R., Cahill, N., Rahmstorf, S. (2021): **Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium.** – Nature Geoscience, 14, 3, 118-120.

*Die Studie belegt, wie mehrere unabhängige Datensätze mit unterschiedlichen Proxies und Standorten durchweg das zeigen, was der Titel suggeriert.*

Di Capua, G., Sparrow, S., Kornhuber, K., Rousi, E., Osprey, S., Wallom, D., van den Hurk, B., Coumou, D. (2021): **Drivers behind the summer 2010 wave train leading to Russian heatwave and Pakistan flooding.** – npj Climate and Atmospheric Science, 4, 55.

*Die Studie zeigt, wie die miteinander verbundenen Ereignisse im Sommer 2021 der Hitzewelle in Russland und der Überschwemmungen in Pakistan durch Anomalien der Meeresoberflächentemperatur, ein Feuchtigkeitsdefizit in Russland und die Erwärmung der Landmassen in den hohen Breiten wahrscheinlicher geworden sind.*

Drüke, M., von Bloh, W., Petri, S., Sakschewski, B., Schaphoff, S., Forkel, M., Huiskamp, W. N., Feulner, G., Thonicke, K. (2021): **CM2Mc-LP-JmL v1.0: Biophysical coupling of a process-based dynamic vegetation model with managed land to a general circulation model.** – Geoscientific Model Development, 14, 6, 4117-4141

*Dieser Beitrag beschreibt einen Meilenstein der PIK-Modellentwicklung: die biophysikalische Kopplung des dynamischen Vegetationsmodells LPJmL mit einem Klimamodell.*

Ludescher, J., Martin, M. A., Boers, N., Bunde, A., Ciemer, C., Fan, J., Havlin, S., Kretschmer, M., Kurths, J., Runge, J., Stolbova, V., Surovyatkina, E., Schellnhuber, H. J. (2021): **Network-based Forecasting of Climate Phenomena.** – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 118, 47, e1922872118.

*Dieser Beitrag beschreibt eine neue Methodik zur Vorhersage von Klimaphänomenen, den Netzwerkansatz, bei dessen Entwicklung das PIK eine Vorreiterrolle gespielt hat.*

Robinson, A., Lehmann, J., Barriopedro, D., Rahmstorf, S., Coumou, D. (2021): **Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate.** – npj Climate and Atmospheric Science, 4, 45.

*Dieser Artikel enthält eine aktualisierte statistische Analyse der weltweiten Hitze- und Niederschlagsextreme, zehn Jahre nach der Vorgängerveröffentlichung, und zeigt, wie weit die jüngsten Extreme außerhalb der historischen Klimavariabilität lagen.*

Rousi, E., Selten, F., Rahmstorf, S., Coumou, D. (2021): **Changes in North Atlantic atmospheric circulation in a warmer climate favor winter flooding and summer drought over Europe.** – Journal of Climate, 34, 6, 2277-2295.

*In dieser Studie werden die kombinierten Auswirkungen der globalen Erwärmung und des AMOC-Rückgangs auf europäische Wetterextreme in einer hochauflösenden globalen Klimamodellsimulation analysiert.*

Sakschewski, B., von Bloh, W., Drüke, M., Sörensson, A. A., Ruscica, R., Langerwisch, F., Billing, M., Bereswill, S., Hirota, M., Oliveira, R. S., Heinke, J., Thonicke, K. (2021): **Variable tree rooting strategies are key for modelling the distribution, productivity and evapotranspiration of tropical evergreen forests.** – Biogeosciences, 18, 13, 4091-4116.

*Diese Arbeit stellt einen wichtigen Fortschritt in der Waldmodellierung dar, indem sie zeigt, wie durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Bewurzelungsstrategien von Bäumen (z.B. tiefe und flache Wurzeln) eine stark verbesserte Modellsimulation der heutigen Tropenwälder erreicht werden kann.*

Stenzel, F., Greve, P., Lucht, W., Tramberend, S., Wada, Y., Gerten, D. (2021): **Irrigation of biomass plantations may globally increase water stress more than climate change.** – Nature Communications, 12, 1512.

*Die Veröffentlichung quantifiziert einen Trade-off zwischen verschiedenen planetarischen Grenzen, indem sie zeigt, dass Biomasseplantagen, die den Klimawandel abmildern sollen, im Gegenzug den Wasserstress weltweit erhöhen würden und daher möglicherweise keine so gute Idee sind.*

Talento, S., Ganopolski, A. (2021): **Reduced-complexity model for the impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions on future glacial cycles.** – Earth System Dynamics, 12, 4, 1275-1293.

*Im Rahmen eines Projekts zur Planung von Langzeitlagern für nukleare Abfälle wurden Eiszeitzyklen bis zu einer Million Jahre in die Zukunft erforscht. Dabei zeigte sich, dass je nach unseren Emissionen in diesem Jahrhundert mehrere der natürlichen Eiszeiten der nächsten halben Million Jahre wahrscheinlich unterdrückt werden.*

Zeitz, M., Reese, R., Beckmann, J., Krebs-Kanzow, U., Winkelmann, R. (2021): **Impact of the melt-albedo feedback on the future evolution of the Greenland Ice Sheet with PISM-dEBM-simple.** – The Cryosphere, 15, 12, 5739-5764.

*In dieser Arbeit wird zum ersten Mal in einem modernen Eisschildmodell gezeigt, wie die Abdunkelung der Oberfläche des grönländischen Eisschildes die zukünftigen Schmelzraten und damit den Meeresspiegelanstieg verstärken wird.*

# Forschungsabteilung 2

# Klimaresilienz

Wie kann die Klimaresilienz über Sektoren und Skalen hinweg durch das Management globaler Gemeinschaftsgüter innerhalb der planetaren Grenzen erhöht werden?

Das Ziel unserer Forschung ist ein besseres Verständnis der Resilienz sozialer und ökologischer Systeme gegenüber dem Klimawandel, in verschiedenen Sektoren und auf verschiedenen räumlichen Skalen.

Übergreifende Forschungsthemen:

- **Auswirkungen des Klimawandels und der sozioökonomischen Konsequenzen** in Bezug auf Landnutzung, Landwirtschaft, Wälder, hydrologische Systeme, menschliche Gesundheit und Wohlergehen sowie urbane Räume.
- **Anpassungsfähigkeit von Gesellschaften und Ökosystemen**, über verschiedene Skalen hinweg und unter verschiedenen Klimaszenarien.
- **Synergien zwischen Klimawandelanpassung und -vermeidung**, zur Erhöhung der Klimaresilienz und zur Sicherstellung einer nachhaltigen gesellschaftlichen Entwicklung.

Leitung: **Sabine Gabrysch & Hermann Lotze-Campen**, Stellvertretung: **Fred Hattermann & Jürgen Kropp**,  
 Koordination: **Peggy Gräfe**, Sekretariat: **Gabriele Götz**

**RD2**

Ernährung und Gesundheit		Sektorübergreifende Klimawirkungen			Urbane Transformationen
<b>Klimawandel und Gesundheit</b>	<b>Landnutzung und Resilienz</b>	<b>Anpassung in Agrarsystemen</b>	<b>Wald- und Ökosystemresilienz</b>	<b>Hydroklimatische Risiken</b>	<b>Urbane Transformationen</b>
Amanda Wendt	Christoph Müller	Christoph Gornot	Christopher Reyer	Fred Hattermann	Jürgen Kropp

Das FutureLab „Ungleichheit, menschliches Wohlergehen und Entwicklung“ ist in die Struktur der Forschungsabteilung 2 integriert und konzentriert sich auf sozialwissenschaftliche Forschung zu nachhaltiger Entwicklung, Ungleichheit und menschlichem Wohlergehen.



# Ausgewählte Ergebnisse

## Arbeitsgruppe

### Klimawandel und Gesundheit

**Ernährungsprogramme können die Rolle und Handlungsfähigkeit von Frauen in Bangladesch stärken** – dies zeigen Studien unter Heranziehung von Daten aus dem FAARM-Projekt. Dieses hatte über drei Jahre Frauengruppen in Ernährungs- und Hygienefragen geschult und in der Gemüse- und Obstproduktion in Hausgärten sowie der Geflügelhaltung unterstützt. Nach Abschluss des Programms hatten teilnehmende Frauen eine gestärkte Position innerhalb ihrer Familien und Dorfgemeinschaften auf. So wiesen diese Frauen mehr Besitz und größere Kontrolle über die Haushaltseinnahmen, waren stärker in Gruppen eingebunden und empfanden geschlechtsspezifische Gewalt in Partnerschaften eher als nicht hinnehmbar. Dies unterstreicht die Bedeutung frauenzentrierter landwirtschaftlicher Projekte nicht nur zur verbesserten Ernährung, sondern auch zur Förderung der Geschlechtergerechtigkeit.

**Steigerung der Ernteerträge für Kleinbauern im ländlichen Bangladesch durch Pflanzenkohle-Dünger.** In einer Pilotstudie wurden Haushalte in der Herstellung und Anwen-

dung eines Düngers aus Pflanzenkohle und Kuh-Urin im Gemüseanbau geschult. Erste Untersuchungen zum Nutzen des Düngers ergaben eine hohe Akzeptanz bei den Anwendern und Anwenderinnen und eine um 60% gesteigerte Erntemenge von Kohl und Kohlrabi (Sutradhar et al. 2021). Aufbauend auf den Ergebnissen der Pilotstudie soll nun die Herstellung und Ausbringung des Düngers ausgebaut und weiter untersucht werden.

## Arbeitsgruppe

### Landnutzung und Resilienz

**Das Verständnis der globalen landwirtschaftlichen Produktion unter Klimawandel wurde durch den Einsatz von Modell-Ensembles und Emulatoren für Ernteerträge verbessert.** RD2-Forschende waren weiterhin federführend beim Vergleich globaler gerasterter Erntemodelle im Rahmen von AgMIP und ISIMIP (Abb. 1). Als Teil dieser Aktivitäten entstanden ein neues Ensemble von prozessbasierten Erntemodellprojektionen mit den neuesten Klimaszenarien von CMIP6 (Jägermeyr et al. 2021) sowie neue Emulatoren, die dazu beitragen, die Rolle des Klimawandels auf die jährlichen

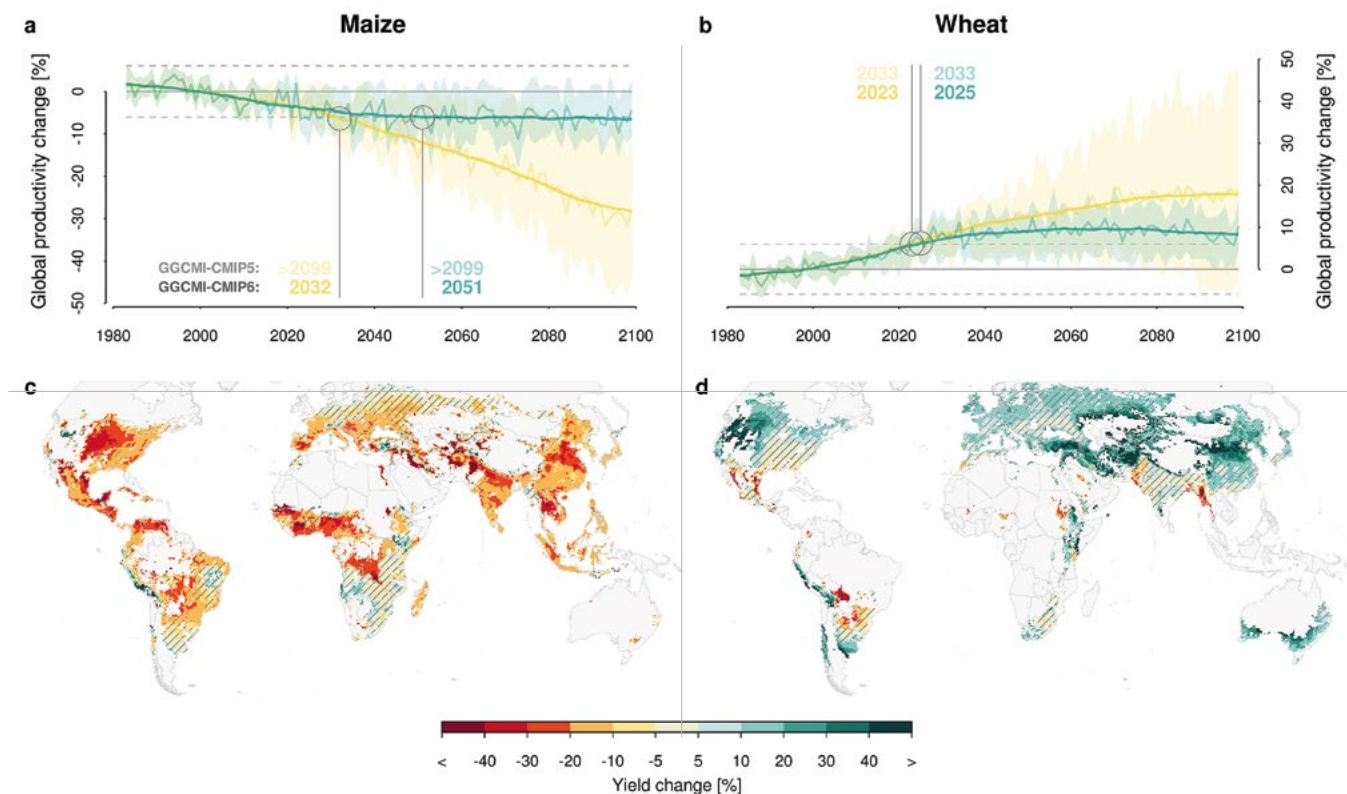


Abb. 1: Modellprojektionen zeigen, dass die mittlere Produktivität für Mais (a) und Weizen (b) schon in den kommenden Jahren die gewohnte Schwankungsbreite verlassen wird und damit substantiell andere Bedingungen vorherrschen. Während für Mais die meisten Gebiete von Ertragsverringerungen betroffen sind (c), können für Weizen viele Gebiete, v.a. durch die CO<sub>2</sub>-Düngung, bessere Erträge erzielen. (Abbildung aus Jägermeyr et al. 2021, *Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models*, *Nature Food*, doi: 10.1038/s43016-021-00400-y.

Schwankungen der Ernteerträge zu untersuchen (Liu et al. 2021). Eine auf Emulatoren basierende Analyse eines sehr großen Ensembles aus Klimaszenarien und Erntemodellen, die mit Prozessmodellen allein zu rechenintensiv wären, verbesserte das Wissen über modell- und szenarieninduzierte Unsicherheitsanteile.

**Ein neuer Analyserahmen ermöglicht die gemeinsame Betrachtung von Ernährungs- und Landnutzungspraktiken mit wirtschaftlichen und politischen Aspekten, um Entwicklungspfade der zukünftigen Ernährung besser zu untersuchen.** Der Analyserahmen unterstreicht die Notwendigkeit, kurzfristige Maßnahmen und Politiken mit langfristigen Zielen abzustimmen, damit die Transformation des Ernährungssystems in konkrete Schritte unterteilt werden kann. Die Autoren und Autorinnen betonen die zentrale Bedeutung der sozialen Inklusion für die Debatte über die Transformation des Ernährungssystems (Gaupp et al. 2021).

### Arbeitsgruppe

## Anpassung in Agrarsystemen

**Neue Methoden der räumlichen Analyse und Integration von Fernerkundungsdaten erweitern und verbessern die Analyse von Klimafolgen.** Maskell et al. (2021) haben in einer Analyse optische Sentinel- und Radar-Satellitendaten verwendet, um kleinbäuerliche Kaffeeproduktionssysteme und deren Merkmale in Vietnam zu kartieren. In einer weiteren Studie hat die Arbeitsgruppe den Rahmen für eine Vulnerabilitätsanalyse entwickelt, die auf einem indikatorbasierten Ansatz beruht und auch Fernerkundungsdaten einbezieht (Shukla et al. 2021). Die Verwendung von Klimaprojektionen ermöglichte zudem eine dynamische Bewertung der subnationalen Vulnerabilität. Beide Beispiele zeigen den Nutzen von Satelliten-Fernerkundungsdaten, um Datenlücken im Bereich Ertrags- und Klimafolgenmodellierung zu schließen.

**Der Klimawandel vermindert die Eignung von Kaffeeanbaugebieten in Äthiopien für den Anbau von qualitativ hochwertigen Kaffeesorten.** In einer vielbeachteten Studie über den Einfluss des Klimawandels auf Spezialitätenkaffee in Äthiopien zeigen Chemura et al. (2021), wie sich der Klimawandel auf unerwartete Weise auf unser tägliches Leben auswirken kann. Das Autorenteam untersuchte in verschiedenen Szenarien, wie sich insgesamt 19 Klimafaktoren, etwa die durchschnittliche Temperatur oder die jährliche Niederschlagsmenge, auf den Anbau von fünf verschiedenen Kaffeespezialitäten in der Zukunft auswirken werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich zwar die Bedingungen für Anbau von Kaffee mit durchschnittlicher Qualität positiv entwickeln könnten, allerdings wird die Eignung der Kaffeeanbaugebiete in Äthiopien für die Erzeugung von hochwertigem Kaffee voraussichtlich durch den Klimawandel eingeschränkt. Neben dem Verlust von qualitativ hochwertigem Kaffee für den Weltmarkt hätte dies insbesondere für Kleinbauern und Kleinbäuerinnen negative Auswirkungen, die von höheren Preisen für hochwertigen Kaffee profitieren und mit durchschnittlichen Erzeugnissen ein geringeres Einkommen in Kauf nehmen müssten.

### Arbeitsgruppe

## Wald- und Ökosystemresilienz

**Wälder und Holzprodukte spielen eine immer wichtigere Rolle für den Biodiversitäts- und Klimaschutz sowie für die Bioökonomie.** Die möglichen Beiträge sind aber angesichts des Klimawandels und der sich ändernden gesellschaftlichen Anforderungen an Wälder auch zunehmend umstritten. Außerdem müssen Wälder angepasst werden, um die Bereitstellung von Ökosystemleistungen zu gewährleisten. Die Arbeitsgruppe hat diese Problematik federführend in dem Kapitel über Wald und Klimawandel im "Forest Sector Outlook

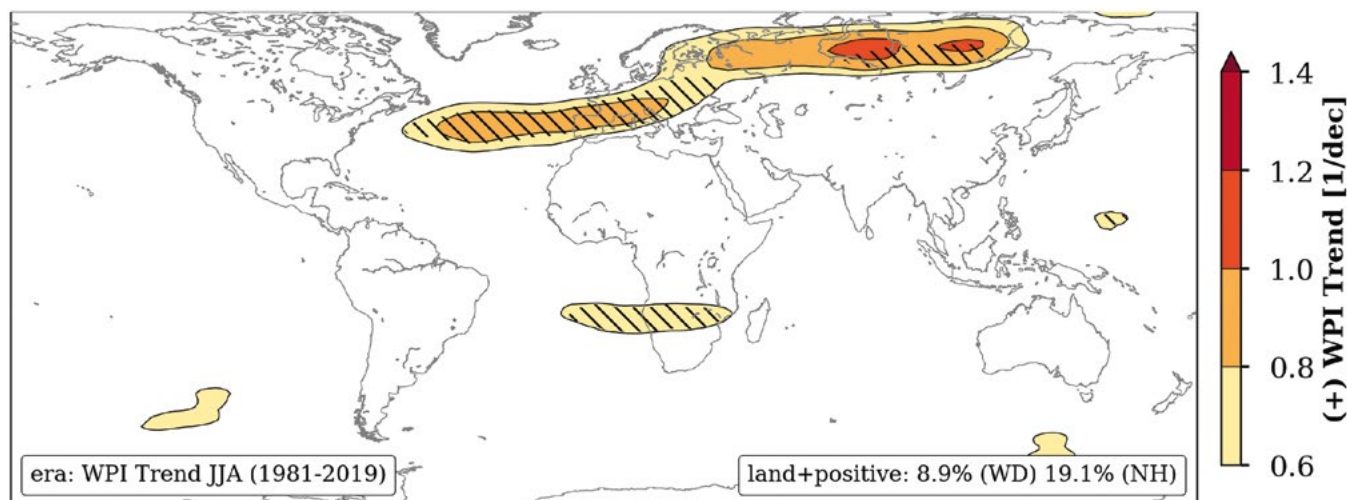


Abb. 2: Positive Trends in der Persistenz von Wetterlagen im Nordsommer und für die Periode 1981-2019 (Hoffmann, P., Lehmann, J., Fallah, B. et al. Atmosphere similarity patterns in boreal summer show an increase of persistent weather conditions connected to hydro-climatic risks. *Sci Rep* 11, 22893 (2021). doi.org/10.1038/s41598-021-01808-z). Die stärksten Anstiege in der Beständigkeit von Wetterlagen findet man in einem Band vom Nordatlantik über Europa bis nach Sibirien. Über Europa begünstigt dies eine Zunahme von Hitzewellen und wahrscheinlich auch anderer hydroklimatischer Extreme (z.B. Trockenphasen und Dauerregen).

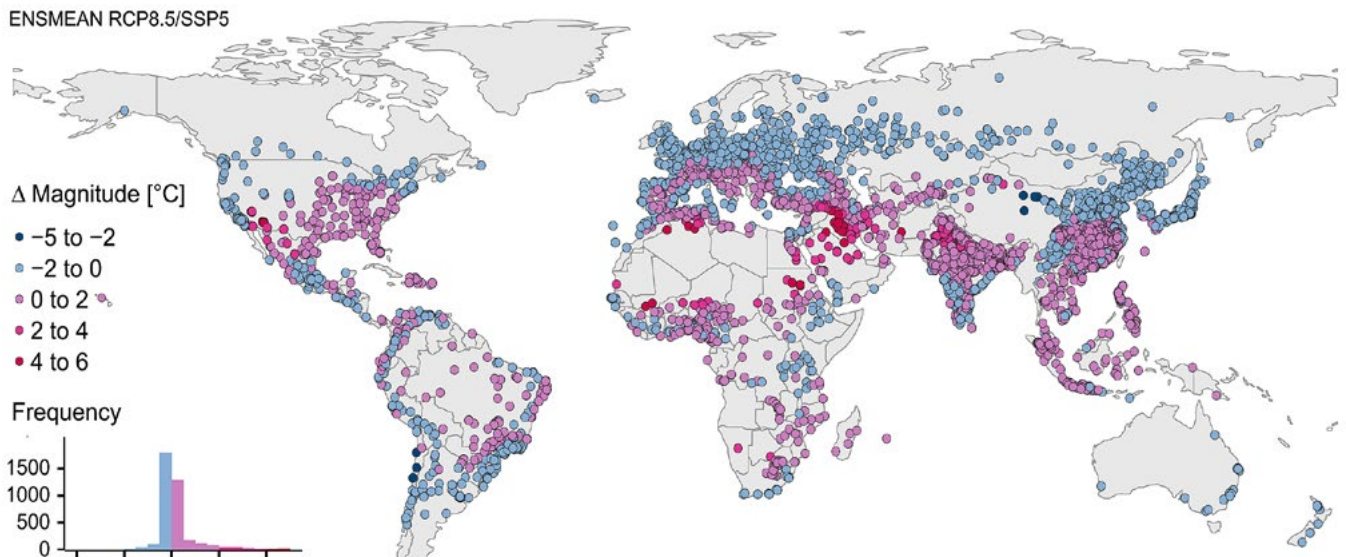


Abb. 3: Zukünftige Hitzeexposition in Städten unter dem RCP8.5/SSP5 Szenario (Krummenauer, L., Costa, L., Prah, B.F. et al. Future heat adaptation and exposure among urban populations and why a prospering economy alone won't save us. *Sci Rep* 11, 20309 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99757-0>)

Study Report” der Wirtschaftskommission für Europa (UNECE) (2021) analysiert. Der Bericht untersucht sieben globale politische Fragen zur Zukunft der Wälder und kommt zu dem Schluss, dass Anpassung und Klimaschutz gemeinsam geplant werden müssen und dabei die globale Vernetzung von Holzproduktion und Landnutzungswandel durch Märkte und Handel berücksichtigt werden müssen.

**Die globale Landfläche weist Austrocknungsgeschwindigkeiten auf, die sich zunehmend auf Biodiversität, Ernährungssysteme und Stadtgebiete auswirken.** In einer Kooperation mit Forschenden der Auburn University (Shi et al. 2021) wurden Trockenheitstrends mit den Verbreitungsgebieten terrestrischer Wirbeltiere und Pflanzen in der Vergangenheit (1979 bis 2016) verknüpft und in die Zukunft projiziert (2050 bis 2099). Diese Erkenntnisse können bei der Gestaltung von Schutzgebietsnetzen berücksichtigt werden, um Gebiete mit hoher Austrocknungsgeschwindigkeit zu vermeiden.

### Arbeitsgruppe

## Hydroklimatische Risiken

Ein neues Analyseverfahren zur Erfassung der Persistenz (Andauer) von Wetterlagen hilft, deren Zusammenhänge mit hydroklimatischen Extremen besser zu verstehen und ihre langfristigen Veränderungen weltweit zu quantifizieren. Die von Hoffmann et al. (2021) entwickelte neue Methode basiert auf einem etablierten Bilderkennungsansatz. Von 1981 bis 2020 wurden zunehmende Langzeittrends im borealen Sommer über dem Nordatlantik, Europa und Sibirien sowie ungewöhnliche positive Anomalien in den Extremjahren 2010 (Sibirien) und 2018 (Nordatlantik) gefunden (Abb. 2). Dieser relevante Mechanismus zur Auslösung extremer Wetterereignisse sollte idealerweise auch in Klimamodell-Simulationen abgebildet sein. Ein systematisches Screening von Klimamodell Daten hat

bereits begonnen und wird im Jahr 2022 fortgesetzt.

**Einer der gegenwärtig größten Wasserkonflikte der Welt, von eminenter Wichtigkeit für die Wasserversorgung im Nileinzugsgebiet, kann durch ein integriertes Management der erneuerbaren Energieerzeugung in Ostafrika entschärft werden.** Äthiopien flutet gegenwärtig den Grand Ethiopian Renaissance Dam, zukünftig Afrikas größter Staudamm. Dieser speichert das Wasser des Blauen Nils, welcher mehr als 60% zur Gesamtwassermenge des Nilzuflusses in Ägypten beiträgt. Je nach Befüllungsstrategie wird dies starke Folgewirkungen für die Unterliegerstaaten Sudan und Ägypten haben. Falls man aber die Bewirtschaftung des Stausees in die Bewirtschaftung der anderen schon geplanten erneuerbaren Energiequellen wie Solar- und Windenergie einbezieht, könnte dies zum Vorteil aller Anrainer sein. Wasserkraft kann als Reserve in Perioden genutzt werden, in denen die anderen Energiequellen weniger liefern. Wie Sterl et al. (2021) zeigen, ergänzen sich die drei Quellen über das Jahr in ihren Leistungsspitzen sehr gut. Die Ergebnisse stoßen auf großes Interesse der Entscheidungstragenden in der Region und wurden in verschiedenen Workshops vorgestellt und diskutiert.

### Arbeitsgruppe

## Urbane Transformationen

**Hitzebedingte Sterblichkeit in Städten kann durch Anpassung minimiert werden.** Für fast 4.000 Städte weltweit wurden langfristige Veränderungen der minimalen Sterblichkeit modelliert. Die gute Nachricht ist, dass für ca. 60-80% der Städte die Konsequenzen für die menschliche Gesundheit aufgrund einer hypothetisch möglichen Anpassung in Grenzen gehalten werden können. Anpassung ist prinzipiell entweder durch einen hohen sozioökonomischen Standard oder eine Akklimatisierung an die erhöhte Hitzeexposition möglich (siehe Abb. 3). Diese Möglichkeiten sind allerdings in einem hohen Maß ortsabhängig (Krummenauer et al. 2021).

**Freiwillige Lebensstiländerungen durch gezielte Tipps und Feedbacks (CO<sub>2</sub>-Rechner) erzielen CO<sub>2</sub>-Einsparungen von 10% pro Jahr und sollten von Post-Covid-19-Maßnahmen berücksichtigt werden, um Rebound-Effekte zu vermeiden.** Im Rahmen eines städtischen Reallabors konnten 100 Haushalte in Berlin im Schnitt 10% CO<sub>2</sub> einsparen – etwas mehr, als deutschlandweit durch die Einschränkungen im Rahmen der Corona-Krise zu Stande gekommen ist. Ein Teil der Corona-Rückgänge kann auf Präferenzänderungen zurückgeführt werden. Klimaneutralitätspolitik in der Post-Corona-Phase kann darauf aufbauen (Reusswig et al. 2021).

**Die Renaissance der Landwirtschaft unterstützt die lokale Lebensmittelproduktion in den Städten.** Basierend auf einem Vorhersagemodell der Aufteilung des Bruttoinlands-

produkts (BIP) auf die Sektoren Landwirtschaft, Industrie und Dienstleistungen wurde die sektorspezifische Entwicklung von Städten in den USA zwischen 2001 und 2009 untersucht (Rybski et al. 2021). Einige Städte in den USA weisen einen sehr starken Dienstleistungssektor auf, während andere eine Renaissance der Landwirtschaft zeigen, was sich in einem gestiegenen landwirtschaftlichen Anteil am BIP widerspiegelt. Dieses Phänomen kann mit einer fortschreitenden Industrialisierung des Agrarsektors in der Nähe von städtischen Gebieten und mit Regierungsinitiativen zur Förderung ökologischer und anderer alternativer landwirtschaftlicher Produktionssysteme zusammenhängen.

## Abgeschlossene Promotionen

**David Landholm** Humboldt-Universität zu Berlin Climate change mitigation potential through land use change

---

## Highlights

**Sabine Gabrysch** war Teil der internationalen Vorstellung des **WBGU-Impulspapiers “Planetary Health: Worüber wir reden müssen”** am 14. Dezember 2021. Als Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) stellte sie das Papier vor und nahm gemeinsam mit Gästen der Weltgesundheitsorganisation WHO und der University of Washington am Panel teil. Die Erkenntnisse aus diesem Dialogprozess werden in das für 2023 geplante neue Hauptgutachten des Beirats zur Planetaren Gesundheit einfließen.

Drei Wissenschaftler\*innen der Arbeitsgruppe **“Adaptation in Agricultural Systems”** wurden 2020 und 2021 zu Professoren ernannt: **Christoph Gornott** an der Universität Kassel,

**Bernhard Schaubberger** an der Fachhochschule Weihenstephan-Triesdorf und **Roopam Shukla** am Indian Institute of Technology Roorkee, Indien.

**Das FSEC-Team** organisierte ein Science Days Side Event auf dem **UN Food Systems Summit** mit dem Titel “Learnings from country-level pathways to the global food policy debate”. Hierbei ging es um die Rolle von Forschenden bei der Stärkung der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Politik und um die Unterstützung von politischen Entscheidungstragenden bei der Implementierung eines integrierten Ansatzes für Ernährungs- und Landnutzungssysteme. Die Veranstaltung fand am 5. Juli 2021 in New York, NY, USA, statt.

# Ausgewählte Veröffentlichungen

Chemura, A., Mudereri, B. T., Yalew, A. W., & Gornott, C. (2021). **Climate change and specialty coffee potential in Ethiopia**. *Scientific Reports*, 11(1), 8097. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87647-4>

*Diese Studie liefert eine quantitative Risikobewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Eignung von fünf Premium-Spezialitätenkaffees in Äthiopien. Die Ergebnisse zeigen, dass der Klimawandel den äthiopischen Spezialitätenkaffeesektor erheblich beeinträchtigen wird und gebietspezifische Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind, um die Widerstandsfähigkeit zu erhöhen.*

Costa L, Moreau V, Thurm B, Yu W, Clora F, Baudry G, Warmuth H, Hezel B, Seydewitz T, Ranković A, Kropp JP (2021): **The decarbonisation of Europe powered by lifestyle changes**. *Environmental Research Letters*, 16(4) 044057.

*Auf der Grundlage des European Calculator-Modells wurde das Zusammenspiel von Verhaltensänderungen und technologischen Veränderungen untersucht. Die Studie zeigt, dass Verhaltensänderungen einen Beitrag von mehr als 20% der für das Netto-Null-Ziel der EU bis 2050 erforderlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen leisten können.*

Gaupp, F., C. Ruggeri Laderchi, H. Lotze-Campen, F. DeClerck, B. L. Bodirsky, S. Lowder, A. Popp, R. Kanbur, O. Edenhofer, R. Nugent, J. Fanzo, S. Dietz, S. Nordhagen, S. Fan **'Food System Development Pathways for Healthy, Nature-Positive and Inclusive Food Systems'**. *Nature Food*, December 2021, 1–7. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00421-7>

*In diesem Artikel wird ein neuartiger Analyserahmen für die Transformation des Ernährungssystems beschrieben. Er bietet Entscheidungsträgern eine Orientierungshilfe, indem er die Transformation in einzelne Schritte unterteilt und die kurzfristige politische Bewertung mit langfristigen modellbasierten Pfaden verknüpft.*

Hoffmann, P., Lehmann, J., Fallah, B. et al. **Atmosphere similarity patterns in boreal summer show an increase of persistent weather conditions connected to hydro-climatic risks**. *Sci Rep* 11, 22893 (2021). [doi.org/10.1038/s41598-021-01808-z](https://doi.org/10.1038/s41598-021-01808-z)

*In dieser Veröffentlichung wird eine neue Methode vorgestellt, mit der sich langfristige Veränderungen des persistenten Wetters besser erkennen und quantifizieren lassen, indem strukturelle Ähnlichkeiten aufeinander folgender Zirkulationsmuster verglichen werden. Dadurch können Regionen identifiziert werden, in denen die zunehmende Wetterpersistenz mit einer höheren Häufigkeit von hydroklimatischen Extremen verbunden ist.*

Jägermeyr J, Müller C, Ruane AC, Elliott J, Balkovic J, Castillo O, Faye B, Foster I, Folberth C, Franke JA, Fuchs K, Guarin JR, Heinke J, Hoogenboom G, Iizumi T, Jain AK, Kelly D, Khabarov N, Lange S, Lin T-S, Liu W, Mialyk O, Minoli S, Moyer EJ, Okada M, Phillips M, Porter C, Rabin SS, Scheer C, Schneider JM, Schyns JF, Skalsky R, Smerald A, Stella T, Stephens H, Webber H, Zabel F, and Rosenzweig C. 2021, **Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models**, *Nature Food*, doi: 10.1038/s43016-021-00400-y.

*Hier werden die Entwicklungen der landwirtschaftlichen Erträge anhand einer großen Anzahl prozessbasierter Erntemodelle und der neuesten CMIP6-Projektionen des Klimawandels unter verschiedenen Treibhausgas-Emissionspfaden untersucht. Die prognostizierten Durchschnittserträge werden sich sehr bald außerhalb der derzeitigen interannuellen Ertragsvariabilität bewegen und die Ertragsprognosen sind daher insgesamt deutlich pessimistischer als in früheren Schätzungen.*

Lobanova A., Didovets I., Menz C., Umirbekov A., Babagaliyeva Z., Hattermann F., Krysanova V. 2021 **Rapid assessment of climate risks for irrigated agriculture in two river basins in the Aral Sea Basin**. *Agricultural Water Management*. 243, 106381. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106381>.

*Wasserkonflikte sind eine der Hauptursachen für politische Instabilität in Zentralasien. In dieser Studie zeigen wir, dass der Klimawandel aufgrund von Wasserknappheit zu Problemen bei der landwirtschaftlichen Bewässerung führen wird. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Anbaupläne für bewässerte landwirtschaftliche Produktion an die sich ändernden Vegetationsperioden und den Zeitpunkt der Abflussspitzen der Flüsse anzupassen.*

Shi H, H Tian, S Lange, J Yang, S Pan, B Fu, CPO Reyer (2021) **Terrestrial biodiversity threatened by increasing global aridity velocity under high level warming**. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* <https://doi.org/10.1073/pnas.2015552118> (press release)

*Diese Arbeit zeigt, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit von zukünftiger Trockenheit zwar schwieriger vorherzusagen ist, aber für ein breites Spektrum von Arten ebenso wichtig ist wie die Geschwindigkeit der Temperaturveränderung.*

Shukla, R., Gleixner, S., Yalew, A. W., Schauberg, B., Sietz, D., Gornott, C. (2021). **Dynamic vulnerability of smallholder agricultural systems in the face of climate change for Ethiopia**. *Environmental Research Letters*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abdb5c>

*Durch die Integration von Volkszählungsdaten, Fernerkundungsdaten und Klimadaten in einem indikatorbasierten Ansatz konnte festgestellt werden, dass die Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel in Äthiopien zunimmt. Es wurden Hotspots mit höheren klimabedingten Risiken ermittelt und geeignete Anpassungsoptionen vorgeschlagen.*

Sterl, S., Fadly, D., Liersch, S., Koch, H. and Thiery, W. (2021) **Linking solar and wind power in eastern Africa with operation of the Grand Ethiopian Renaissance Dam**. *Nature Energy* 6, 407–418.

*Diese Studie zeigt, dass Konflikte zwischen Äthiopien, Sudan und Ägypten im Zusammenhang mit Afrikas größtem Wasserkraftwerk, dem neuen Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD), durch einen massiven Ausbau der Solar- und Windenergie in der Region entschärft werden könnten. Die Anpassung des GERD-Betriebs zur Unterstützung der Netzintegration könnte regionale Win-Win-Situationen schaffen.*

Sutradhar, I., Jackson-deGraffenried, M., Akter, S., McMahon, S. A., Waid, J. L., Schmidt, H.-P., Wendt, A. S., Gabrysch, S. (2021): **Introducing urine-enriched biochar-based fertilizer for vegetable production: acceptability and results from rural Bangladesh**. *Environment, Development and Sustainability*, 23(9):12954-12975. doi: 10.1007/s10668-020-01194-y.

*In dieser Arbeit wurde der Einsatz von Düngemitteln auf der Basis von Biokohle und dessen Auswirkungen auf die Erträge von Gartenkulturen in Bangladesch mit Hilfe eines gemischt qualitativen und quantitativen Forschungsansatzes beschrieben. Vergleichende Feldversuche ergaben einen Ertragszuwachs von 60% bei Kohl und Kohlrabi sowie eine hohe Akzeptanz und einfache Anwendbarkeit, was ein großes Potenzial für eine breitere Anwendung in Bangladesch zeigt.*

# Forschungsabteilung 3

# Transformationspfade

Wie sehen Transformationspfade aus, die eine nachhaltige Bewirtschaftung von Atmosphäre und Biosphäre als globales Gemeingut implizieren, und was gewinnen wir im Vergleich zu alternativen Pfaden, die die planetaren Grenzen überschreiten?

Die thematischen Schwerpunkte und Ziele sind:

- **Integration von Klimaschutz- und Klimafolgenpfaden:** Bewertung von Klimaschutzstrategien und verbleibenden Folgen des Klimawandels im Hinblick auf sozioökonomische Entwicklung, Verteilungseffekte und planetare Integrität.
- **Gesellschaftliche Auswirkungen des Klimawandels:** Betrachtung des Klimawandels als potenziellen Treiber von Migration, Vertreibung und Konflikten, insbesondere unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Wetterextremen.
- **Nachhaltige Transformationspfade:** Analyse von Klimaschutz- und nachhaltigen Entwicklungspfaden, die das Potenzial zur Abschwächung des Klimawandels voll ausschöpfen, gleichzeitig die Integrität der Biosphäre gewährleisten und den ökologischen Fußabdruck der Transformation hin zu emissionsneutralen Energiesystemen begrenzen.
- **Politische Strategien für Klimaschutzpfade:** Analyse von regulatorischen und ökonomischen klimapolitischen Instrumenten im Hinblick auf ihre Effizienz und Verteilungsimplicationen.

Leitung: **Elmar Kriegler & Katja Frieler**, Stellvertretung: **Gunnar Luderer & Matthias Mengel**,  
 Koordination: **Maria Löwinger**, Sekretariat: **Maria Aberspach, Isabel Guttman**

**RD3**

Pfad-spezifische Klimarisiken		Klimaschutz und nachhaltige Entwicklungspfade				
<b>Klimawandel und Bevölkerungsdynamik</b>	<b>Datenbasierte Modellierung sektorübergreifender Klimafolgen</b>	<b>Ökonomische Modellierung des Klimawandels</b>		<b>Landnutzungsmanagement</b>	<b>Energiesysteme</b>	<b>Klima- und Energiepolitik</b>
		<b>Ereignisbasierte Modellierung ökonomischer Folgen des Klimawandels</b>	<b>Makroökonomische Modellierung von Klimaschutzpfaden und Klimafolgen</b>			
Jacob Schewe	Matthias Mengel	Christian Otto	Marian Leimbach	Alexander Popp	Gunnar Luderer	Michael Pahle
<b>Forschungssoftwareentwicklung zur Analyse von Transformationspfaden</b>						
Jan Philipp Dietrich & Lavinia Baumstark						

Zusätzlich zu den Arbeitsgruppen sind die FutureLabs “Public Economic and Climate Finance” und “Sicherheit, ethnische Konflikte und Migration” in der Abteilung integriert.

# Ausgewählte Ergebnisse

## Arbeitsgruppe

## Klimawandel und Bevölkerungsdynamik

**Verbesserte Modelle der Migration.** Für die Analyse der internationalen Migration erfasst das in Rikani & Schewe (2021) vorgestellte Modell mehrere wichtige Mechanismen, die in früheren Modellen nicht berücksichtigt wurden. Für die Migration innerhalb eines Landes haben Kluge & Schewe (2021) den jüngst entwickelten „Strahlungs“-Modellansatz (bei dem sich bewegende Personen kumulativ „absorbiert“ werden, wenn sie sich von ihrem Ausgangspunkt nach außen bewegen) so erweitert, dass er eine nützliche und mathematisch konsistentere Alternative zu den üblichen „Gravitations“-Modellen (bei denen die Bewegungsraten zwischen Ortspaaren mit der Bevölkerungsgröße zunehmen und mit der Entfernung abnehmen) sowohl für Kurz- als auch für Langstreckenbewegungen darstellen kann.

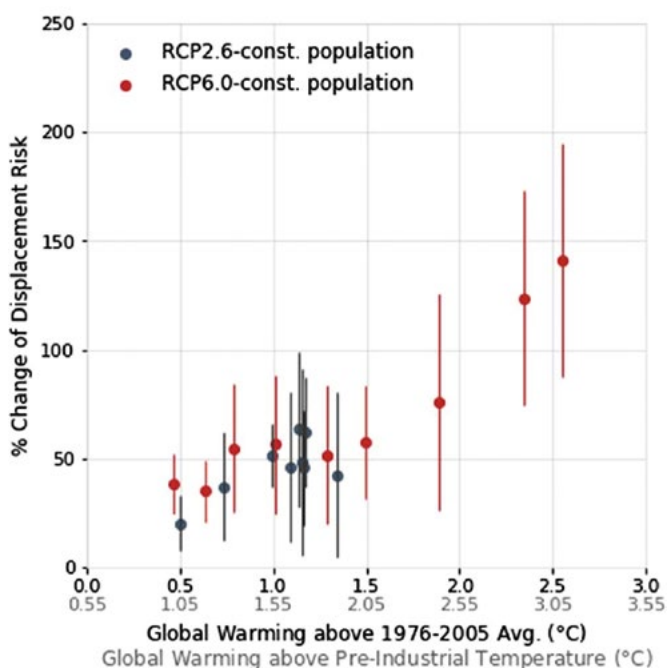


Abb. 1 **Prozentuale Veränderung des Vertreibungsrisikos durch Hochwasser in Abhängigkeit von der globalen Erwärmung im Vergleich zur Basistemperatur (Durchschnitt von 1976-2005) und zur vorindustriellen Temperatur (Durchschnitt von 1861-1900).** Die Grafik zeigt nur den Beitrag des Klimawandels in den Szenarien RCP2.6 (grau) und RCP6.0 (rot) zum Vertreibungsrisiko durch Hochwasser, wobei die Bevölkerungsverteilung im Basisjahr 2000 konstant gehalten wird. Bei einer Erwärmung von 1,5 °C bis 2 °C über dem vorindustriellen Niveau steigt das Vertreibungsrisiko im Multi-Modell-Mittel über beide Szenarien hinweg um etwa 50%. Eine Erwärmung um 2,5 °C über dem vorindustriellen Niveau führt zu einem wesentlich stärkeren Anstieg des Vertreibungsrisikos um etwa 75%. Quelle: (Kam, P. et al. (2021): Global warming and population change both heighten future risk of human displacement due to river floods. – Environmental Research Letters, 16, 4, 044026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd26c>)

## Binnenüberschwemmungen als Prädiktor für Vertreibung.

In Bezug auf katastrophenbedingte Binnenvertreibungen hat RD3 Neuland betreten, indem es erstmals räumlich explizite, modellübergreifende Projektionen der Hochwassergefahr (auf der Grundlage von ISIMIP-Daten) verwendet hat, um künftige Veränderungen des Vertreibungsrisikos abzuschätzen (siehe Abbildung 1, Kam et al. 2021; Desai et al. 2021). Zudem wurde die Fähigkeit der Modelle untersucht, das beobachtete Ausmaß von Überschwemmungen ereignisweise zu reproduzieren, um die Anfälligkeit für Vertreibungen zu quantifizieren und zuzuordnen (Mester et al. 2021).

## Arbeitsgruppe

## Datenbasierte Modellierung sektorübergreifender Klimafolgen

**ISIMIP A/B Klimaforcings.** RD3 lieferte neue, um Verzerrungen bereinigte Klimaforcings für ISIMIP3 auf der Grundlage von Lange et al. (2019) und veröffentlichte das Konzept und die Daten für die Wirkungszuschreibung innerhalb von ISIMIP 3A (Mengel et al. 2021). Das offene und interaktive ISIMIP-Protokoll (Protocol.ISIMIP.org) und der Datenspeicher (Data.ISIMIP.org) sind nun beide einsatzbereit.

## Simulation der Ausgesetztheit gegenüber Extremereignissen.

RD3 hat eine Modellierung für die Simulation von durch tropischen Wirbelstürmen ausgelösten Küstenüberschwemmungen entwickelt, die den Weg für eine globale prozessbasierte Schätzung und Zuordnung von Küstenschäden ebnet. Eine Publikation dazu ist in Vorbereitung. RD3 verbesserte zudem die Analyse von Unterschieden in der Ausgesetztheit gegenüber Extremereignissen zwischen Alterskohorten (Thiery et al. 2021).

## Arbeitsgruppe

## Ereignisbasierte Modellierung ökonomischer Folgen des Klimawandels

## Auswirkungen von Wirbelstürmen auf das Wirtschaftswachstum.

RD3 kombinierte einen Emulator für tropische Wirbelstürme (Geiger et al. 2021) mit empirischen Abschätzungen ihrer Langfristwirkungen auf das Wirtschaftswachstum (Krichene et al. 2021) und schätzte Änderungen der nationalen Wachstumstrajektorien von betroffenen Ländern unter verschiedenen Klima- und sozioökonomischen Szenarien

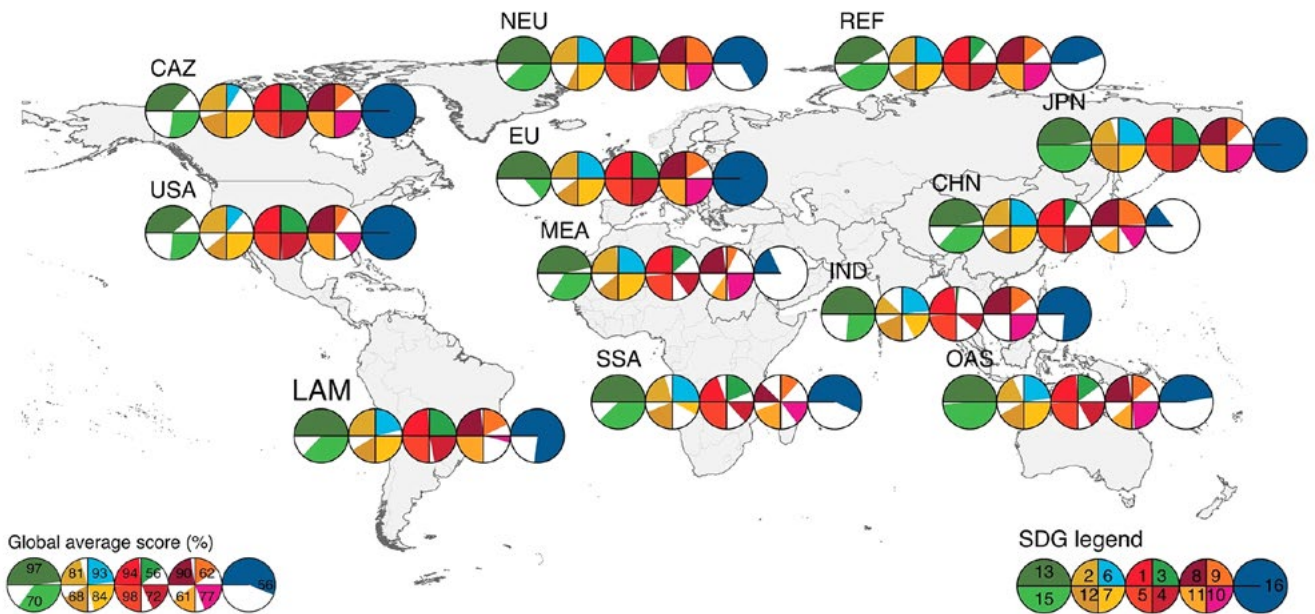


Abb. 2 Regionale SDG-Indikatorwerte in unserem SDP-Szenario im Jahr 2030: Für jede Region stehen die fünf Kreise für die fünf Cluster „Planetare Integrität“, „Versorgung mit materiellen Bedürfnissen“, „Menschen“, „Wohlstand“ und „Politische Institutionen“ (von links nach rechts), unterteilt in Segmente entsprechend der Anzahl der enthaltenen SDGs. Die farbige Füllung jedes Segments zeigt die regionale Punktzahl für den jeweiligen SDG-Schlagzeilenindikator, wobei ein leeres Segment dem schlechtesten regionalen Wert im Jahr 2015 entspricht. Als Referenz zeigen wir unten links den bevölkerungsgewichteten globalen Durchschnittswert und unten rechts eine SDG-Legende. Die durchgezogenen grauen Linien markieren die geografischen Grenzen der Modellregionen. Regionale Codes: Kanada/Australien/Neuseeland (CAZ), China (CHN), Europäische Union (EU), Indien (IND), Japan (JPN), Lateinamerika und Karibik (LAM), Naher Osten und Nordafrika (MEA), europäische Nicht-EU-Länder (NEU), andere asiatische Länder (OAS), Russland und ehemalige Sowjetrepubliken (Reforming Economies, REF), Afrika südlich der Sahara (SSA), Vereinigte Staaten von Amerika (USA). Die Ergebnisse zeigen, dass kein Land und keine Region 2030 die SDGs vollständig erreicht. Wichtig ist jedoch, dass sich sowohl die Regionen mit niedrigem als auch die mit hohem Einkommen im Vergleich zum Status quo bis 2030 bereits erheblich verbessern, und für die meisten Indikatoren prognostizieren wir weitere Fortschritte bis 2050. (Reprinted by permission from Springer Nature from: Sörgel, B. et al. (2021): A sustainable development pathway for climate action within the UN 2030 Agenda. – Nature Climate Change, 11, 8, 656-664. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01098-3>)

ab. Im Gegensatz zu früheren Studien wurden dabei nicht nur Veränderungen in der Exposition sondern auch Vulnerabilitätsunterschiede zwischen den Ländern berücksichtigt. Dies ermöglicht die Identifizierung von Ländern mit hohen Anpassungsbedarfen. Zudem werden neuartige Temperatur-Schadensfunktionen für tropische Wirbelstürme entwickelt, die eine adäquate Einbeziehung der von diesen Ereignissen verursachten Schäden in die integrierte Bewertung von den Kosten des Klimawandels entlang von Klimaschutzpfaden ermöglichen.

### Arbeitsgruppe

## Makroökonomische Modellierung von Klimaschutzpfaden und Klimafolgen

**Einbeziehung der Auswirkungen des Klimawandels in die Klimaschutzmodellierung.** Schultes et al. (2021) haben einen neuartigen Ansatz zur Integration von Auswirkungen des Klimawandels durch die Kopplung eines Schadensmoduls mit dem Integrated Assessment Modell REMIND entwickelt. Das Schadensmodul berechnet die Verluste der Wirtschaftsleistung und die damit verbundenen gesellschaftlichen Kosten des Klimawandels auf der Grundlage modernster empirischer Schadensfunktionen. Der Ansatz wurde im Rahmen von Arbeiten für das Network for Greening the Financial System (NGFS) angewandt, die eine integrierte Analyse der physischen Risiken des Klima-

wandels sowie der Risiken von Klimaschutzmaßnahmen lieferten. Piontek et al. (2021) legte die allgemeinen Herausforderungen bei der Quantifizierung der wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels dar.

**Überarbeitung von Klimaschutzszenarien.** RD3 trug aktiv zu einer Überarbeitung von Klimaschutzszenarien der Integrated Assessment Modelling Community bei, indem es alle gemeinsamen sozioökonomischen Szenarien (SSP) hinsichtlich der Projektionen des Bruttoinlandprodukt (BIP) aktualisierte, um die jüngsten Entwicklungen, einschließlich der Auswirkungen der COVID-Pandemie, zu berücksichtigen. Dabei erweiterte RD3 auch die verfügbaren Wirtschaftsprojektionen für die SSP durch die Entwicklung einer Reihe von Szenarien für den Strukturwandel, die eine sektorale Aufschlüsselung der BIP-Szenarien darstellen.

**Wesentliche Fortschritte bei der Bewertung der UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs).** Unter Verwendung eines integrierten Modellierungsrahmens, der 56 Indikatoren für alle 17 SDGs abdeckt, zeigen Soergel et al. (2021a), wie ein Paket für nachhaltige Entwicklung, das die internationale Klimafinanzierung, die progressive Umverteilung von Einnahmen aus einem CO<sub>2</sub>-Preis, eine ausreichende und gesunde Ernährung und einen verbesserten Zugang zu moderner Energie umfasst, zur Erreichung der SDGs beiträgt (siehe Abbildung 2). In einer weiteren Studie, die sich auf SDG13 (Maßnahmen zum Klimaschutz) und SDG1 (Keine Armut) konzentriert, zeigen Soergel et al. (2021b), dass eine



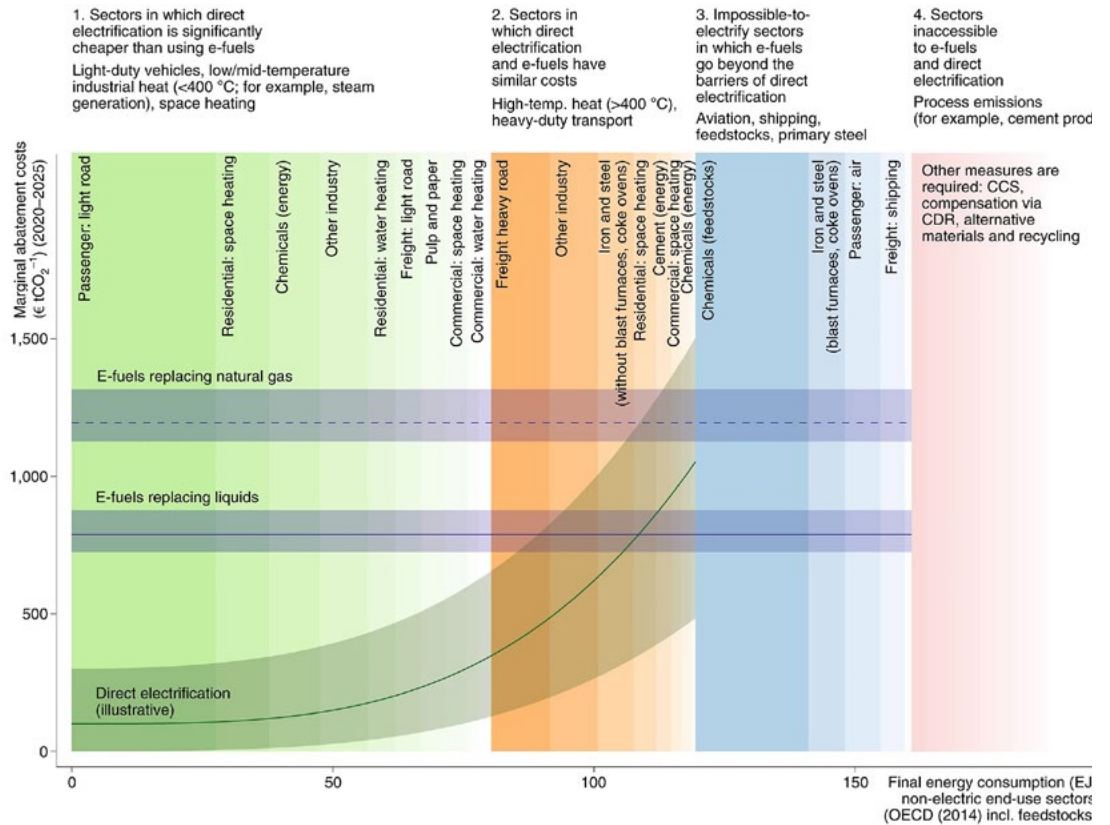


Abb. 3 **Priorisierung der Wasserstoffnutzung in verschiedenen Nachfragesektoren** (Reprinted by permission from Springer Nature from: Ueckerdt, F. et al. (2021): Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. – Nature Climate Change, 11, 5, 384-393. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7>)

faire Umverteilung der Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung genutzt werden kann, um einen Anstieg der Armut zu vermeiden, den ehrgeizige Klimaschutzbemühungen mit sich bringen könnten.

## Arbeitsgruppe

# Landnutzungsmanagement

**Detaillierte Darstellung der Dynamik von Waldflächen, Holzproduktion und Holznachfrage.** Mishra et al. (2021) haben das Landnutzungsmodell MAGPIE um eine detaillierte Darstellung der Dynamik von Waldflächen, Holzproduktion und Holznachfrage erweitert. Diese Erweiterungen ermöglichen ein besseres Verständnis der Landnutzungsdynamik (einschließlich des Wettbewerbs um Land) und der damit verbundenen Emissionen von Landnutzungsänderungen durch die Holzproduktion. Es zeigt sich, dass sich die räumlichen Muster der Anbauflächen unterscheiden, wenn die Holzproduktion berücksichtigt wird, was darauf hindeutet, dass Holzplantagen mit Anbauflächen um die gleichen knappen Bodenressourcen konkurrieren. Durch die Einbeziehung neuer Forstplantagen und der Dynamik natürlicher Wälder stimmen RD3 Schätzungen landbezogener CO<sub>2</sub>-Emissionen besser mit den beobachteten Daten überein, insbesondere mit den Bruttoemissionen aus Landnutzungsänderungen und der Kohlenstoffaufnahme (über das Nachwachsen). Dies spiegelt eine höhere Entwaldung mit der Ausweitung der bewirtschafteten Flächen und der Holzproduktion sowie ein höheres Nachwachsen in natürlichen Wäldern und Plantagen wider.

**Landnutzungspfade besser vergleichbar mit Treibhausgasinventaren.** RD3 koordinierte und leistete einen Beitrag

zu einer Studie, in der die durch Integrated Assessment Models abgeleiteten Pfade zur Minderung der Landnutzung in Schätzungen übersetzt wurden, die besser mit Treibhausgasinventaren von Ländern vergleichbar sind. Dieser Ansatz (Grassi et al. 2021) ändert die ursprünglichen Dekarbonisierungspfade nicht, sondern ordnet einen Teil der Landsenke neu zu, um mit den Treibhausgasinventaren übereinstimmen zu können. Diese Unterschiede sollten berücksichtigt werden, um eine genaue Bewertung der Fortschritte im Hinblick auf das Pariser Abkommen zu gewährleisten.

## Arbeitsgruppe

# Energiesysteme

**Fortschritte bei der Analyse der Rolle der erneuerbaren Energien für die globale Dekarbonisierung.** Auf der Grundlage des Integrated Assessment Models REMIND haben Luderer et al. (2021a) gezeigt, dass der technologische Wandel in Verbindung mit einer CO<sub>2</sub>-Bepreisung weltweit zu einer grundlegenden Veränderung der Energiemärkte führen kann, die eine weitreichende Elektrifizierung der Endverbraucher in Gebäuden, im Verkehr und in der Industrie auf der Grundlage billiger Solar- und Windenergie zur Folge hat. RD3 war zudem federführend bei Forschungsarbeiten, die die Grenzen der indirekten Elektrifizierung über grünen Wasserstoff und synthetische E-Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien aufzeigen (siehe Abbildung 3, Ueckerdt et al. 2021a). In Bezug auf die aktuelle Entwicklung zeigten Bertram et al. (2021), dass der kontinuierliche Ausbau von Wind- und Solarenergie in Kombination mit den Auswirkungen der COVID-Pandemie zu einem Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der globalen Stromerzeugung führt.

**Transformationspfade zur Klimaneutralität.** Luderer et al. (2021b) führten den ersten Modellvergleich zu Szenarien für die Erreichung der Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045 durch und identifizierten wichtige Voraussetzungen und Meilensteine für die Transformation der Sektoren, die bis 2030 erreicht werden müssen. Rodrigues et al. (2021) führten außerdem modellbasierte Analysen zu alternativen europäischen Dekarbonisierungsstrategien durch, die mit dem europäischen Green Deal im Einklang stehen und in die deutsche Wasserstoffstrategie einfließen (Ueckerdt et al. 2021b).

**Verbessertes Verständnis der Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre (CDR).** Streffler et al. (2021) haben gezeigt, wie die Form der CO<sub>2</sub>-Preis-Trajektorien konstruiert werden sollte, um den CDR-Einsatz zu begrenzen und technische und Nachhaltigkeitsrisiken zu verringern. Mit einer REMIND-MAgPIE-Studie lieferten die Forschenden die erste Studie mit einem größeren Portfolio von CDR-Optionen und zeigten, wie die regionale Konzentration von Wiederaufforstung und verstärktem Verwitterungspotenzial zu größeren Fairness- und Nachhaltigkeitsbedenken für diese Optionen führen kann. Zusammen mit dem Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) trugen RD3-Forschende zudem zu einem Bericht über CDR für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (Edenhofer et al. 2021) und einem Bericht im Auftrag der Wissenschaftsplattform Klimaschutz (WPKS) (Fuss et al. 2021) bei.

## Arbeitsgruppe

# Klima- und Energiepolitik

**Unterstützung der Bevölkerung für Klimapolitik.** RD3 hat einen neuen Strang der empirischen Forschung zu der Frage ins Leben gerufen, was die Unterstützung der Bürger und Bürgerinnen für die Klimapolitik bestimmt. In Zusammenarbeit mit dem RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung wurden mehrere Haushaltsbefragungen mit über 6.000 Teilnehmenden durchgeführt. In der ersten Befragung wurde anhand von Choice-Experimenten gezeigt, dass die Rückverteilung der Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung die Unterstützung dafür deutlich erhöhen kann, wenn sie entlang der präferierten Fairnessprinzipien ausgestaltet wird (Sommer et al. 2022, im Druck). Außerdem wurde untersucht, wie bedenkenspezifische Videos mit vertrauenswürdigen Experten oder Expertinnen, die den Teilnehmenden gezeigt werden, deren Unterstützung für die CO<sub>2</sub>-Bepreisung erhöhen können.

**Weiterentwicklung des EU-ETS.** In Zusammenarbeit mit der Brüsseler Denkfabrik Bruegel haben Edenhofer et al. (2021) Argumente für einen gesamtwirtschaftlichen CO<sub>2</sub>-Preis für Europa und Empfehlungen für den Weg dorthin erarbeitet. Weitere Arbeiten analysierten das Risiko, das Finanzakteure für das Funktionieren des EU-ETS darstellen (Quemin & Pahle, 2021), und wie sich eine Reform der Marktstabilitätsreserve angesichts der neuen Klimaziele auf die Gesamtmenge an Zertifikaten auswirken könnte (Osorio et al. 2021).

## Arbeitsgruppe

# Forschungssoftware-entwicklung zur Analyse von Transformationspfaden

**Weiterentwicklung von MAgPIE als Gemeinschaftsmodell mit einer aktiven und internationalen Nutzer- und Entwicklergemeinschaft.** RD3 hat einen weiteren Schritt unternommen, um seine Arbeit und sein Wissen im Bereich der Landnutzungsmodellierung zu teilen. Nach der Veröffentlichung des Landnutzungsmodells MAgPIE als Open Source im Jahr 2019, um Transparenz und Reproduzierbarkeit von Modellierungsanwendungen zu gewährleisten, wurde daran gearbeitet, Partner in die Lage zu versetzen, das Modell für ihre eigene Forschung zu nutzen. Das MAgPIE-Modell wurde inzwischen sowohl von Unternehmen als auch von Forschungseinrichtungen übernommen (z. B. IIASA, Imperial College London, Indian Institute of Management, VIVID Economics), so dass andere auf dem über Jahre hinweg gesammelten Fachwissen aufbauen können.

**Kontinuierliches Überwachen von Modellen und Werkzeugen.** Wöchentliche Tests und Test-Frameworks helfen dabei, das Verhalten der Modelle REMIND und MAgPIE kontinuierlich zu überwachen und Probleme frühzeitig zu erkennen. Dadurch sollen das Risiko von Kompatibilitätsproblemen und Fehlern bei kontinuierlichen Entwicklungen verringert werden. Darüber hinaus sorgen regelmäßige Modellvalidierungen, wie sie kürzlich für REMIND 2.1.3 (Baumstark et al. 2021) durchgeführt wurden, für eine hohe Verlässlichkeit der Modellergebnisse.

## Abgeschlossene Promotionen

Levesque, Antoine

Technische Universität Berlin

Demand-side mitigation policies: the role of the buildings sector

# Highlights

**RD3 organisierte und beteiligte sich an mehreren hochkarätigen Veranstaltungen** im Zusammenhang mit dem Fit-for-55-Paket der EU-Kommission. Dazu gehörte die Präsentation der eigenen Arbeit gemeinsam mit Bruegel (online, März) sowie der im Rahmen des Ariadne-Projekts durchgeführten Arbeit (Dezember, vor Ort). Darüber hinaus wurde eine Reihe von bilateralen Austauschformaten und Webinaren mit Interessenvertretungen aus anderen EU-Mitgliedstaaten organisiert. Die Ergebnisse dienten der weiteren Ausarbeitung des Fit-for-55-Pakets und wurden von den Teilnehmenden und insbesondere der EU-Kommission sehr positiv aufgenommen.

**Ein vom PIK geleitetes Konsortium** hat zusammen mit dem Network for Greening the Financial System (NGFS) einen neuartigen Szenario-Datensatz veröffentlicht. Die gemeinsam erstellten Szenarien und die dazugehörigen Ressourcen (<https://www.ngfs.net/ngfs-scenarios-portal/>) sind maßgeschneidert, um verschiedenen Akteuren aus dem Finanzsektor dabei zu helfen, klimabezogene Risiken in einem umfassenden und konsistenten Rahmen zu bewerten. Die Szenarien wurden bereits von einer Vielzahl von Akteuren des Finanzsektors genutzt und bilden die Grundlage für die Klimastresstests verschiedener Zentralbanken.

## Ausgewählte Veröffentlichungen

Geiger, T., Gütschow, J., Bresch, D. N., Emanuel, K., & Frieler, K. (2021). **Double benefit of limiting global warming for tropical cyclone exposure.** *Nature Climate Change*, 11(10), 861–866. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01157-9>

*Die Studie analysiert klimawandelbedingte Veränderungen der global von Wirbelstürmen betroffenen Menschen unter verschiedenen Klima- und sozioökonomischen Szenarien. Es wird gezeigt, dass stringente Klimaschutzmaßnahmen den Anstieg der Exposition verlangsamen und dadurch das Zusammenreffen hoher Exposition mit dem für die Mitte des 21. Jahrhunderts vorhergesagten Maximum der Weltbevölkerung verhindert werden können.*

Grassi G, Rogelj J, Stehfest E, van Vuuren D, Cescatti A, House J, Nabuurs G, Rossi S, Alkama R, Abad R, Calvin K, Ceccherini G, Federici S, Fujimori S, Gusti M, Hasegawa T, Havlik P, Humenöder F, Korosuo A, Popp A (2021) **Critical adjustment of land mitigation pathways for assessing countries' climate progress.** *Nature Climate Change* 11, 425–434

*Die Publikation befasst sich mit der Diskrepanz zwischen der Entwicklung der globalen Landnutzung, die mit Integrated Assessment Modellen geschätzt werden, und den Treibhausgasinventaren der Länder. Die Autoren stellen eine „Rosetta-Stein“-Anpassung vor, um die Landnutzungsklimaschutzpfade der IAMs in Schätzungen zu übersetzen, die besser mit den THG-Inventaren vergleichbar sind. Dabei werden die ursprünglichen Dekarbonisierungspfade nicht verändert, sondern ein Teil der Landsenken neu zugewiesen, um mit den Treibhausgasinventaren übereinzustimmen. Dies trägt dazu bei, eine genaue Bewertung der Fortschritte im Hinblick auf das Pariser Abkommen zu gewährleisten.*

Krichene, H., Geiger, T., Frieler, K., Willner, S. N., Sauer, I., & Otto, C. (2021). **Long-term impacts of tropical cyclones and fluvial floods on economic growth – Empirical evidence on transmission channels at different levels of development.** *World Development*, 144, 105475. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105475>

*In dieser Veröffentlichung werden die langfristigen Auswirkungen von tropischen Wirbelstürmen und Überschwemmungen auf das Wirtschaftswachstum untersucht. Es zeigt, dass beide Ereigniskategorien das Wirtschaftswachstum für mehr als ein Jahrzehnt verringern können. Während wir Belege dafür finden, dass ein höherer Entwicklungsstand Verluste des Wirtschaftswachstums durch Flussüberschwemmungen verhindern kann, ist dies bei tropischen Wirbelstürmen nicht der Fall.*

Luderer, G., Madeddu, S., Merfort, L., Ueckerdt, F., Pehl, M., Pietzcker, R. C., Rottoli, M., Schreyer, F., Bauer, N., Baumstark, L., Bertram, C., Dirnaichner, A., Humenöder, F., Levesque, A., Popp, A., Rodrigues, R., Streffer, J., Kriegler, E. (2021). **Impact of declining renewable energy costs on electrification in low-emission scenarios,** *Nature Energy*, doi: 10.1038/s41560-021-00937-z.

*In dieser Studie wird aufgezeigt, wie ein rascher technologischer Wandel bei den erneuerbaren Energien und den Elektrifizierungstechnologien auf der Nachfrageseite das Erreichen des Pariser Klimaziels und den beschleunigten Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen erleichtern kann, während gleichzeitig die Abhängigkeit von Bioenergie, CCS und anderen Mitteln zur Entfernung von Kohlendioxid begrenzt wird.*

Mishra A, Humenöder F, Dietrich J, Bodirsky B, B Sohngen, Reyer C, Lotze-Campen H, Popp A (2021) **Estimating global land system impacts of timber plantations using MAGPIE 4.3. 2.** *Geoscientific Model Development*, 14, 6467–6494

*Diese Publikation beschreibt die Erweiterung von MAGPIE um eine detaillierte Darstellung von Waldflächen, Holzproduktion und Holznachfragedynamik.*

Osorio, Sebastian, Oliver Tietjen, Michael Pahle, Robert C. Pietzcker, and Ottmar Edenhofer. 2021. **“Reviewing the Market Stability Reserve in Light of More Ambitious EU ETS Emission Targets.”** *Energy Policy* 158 (May 2020): 112530. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112530>.

*In dieser Studie wird analysiert, wie sich die Überarbeitung der Parameter der Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU-ETS auf die Löschung von Zertifikaten auswirkt. Die MSR ist ein Schlüsselmechanismus zur Anpassung der Stringenz des EU-ETS an die neuen, ehrgeizigeren EU-Klimaziele.*

Rikani, A., Schewe, J. (2021): **Global bilateral migration projections accounting for diasporas, transit and return flows, and poverty constraints.** *Demographic Research*, <https://dx.doi.org/10.4054/DemRes.2021.45.4>

*In diesem Artikel wird ein neues Modell der internationalen Migration beschrieben und es werden Szenarien für künftige Migrationsströme und -bestände im Rahmen der Gemeinsamen sozioökonomischen Pfade (SSP) vorgestellt. Es wird gezeigt, dass die mit den verschiedenen SSP verbundenen Raten und geografischen Muster des Wirtschaftswachstums zu einer sehr unterschiedlichen Migrationsdynamik führen könnten.*

Soergel, B., Kriegler, E, Weindl, I. et al (2021). **A sustainable development pathway for climate action within the UN 2030 Agenda.** – *Nature Climate Change*, 11, 8, 656-664. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01098-3>

*Dies ist die erste Studie, die auf der Grundlage eines integrierten Modellierungsrahmens eine umfassende Bewertung der SDGs vornimmt, Defizite bei der Verwirklichung der SDGs aufzeigt und ein Paket für nachhaltige Entwicklung vorschlägt, das zur Verwirklichung dieser Ziele beiträgt.*

Thiery, W., Lange, S. et al. (2021) **Intergenerational inequities in exposure to climate extremes.** *Science*, <https://doi.org/10.1126/science.aba7339> *In dieser Publikation wird die Exposition verschiedener Alterskohorten gegenüber klimabedingten Extremen bewertet und quantifiziert, inwiefern jüngere Kohorten stärker betroffen sind als ältere.*

Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Everall, J., Sacchi, R., Luderer, G. (2021): **Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation.** *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/s41558-021-01032-7. *Diese Studie beschreibt die potenzielle Rolle synthetischer E-Kraftstoffe auf der Grundlage von erneuerbarem Wasserstoff. Es zeigt, dass die Rolle von grünem Wasserstoff und E-Kraftstoffen aufgrund ihrer Ineffizienz, ihrer Kosten und ihrer Konkurrenz zur direkten Elektrifizierung wahrscheinlich viel begrenzter sein wird als von vielen Interessengruppen angenommen.*

# Forschungsabteilung 4

# Komplexitätsforschung

Welche Prinzipien der komplexen natürlichen und gesellschaftlichen Systeme können uns bei der Erhaltung der globalen Gemeingüter innerhalb planetarer Grenzen helfen?

Im Einklang mit dem Kernauftrag des PIK sind die Forschungsziele des RD4 auf vier übergreifende Forschungsthemen ausgerichtet:

- Klimaphänomene und -extreme: Vorhersage und Modellierung mit komplexen Netzwerken, statistischer Physik und maschinellem Lernen.
- Abrupte Klimaübergänge: Erkennung und Vorhersage mit fortgeschrittener Zeitreihenanalyse, numerischer Modellierung und analytischen Konzepten.
- Sozioökonomische und infrastrukturelle Netzwerke: Verständnis der Dynamik durch neue Modellierungs- und Stabilitätskonzepte.
- Klimaentscheidungen: Aufdeckung von Prinzipien und Modellierung von Wechselwirkungen durch Ökonometrie, Spieltheorie und maschinelles Lernen.

Leitung: **Anders Levermann & N.N.**, Stellvertretung: **Leonie Wenz & Norbert Marwan**  
 Koordination: **Anja Bruhn & Gabriele Pilz**, Sekretariat: **Till Hollmann & Sophia Kostial**

## RD4

### Analyse von Netzwerken, Stabilität und Dynamischen Systemen

**Dynamik, Stabilität und Resilienz in komplexen hybriden Infrastrukturnetzwerken**

Frank Hellmann

**Numerische Analyse globaler ökonomischer Folgen**

N.N.

### Nichtlineare Methoden, Big Data und maschinelles Lernen

**Weiterentwicklung von Zeitreihenanalyse-Techniken**

Norbert Marwan

**Datenbasierte Analyse klimarelevanter Entscheidungsprozesse**

Leonie Wenz

**Vorhersage extremer Ereignisse mittels Netzwerkanalyse und Maschinellen Lernens**

Interim  
Anders Levermann

### Computerbasierte Methoden und Visualisierung

Thomas Nocke

Die Grafik zeigt die Struktur der Abteilung. Die FutureLabs (FL) „Artificial Intelligence in the Anthropocene“ und „Game Theory and Networks of Interacting Agents“ sind eng mit RD4 vernetzt.

# Ausgewählte Ergebnisse

## Arbeitsgruppe

### Dynamik, Stabilität und Resilienz in komplexen hybriden Infrastrukturnetzwerken

**Gezielte Reduktion von Verbindungen verlangsamt die Ausbreitung von Epidemien in sozialen Netzwerken.** Angesichts der andauernden COVID-Pandemie und des Klimawandels sowie anderer globaler ökologischer Krisen, die zu weiteren derartigen Ereignissen zu führen drohen, ist es wichtiger denn je, effiziente nicht-pharmazeutische Interventionen zu entwickeln, um ihre Ausbreitung zu verlangsamen. Ansari et al. verwenden einen Markov-Chain-Monte-Carlo-Ansatz (MCMC), um zu untersuchen, wie soziale Netzwerkverbindungen effektiv reduziert werden können, um die Ausbreitung der Krankheit zu verhindern und gleichzeitig ein Minimum an sozialen Interaktionen zu erhalten. Dabei stellt sich heraus, dass die gezielte Reduzierung von 80% der Kontakte genauso effektiv sein kann wie eine zufällige Reduzierung von 90%, so dass Individuen nach der Reduktion im Schnitt 20% statt 10% der Originalkontakte haben, also doppelt so viele. Darüber hinaus wird gezeigt, dass Netzwerke mit gezielter Distanzierung homogener in der Gradverteilung sind. Dieses Erkenntnis wird genutzt, um zwei Ad-hoc-Entfernungsstrategien zu definieren, die die Ausbreitung ebenfalls erheblich reduzieren. Dies zeigt auch zum ersten Mal, dass MCMC-Techniken effektiv eingesetzt werden können, um Netzwerke mit spezifischen emergenten Eigenschaften zu untersuchen (Ansari et al. 2021).

**Graph-basierte Neuronale Netze (GNNs) sagen Vulnerabilitätsmuster in Stromnetzen vorher.** Im Zusammenhang mit Stromnetzen wird ein neuartiger wichtiger Schritt in der Untersuchung der Stabilität von Netzen unternommen: Nauck et al. zeigen, dass man Graph Neural Networks (GNNs) verwenden kann, um die konkreten Anfälligkeitsmuster in einem Netz vorherzusagen. Insbesondere untersuchte das Team die Basin-Stabilität eines einzelnen Knoten, also die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällige Störung, die an einem einzelnen Knoten lokalisiert ist, das System desynchronisieren kann. Aus früheren Arbeiten war bekannt, dass diese Störungsanfälligkeit durch die Netzwerktopologie in einer Weise beeinflusst wird, die durch die Netzwerktheorie nicht leicht zu erfassen ist. Die Ergebnisse zeigen, dass GNNs sowohl in der Lage sind, diese subtile Struktur zu erfassen, als auch eine Extrapolation von kleineren Netzwerken auf größere zu ermöglichen. Dies ist von großer praktischer Bedeutung, da es unerschwinglich teuer wäre, Trainingsdaten für Netzwerke realistischer Größe zu generieren (Nauck et al. 2021).

## Arbeitsgruppe

### Numerische Analyse globaler ökonomischer Folgen

**Reaktion der Wirtschaft auf den Wirbelsturm Sandy.** Tropische Wirbelstürme gehören zu den teuersten Katastrophen auf der Erde. Ihre wirtschaftlichen Auswirkungen entlang des Versorgungs- und Handelsnetzes erreichen auch entfernte Volkswirtschaften, die nicht direkt betroffen sind. Middelani et al. simulieren mögliche globale Auswirkungen auf den Konsum für den Beispielfall des Hurrikans Sandy in den USA (2012) mit dem Schock-Ausbreitungsmodell Acclimate. Der modellierte Schock führt zu einer globalen Drei-Phasen-Welle: ein anfänglicher Rückgang der Produktionsnachfrage und ein damit verbundener Rückgang der Verbraucherpreise, gefolgt von einer Angebotsverknappung mit steigenden Preisen und schließlich einer Erholungsphase. In Regionen mit starken Handelsbeziehungen zu den USA sind die Auswirkungen des Schocks besonders ausgeprägt. Eine vorherrschende Nachfragereduzierung oder Angebotsverknappung führt zu allgemeinen Verbrauchsgewinnen bzw. -verlusten in einer Region. Während es aufgrund der starken Volatilität wirtschaftlicher Interaktionen schwierig ist, diese Auswirkungen in historischen Daten zu finden, können numerische Modelle wie das Acclimate Modell dabei helfen, sie zu identifizieren, indem sie das Problem aus einem explorativen Blickwinkel angehen und den gewünschten Effekt isolieren (Middelani et al. 2021).

**Wirtschaftliche Resonanz nach extremen Wetterereignissen.** Die sehr komplexen, aber potenziell schwerwiegendsten Auswirkungen des Klimawandels werden durch extreme Wetterereignisse verursacht. In einer global vernetzten Wirtschaft können Schäden weitreichende Störungen und kaskadenartige Folgen verursachen – z.B. einen Wellen-Effekt entlang der Lieferketten. Kuhla et al. zeigen eine wirtschaftliche Wellenresonanz, die die Verluste verstärkt, wenn aufeinanderfolgende oder sich überschneidende Wetterextreme und ihre Auswirkungen zusammenwirken. Für klimabedingten Hitzestress, Überschwemmungen und tropische Wirbelstürme ergibt sich eine durchschnittliche Verstärkung von 21%. Bei der Modellierung der zeitlichen Entwicklung von 1,8 Millionen Handelsbeziehungen zwischen über 7000 regionalen Wirtschaftssektoren stellen sich die regionalen Reaktionen auf künftige Extreme auch in ihrem Resonanzverhalten sehr heterogen dar. Die induzierten Wohlfahrtseffekte schwanken zwischen Gewinnen durch erhöhte Nachfrage in einigen Regionen und Verlusten durch Nachfrage- oder Versorgungsengpässe in anderen. Innerhalb des gegenwärtigen globalen Versorgungsnetzes ist der Resonanzeffekt von Wetterextremen in Volkswirtschaften mit hohem Einkommen am stärksten – ein

wichtiger Effekt, der bei der Bewertung vergangener und zukünftiger wirtschaftlicher Klimaauswirkungen zu berücksichtigen ist (Kuhla et al. 2021).

## Arbeitsgruppe

# Weiterentwicklung von Zeitreihenanalyse-Techniken

**Nichtlineare Zeitreihenanalyse von Paläoklima-Proxydaten.** Marwan et al. haben moderne Methoden der nichtlinearen Zeitreihenanalyse (Permutationsentropie, stochastische Modellierung, Rekurrenzanalyse, komplexe Netzwerke) auf ihr Potenzial für die Untersuchung von Paläoklima-Proxydaten überprüft. Die betrachteten Methoden geben tiefere Einblicke in die Dynamik des Paläoklimas, insbesondere in die Anzahl der Klimazustände (Multistabilität), in nichtlineares vs. linearem Verhalten und in die sich ändernde Vorhersagbarkeit der zyklischen Dynamik. Mit Hilfe dieser Methoden konnte das Team nichtlineare Übergänge und wichtige Klimaereignisse im plio-pleistozänen afrikanischen Klima (unter Verwendung von sieben verschiedenen Proxy-Datensätzen) identifizieren und sie Phasen verstärkter Walker-Zirkulation, dem marinen Isotopenstadium M2, dem Beginn der Vereisung der nördlichen Hemisphäre und dem Übergang zum mittleren Pleistozän zuordnen. Die Synthese dieser verschiedenen Methoden gibt Aufschluss über die räumlichen Unterschiede in den Auswirkungen globaler Klimatreiber wie Orbitalvariationen und über Veränderungen der großräumigen atmosphärischen Muster (Marwan et al. 2021).

## Automatisierte Phasenraum-Rekonstruktionsmethode.

Die objektive Bestimmung der Einbettungsparameter für die Rekonstruktion von Phasenraumvektoren ist ein Schlüsselproblem der nichtlinearen Datenanalyse und die Grundlage zahlreicher grundlegender Analysemethoden. Durch die innovative Kombination einer spezifischen Phasenraum-Rekonstruktionsmethode mit einer Objektivitätsstatistik wurde erstmals ein automatisierter, parameterfreier Phasenraum-Rekonstruktionsansatz, die PECUZAL-Methode, vorgestellt. Im Gegensatz zu bisherigen Methoden, die Expertenwissen erfordern, um zuverlässig angewendet werden zu können, kann die neue Methode als Blackbox und ohne solches Expertenwissen zur Erzeugung eines optimalen Phasenraummodells der gemessenen Daten verwendet und in eine automatisierte Datenanalysestruktur eingebettet werden. Da weder Datenvorverarbeitungsschritte notwendig sind noch freie Parameter a priori angepasst werden müssen und die vorgeschlagenen Routinen zudem automatisch unnötige oder irrelevante Daten ausschließen, können auch Anwender und Anwenderinnen außerhalb der theoretischen Physik problemlos davon Gebrauch machen. Die PECUZAL-Methode wurde als Softwarepakete für Python, MATLAB und Julia implementiert, an verschiedenen Beispielen ausgiebig getestet und kritisch begutachtet und hat damit das Potenzial für einen breiten Einsatz im Bereich der nichtlinearen Datenanalyse (Kraemer et al. 2021).

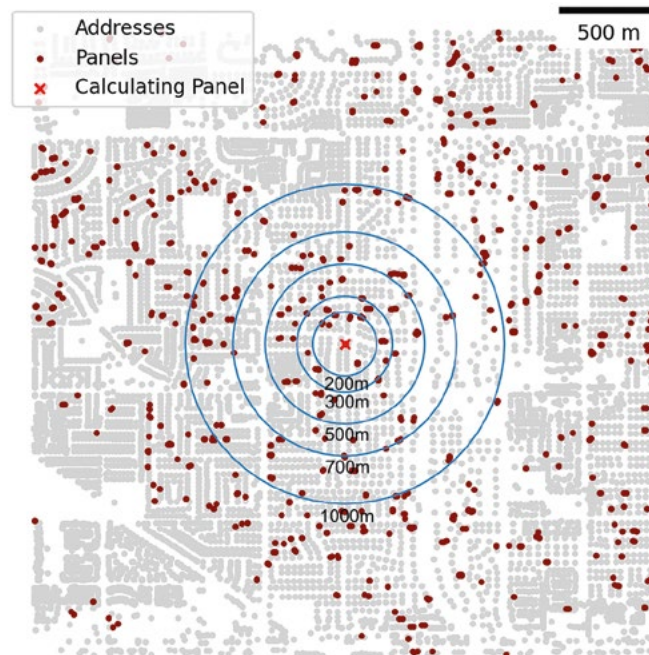


Abb. 1 **Sonnenkollektoren sind ansteckend.** Visualisierung und Nahaufnahme des Datensatzes, der erstellt und für die Studie verwendet wurde (Barton-Henry et al. 2021). Die grauen Punkte sind Adressen in der US-amerikanischen Stadt Fresno und die roten Punkte sind auf Satellitenbildern identifizierte Solarpaneele. Für jede Adresse (rotes x) wurde die Dichte der Solarmodule in 200m, 300m, ...1200m Entfernung ermittelt (blaue Kreise). Je mehr Paneele sich in unmittelbarer Nähe befinden, desto wahrscheinlicher ist es, dass die Adresse selbst über ein Solarpanel verfügt.

## Arbeitsgruppe

# Datenbasierte Analyse klimarelevanter Entscheidungsprozesse

## Tägliche Temperaturschwankungen verringern das

**Wirtschaftswachstum.** Für die umfassende Bewertung von Klimaschäden, die Konzeption zielgerichteter klimapolitischer Maßnahmen und die effektive Bekämpfung von Ungleichheit braucht es ein robustes Verständnis davon, wie Klima wirtschaftliche Produktivität beeinflusst. Bisherige Analysen haben sich in der Regel auf Änderungen in der Jahresmitteltemperatur konzentriert. In Kotz et al. (2021a) wurde untersucht, ob und wie sich Temperaturschwankungen auch auf kürzeren Zeitskalen, d.h. von einem Tag zum nächsten, wirtschaftlich niederschlagen. Die ökonometrische Auswertung von Daten der letzten 40 Jahre aus mehr als 1500 Regionen weltweit zeigt, dass wenn in einem Jahr die tägliche Temperaturvariabilität um ein Grad Celsius ansteigt, dies das regionale Wirtschaftswachstum um 5 Prozentpunkte verringert. Die Stärke dieses Effekts hängt von der geografischen Lage und dem Einkommen ab, wobei Regionen in niedrigen Breitengraden und mit niedrigem Einkommen am stärksten gefährdet sind. Um zu verstehen, welche Schäden sich daraus unter fortschreitendem Klimawandel ergeben könnten, wurde in einer zweiten Studie der Effekt von Treibhausgasemissionen auf die tägliche Temperaturvariabilität analysiert (Kotz et al. 2021b). Mit Hilfe statistischer Mustererkennungstechniken konnte sowohl in Beobachtungsdaten als auch in Daten

aus der aktuellen Generation Klimamodelle ein sehr klares Muster identifiziert werden: Die tägliche Temperaturvariabilität nimmt mit zunehmenden Treibhausgasemissionen in den nördlichen mittleren bis hohen Breiten ab, während sie im Rest der Welt stark zunimmt.

**Solarzellen sind ansteckend – auf gute Weise.** Welche Faktoren sind entscheidend dafür, dass Menschen klimafreundliche Entscheidungen treffen – etwa sich dazu entschließen, Solaranlagen auf dem Dach zu installieren? Dieser Frage sind wir nachgegangen – mit Hilfe von hochaufgelösten Satellitenbildern und künstlicher Intelligenz (Barton-Henry et al. 2021). Konkret hat das Team für die US-amerikanische Stadt Fresno Satellitendaten, auf denen jedes Haus mit Solarpanel identifiziert wurde, mit Zensusdaten kombiniert. Dann wurden die Algorithmen für maschinelles Lernen trainiert, um den Zusammenhang zwischen dem sozio-ökonomischen Umfeld der Menschen und der Wahrscheinlichkeit, dass sie ein Solarpanel haben, zu finden. Es stellte sich heraus, dass die geografische Nähe zu anderen Solaranlagen der mit Abstand wichtigste Faktor ist. Je mehr Menschen in meinem unmittelbaren Umfeld bereits eine Anlage installiert haben, desto wahrscheinlicher habe ich selbst auch eine. Dieser Ansteckungs-Effekt ist wesentlich wichtiger als andere sozio-ökonomische und demografische Variablen, etwa Einkommen oder Bildung. Er nimmt exponentiell ab, je weiter die nächstgelegenen Solaranlagen entfernt sind. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein gezieltes “Säen” von Solarpanels

in Gegenden, in denen es bislang nur wenige gibt, sinnvoll sein kann, um die Installation von weiteren Solaranlagen zu befördern.

### Arbeitsgruppe

## Vorhersage extremer Ereignisse mittels Netzwerkanalyse und Maschinellen Lernens

Diese Arbeitsgruppe hat datengestützte Klimanetzwerk-Methodik erheblich verbessert, insbesondere um eher kurze oder nicht-stationäre raum-zeitliche Zeitreihen analysieren zu können, die für das Klima typisch sind. Dies hat es ermöglicht, kurzlebige, aber wichtige Phänomene wie tropische Wirbelstürme zu identifizieren und zu verfolgen sowie den Vorhersagehorizont extremer Klimaereignisse auf die saisonale Skala auszuweiten.

**Netzwerkbasierter Vorhersage extremer Klimaereignisse durch eine verbesserte datenbasierte Klimanetzwerk-Methodik.** Der Indian Ocean Dipole (IOD), ein Luft-Meer-gekoppeltes Phänomen über dem tropischen Indischen Ozean, hat erhebliche Auswirkungen auf das Klima, das Ökosystem und die menschliche Gesellschaft des indischen Subkontinents und weiterer stark bevölkerter Staaten. Aufgrund der Wintervorhersagbarkeitsbarriere war bislang eine zuverlässige Vorhersage des IOD jedoch nur mit drei oder vier Monaten

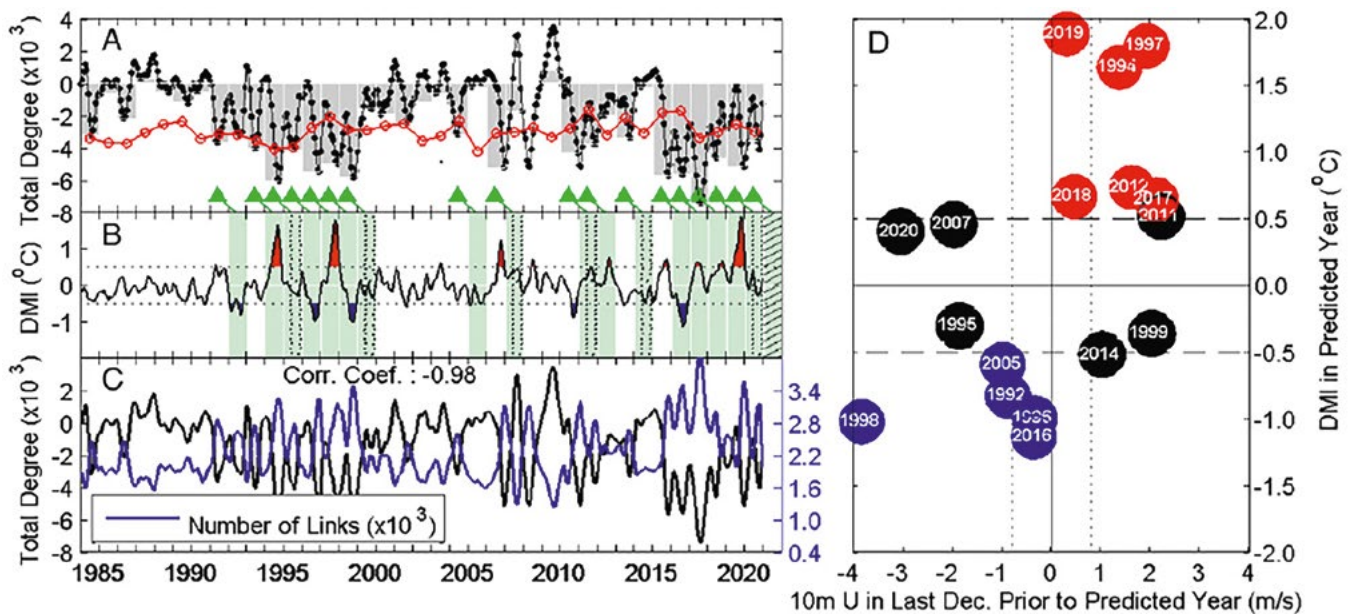


Abb. 2 Frühwarnsignal auf der Grundlage des Klimanetzes und des 10-m-Zonenwindindikators. (A) TD TD(t) zeigt die Fluktuation der Frühwarnsignale für IOD (schwarz gepunktete Linie). Die grauen Balken zeigen D(y), abgeleitet aus TD(t) in jedem Jahr, und die rote gepunktete Linie zeigt den Schwellenwert TDTH(y) für TD(y) mit einer Signifikanz auf dem Vertrauensniveau von 0,05. Die grünen Dreiecke stellen die Jahre dar, in denen TD(y) TDTH(y) übersteigt, was bedeutet, dass die Frühwarnsignale 1 Jahr im Voraus ausgelöst werden. (B) Die grünen Balken zeigen die nächsten Jahre, in denen Frühwarnsignale auftreten. Die schwarze Kurve ist das 3-Monats-Mittel des DMI, und die pIOD- und nIOD-Ereignisse werden durch rote und blaue Bereiche über und unter 0,5 °C bzw. -0,5 °C (gestrichelte Linien) für aufeinanderfolgende 3 Monate dargestellt. Die grünen Balken mit nichts, die Punkte und die schrägen Linien stellen korrekte Alarme, falsche Alarme bzw. einen Alarm dar, der in Zukunft bestätigt werden muss. (C) Die Beziehung zwischen der TD (die schwarze Linie, die die gleiche ist wie in A) und der Anzahl der negativen Verbindungen zwischen den Regionen A und B (die blaue Linie) ist stark negativ korreliert mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,98. (D) Das Diagramm des zonalen 10-m-Windindex (Materialien und Methoden) im Dezember der Jahre wenn Frühwarnsignale ausgelöst werden, und der IOD-Amplitude im nächsten Jahr. Die blauen und roten Kreise stellen nIOD- bzw. pIOD-Ereignisse dar, unter den richtigen Warnungen, und die schwarzen Kreise stellen die falschen Warnungen dar. Die Zahlen in den Kreisen stehen für das Jahr, in dem die Frühwarnsignale ausgelöst werden. Die vertikalen gepunkteten Linien zeigen ±0,5 SD der Windanomalien im Dezember an. Die horizontalen gestrichelten Linien stellen 0,5 °C und -0,5 °C für den DMI-Index dar.

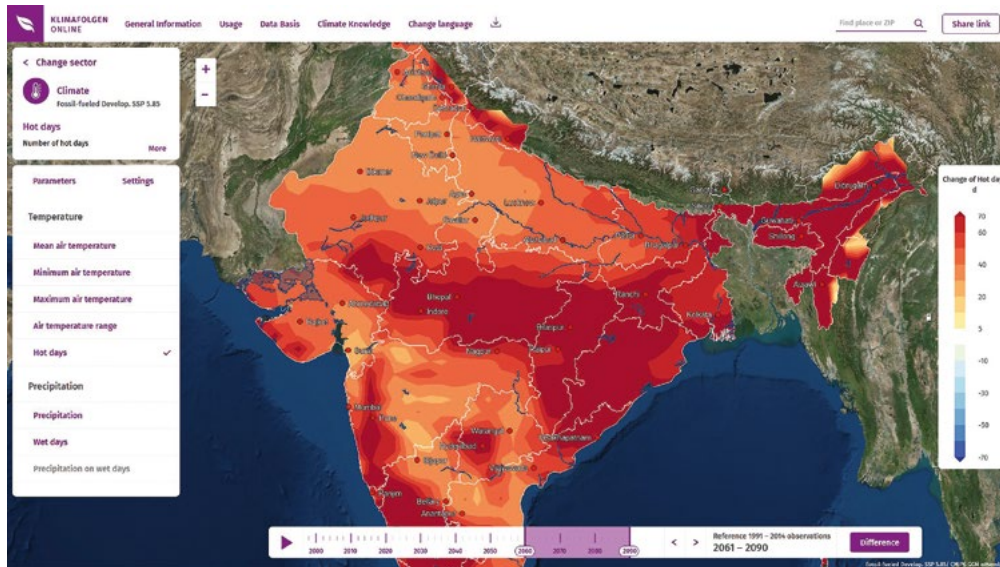


Abb. 3: KlimafolgenOnline: Neue Variante für Indien – Änderung heißer Tage für den Zeitraum 2061-2090 im Szenarium SSP5.85 gegenüber der historischen Referenzperiode (Abb. aus KlimafolgenOnline)

Vorlauf möglich. In Kombination mit dem Indikator des äquatorialen zonalen Dezemberwindes im tropischen Indischen Ozean haben zwei Forscherteams einen innovativen netzwerk-basierten Prädiktor vorgeschlagen, der die aktuellen dynamischen Modelle deutlich übertrifft. Von den 15 IOD-Ereignissen der letzten 37 Jahre (1984-2020) können elf Ereignisse bereits im Dezember korrekt vorhergesagt werden. Analog dazu haben die Teams die Pacific Decadal Oscillation (PDO) analysiert. Das objektiv erkannte Frühwarnsignal hat alle sechs PDO-Phasenübergänge von 1890-2000 erfolgreich vorgewarnt und auch den möglichen PDO-Phasenübergang um 2015 untermauert, der möglicherweise durch das starke El-Nino-Ereignis 2015-2016 ausgelöst wurde (Lu et al. 2021; Lu et al. 2021).

**Entwicklung und Anwendung eines innovativen komplexen Netzwerkansatzes für die Untersuchung von kurzlebigen tropischen Wirbelstürmen (tropical cyclons, TCs).** Gupta et al. haben gezeigt, dass ihre Methode das Potenzial hat, TCs und ihre Trajektorien anhand von Daten des mittleren Meeresspiegeldrucks (MSLP) zu identifizieren und sie zudem ermöglicht, wichtige Erkenntnisse über die Auswirkungen von TCs auf die räumliche Konnektivitätsstruktur von MSLP-Feldern zu abzuleiten (Gupta et al. 2021).

### Querschnittsaktivität

## Computerbasierte Methoden und Visualisierung

**Indien: Neu in KlimafolgenOnline.** In das KlimafolgenOnline-Webportal wurde eine neue Region Indien integriert (s. Abb. 3) und zusammen mit den Regionen Tansania, Peru und Deutschland für die Öffentlichkeit unter der Adresse <http://kfo.pik-potsdam.de/> freigeschaltet. Die indische Variante umfasst sieben klimatische und einen landwirtschaftlichen Indikator basierend auf Beobachtungs- und Simulationsdaten des ISIMIP-Projektes. Karten, Diagramm- und Tabellendarstellungen werden durch ein Diagramm für tägliche historische Wetterdaten mit täglichen Live-Daten des aktuellen Jahres ergänzt. In einem Online-Workshop mit Experten und Expertinnen aus Wissenschaft, indischem Wetterdienst und weiteren Anwender\*innen wurde die Nutzbarkeit der neuen indischen Variante eruiert und Weiterentwicklungspotentiale identifiziert.

## Abgeschlossene Promotionen

<b>Gelbrecht, Maximilian</b>	Humboldt-Universität zu Berlin	Physics-based Machine Learning Approaches to Complex Systems and Climate Analysis
<b>Krämer, Kai Hauke</b>	Universität Potsdam	Towards a robust framework for Recurrence Analysis Automated state space reconstruction, optimal parameter selection and correction schemes
<b>Liu, Yang</b>	Technische Universität Berlin	Identification of Nodes and Networks: Robustness, Immunization, and Explosive Synchronization
<b>Wolf, Frederik</b>	Humboldt-Universität zu Berlin	Complex networks across fields: from climate variability to online dynamics



# Highlights

**Symposium über Rekurrenzplots in Polen.** Das Internationale Symposium über Rekurrenzplots ist eine alle zwei Jahre stattfindende Veranstaltung, die hauptsächlich vom PIK organisiert wird. Das Symposium bietet ein einzigartiges Forum für den Austausch und die Diskussion aktueller theoretischer Entwicklungen in der Rekurrenzwissenschaft mit Anwendungen aus verschiedenen und vielfältigen Forschungsbereichen. Das 9. Symposium fand im September 2021 in Lublin (Polen) als sehr erfolgreiche und lebendige Hybridveranstaltung mit 69 internationalen Teilnehmenden statt. [www.recurrence-plot.tk/ws2021/](http://www.recurrence-plot.tk/ws2021/)

**Anders Levermann ist Mitglied des wissenschaftlichen Beirats der von der UN einberufenen Net Zero Asset Owner**

**Alliance.** Das wissenschaftliche Beratungsgremium wurde eingerichtet, um sicherzustellen, dass die Arbeit der Allianz weiterhin effektiv auf der technischen Expertise der wissenschaftlichen Gemeinschaft aufbaut. Die Net-Zero Asset Owner Alliance der UNEP Finance Initiative für eine Strategie ohne Kohlenstoffemissionen umfasst ein Vermögen von 5.700 Mrd. \$US.

**Jürgen Kurths ist zum Fellow der Network Science Society 2021 gewählt worden.** Er ist der erste deutsche Wissenschaftler, der diese Auszeichnung erhält. Jedes Jahr werden bis zu 7 Mitglieder der Network Science Community aufgrund ihrer nachhaltigen Beiträge zur Forschung im Bereich der Netzwerkwissenschaften und zur Gemeinschaft der dort tätigen Wissenschaftler zu Fellows ernannt.

## Ausgewählte Veröffentlichungen

Ansari, S., Anvari, M., Pfeffer, O., Molkenhain, N., Moosavi, M. R., Hellmann, F., Heitzig, J., Kurths, J. (2021): **Moving the epidemic tipping point through topologically targeted social distancing.** – European Physical Journal – Special Topics, 230, 16-17, 3273-3280. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-021-00138-5>

*In dieser Arbeit werden soziale Distanzierungsregeln analysiert, die die Ausbreitung von Krankheiten in sozialen Netzwerken sehr wirksam reduzieren. Methodisch ist dies von Bedeutung, da es zeigt, wie die Verwendung von Netzwerkwissenschaft und fortgeschrittenen Stichprobenverfahren wie MCMC allgemeine Muster für die Kontrolle von Netzwerken aufdecken kann.*

Boers, N. (2021): **Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation.** – Nature Climate Change, 11, 8, 680-688. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01097-4>

*In dieser Veröffentlichung werden empirische Belege für einen Stabilitätsverlust der atlantischen meridionalen Umwälzzirkulation vorgestellt, die auf acht verschiedenen Fingerabdrücken ihrer Dynamik basieren. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die kürzlich festgestellte Verlangsamung nicht nur das Ergebnis eines linearen Rückgangs ist, sondern mit dem Herannahen eines bifurkationsinduzierten Übergangs zusammenhängt.*

Gupta, S., Boers, N., Pappenberger, F., Kurths, J. (2021): **Complex network approach for detecting tropical cyclones.** – Climate Dynamics, 57, 11-12, 3355-3364. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05871-0>

*Tropical cyclones (TC's) sind eine der zerstörerischsten Naturgefahren, die eine ernsthafte Bedrohung für die Gesellschaft darstellen, insbesondere für die Menschen in den Küstenregionen. Unsere komplexe netzwerkbasierete Studie der Topologie über Zeitskalen, die für Wirbelstürme relevant sind, ermöglicht es uns, entscheidende Einblicke in die Auswirkungen von Wirbelstürmen auf die räumliche Konnektivitätsstruktur von Meeresspiegeldruckfeldern zu gewinnen.*

Kotz, M., Wenz, L., Stechemesser, A., Kalkuhl, M., Levermann, A. (2021): **Day-to-day temperature variability reduces economic growth.** – Nature Climate Change, 11, 4, 319-325. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00985-5>

*In diesem Artikel wird dargelegt, dass die täglichen Temperaturschwankungen die regionalen Wachstumsraten auf der ganzen Welt erheblich einschränken, wobei Regionen in niedrigen Breitengraden und mit niedrigem Einkommen am stärksten betroffen sind.*

Gelbrecht, M., Boers, N., Kurths, J. (2021): **Neural partial differential equations for chaotic systems,** New Journal of Physics, 23, 043005

*In dieser Publikation wird gezeigt, wie anhand von stilisierten Modellsystemen, wie z.B. partielle Differentialgleichungen mit neuronalen Netzen zur Modellierung und Vorhersage von nur unvollständig verstandenen Systemen der realen Welt, für die Beobachtungen vorliegen, kombiniert werden können.*

Kotz, M., Wenz, L., Levermann, A. (2021) **Footprint of greenhouse forcing in daily temperature variability.** – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 118, 32, e2103294118.

*In diesem Bericht wird nachgewiesen, dass sich die tägliche Temperaturvariabilität in den letzten 65 Jahren mit deutlichen globalen Mustern verändert hat, die auf die steigenden Konzentrationen von Treibhausgasen zurückzuführen sind.*

Krämer, K.-H., Datsis, G., Kurths, J., Kiss, I. Z., Ocampo-Espindola, J. L., Marwan, N. (2021): **A unified and automated approach to attractor reconstruction.** – New Journal of Physics, 23, 3, 033017. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/abe336>

*In diesem Artikel geht es um die Entwicklung und Erprobung eines automatisierten, parameterfreien Phasenraum-Rekonstruktionsansatzes zur Gewinnung eines optimalen (empirischen, datenbasierten) Modells aus Messdaten. Diese neue Methode ist die*

*Grundlage zahlreicher grundlegender Analysemethoden und kann in einen automatisierten Datenanalyserahmen eingebettet werden.*

Lu, Z., Yuan, N., Yang, Q., Ma, Z., Kurths, J. (2021): **Early Warning of the Pacific Decadal Oscillation Phase Transition Using Complex Network Analysis.** – Geophysical Research Letters, 48, 7, e2020GL091674.

*Eine effiziente Vorhersage des Phasenübergangs der Pazifischen Dekadischen Oszillation (PDO) ist eine weltweite Herausforderung. So ergab eine Untersuchung des kooperativen Verhaltens in der PDO-Region ein verstärktes Signal, das sich vom westlichen Pazifik bis zur Nordwestküste Nordamerikas ausbreitete.*

Marwan, N., Donges, J. F., Donner, R. V., Erolgu, D. (2021): **Nonlinear time series analysis of palaeoclimate proxy records.** – Quaternary Science Reviews, 274, 107245. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107245>

*Die Synthese mehrerer nichtlinearer Zeitreihenanalysen gibt Aufschluss über die räumlichen Unterschiede in den Auswirkungen globaler Klimatreiber wie Orbitalschwankungen und über die Veränderungen großräumiger atmosphärischer Muster während des Plio-Pleistozäns.*

Nauck, C., Lindner, M., Schürholt, K., Zhang, H., Schultz, P., Kurths, J., Isenhardt, I., Hellmann, F. (2021): **Predicting Dynamic Stability of Power Grids using Graph Neural Networks**” <https://arxiv.org/abs/2108.08230> (accepted in New Journal of Physics)

*In diesem Bericht wird nachgewiesen, dass Graph Neural Networks (GNNs) Anfälligkeitsmuster in Stromnetzmodellen lernen und vorhersagen können. Besonders wichtig ist, dass man kleine Systeme verwenden kann, um GNNs zu trainieren, die größere Systeme vorhersagen können, für die ein Training nicht durchführbar ist.*

In sieben abteilungsübergreifenden FutureLabs wird an ambitionierten Forschungsthemen von strategischer Bedeutung gearbeitet. Hier einige Beispiele ihrer im Jahr 2021 erzielten Forschungsergebnisse – mit neuen Erkenntnissen zu Kippkaskaden im Klimasystem oder Einsichten zu Migration und Konfliktrisiken bis hin zu den Faktoren, die Kooperation zwischen Ländern begünstigen.

## FutureLab

### Ungleichheit, menschliches Wohlergehen und Entwicklung

**Leitung: Kati Krähnert & Linus Mattauch**

**Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf menschliches Wohlergehen und Migration? Wie werden die Anpassung an und die Minderung von Klimafolgen durch Ungleichheit beeinflusst?**

Dieses FutureLab untersucht Ungleichheit, menschliches Wohlergehen und Entwicklung im Kontext des Klimawandels und wendet dabei komplementäre makro- und mikroökonomische Ansätze an. Mit der Berufung von Linus Mattauch (TU Berlin) als Ko-Leiter ist das FutureLab seit April 2021 vollständig.

**Extremwetterereignisse verursachen Abwanderung aus ländlichen Gebieten.** Dem Klimawandel wird in vielen Regionen der Welt eine entscheidende Rolle als Triebkraft für Migration zugeschrieben. Ein neuer Artikel zeigt, dass extreme Wetterereignisse eine wesentliche Ursache für die Binnenmigration in der Mongolei im Zeitraum 1992-2018 waren (Roeckert & Kraehnert, 2022).

**Wie können Klimaversicherungen im Agrarsektor effektiv ausgestaltet werden?** Klimaversicherungen gelten als ein wichtiges Instrument, mit dem sich Kleinbauern im Globalen Süden gegen die Risiken extremer Wetterlagen absichern. Eine Studie zeigt auf, wie Versicherungsproduk-

te effektiver gestaltet werden können, um die Bedarfe der ärmsten Haushalte zu berücksichtigen (Will, Habtemariam, Kraehnert et al., 2021).

## FutureLab

### Spieltheorie und Netzwerke interagierender Agenten

**Leitung: Jobst Heitzig & Ulrike Kornek (MCC)**

**Wie können Anreize geschaffen werden, gemeinsam den Klimaschutz voranzubringen? Und welche sozialen Dynamiken folgen aus möglichen Regelungen und Politikoptionen? In 2021 haben wir besonders auf ökonomische Ungleichheit geschaut...**

**Länderübergreifender Zusammenhang zwischen den sozialen Kosten von Kohlenstoffemissionen und Einkommensungleichheit.** In einer ökonomischen Analyse im renommierten Journal of Environmental Economics and Management zeigen wir, dass die "social cost of carbon" weltweit signifikant ansteigt, wenn sogar nur einzelne Länder die von starken Klimaschäden betroffenen Haushalte nicht ausreichend entschädigen (Kornek et al., 2021).

**Agentenbasierte Modelle können Einkommensungleichheit und Schwankungen der Wirtschaftsleistung erklären.** In einer mit der Universität Oxford durchgeführten Modellstudie in den Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, die auf einer exzellenten vom PIK betreuten Bachelorarbeit basiert, haben wir zeigen können,

wie diese Phänomene entstehen können, wenn Haushalte ihre Sparquote an diejenige von erfolgreich erscheinenden befreundeten Haushalten anpassen (Asano et al., 2021).

**FutureLab**

# Sozialer Metabolismus und Umweltfolgen

**Leitung: Helga Weisz,**  
**stellvertretende Leitung: Peter-Paul Pichler**

**Wann sind die unterschiedlichen Möglichkeiten und Erfahrungswelten von Frauen und Männern bedeutend, um Wohlergehen für alle innerhalb planetarer Grenzen zu erreichen?**

**Zugang zu Strom und moderner Kochenergie fördert die reproduktive Selbstbestimmung von Frauen.** Dies führt zu niedrigeren Geburtenraten, wie eine Studie zeigt. Ein Leben ohne moderne Kochenergie bedeutet für Frauen und Kinder einen hohen Aufwand an Mühe und Zeit für das Sammeln von Feuerholz, starke gesundheitliche Belastungen durch Verbrennungsschadstoffe und eine hohe Kindersterblichkeit. Elektrizität hingegen ist eine Voraussetzung für Bildung und Zugang zu Informationen. Reproduktive Selbstbestimmung von Frauen ist ein vernachlässigter Aspekt in der Nachhaltigkeitsforschung, aber essentiell zur Erreichung der Sustainable Development Goals (Belmin et al., 2021).

**Frauen und Männer machen unterschiedliche Erfahrungen mit Migration als Anpassung an den Klimawandel.**

Migration in agrarischen Gesellschaften, die stark vom Klimawandel betroffen sind, wird oft als effektive Anpassungsstrategie angesehen. Zu diesem Ergebnis kam eine Studie basierend auf qualitativen Interviews mit saisonale Migranten und Migrantinnen aus einem Dorf in Burkina Faso sowie mit Dorfbewohnern, die zurückblieben. Sie zeigt, dass die Konsequenzen der Migration für Männer, die migrieren,

und Frauen, die zurückbleiben, sehr unterschiedlich sind. Frauen beurteilten die Konsequenzen der Migration durchwegs negativ, sehen aber dennoch keine Alternative. Hier ist geschlechtssensible Anpassungshilfe vor Ort gefragt (Vinke et al., Population and Environment 2022).

**FutureLab**

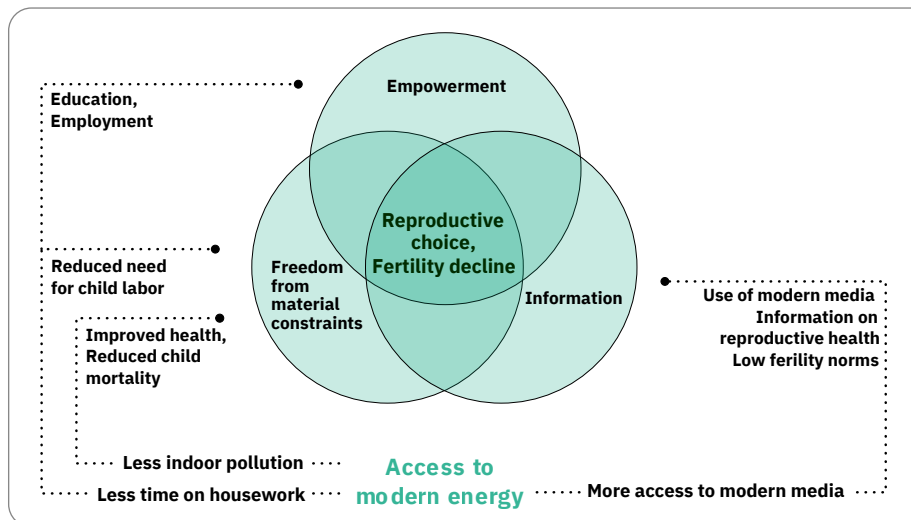
# Erdsystem-Resilienz im Anthropozän

**Leitung: Ricarda Winkelmann & Jonathan F. Donges**

**Wie lassen sich Kippprozesse im Erdsystem und sozialen Netzwerken modellieren? Welches Risiko und Chancen entstehen durch ihre Wechselwirkungen?**

**Welche Rolle spielen Wechselwirkungen zwischen Kippelementen im Klimasystem?** Eine konzeptionelle Betrachtung allgemeiner, wechselwirkender Kippelemente zeigt eine Vielzahl von dynamischen Mustern für das Entstehen von Kippkaskaden (Klose et al., 2021) und erlaubt ein verbessertes Verständnis potentieller Frühwarnindikatoren für Kippkaskaden. Eine effiziente Modellierung dieser komplexen Interaktionsprozesse zwischen grönländischem und antarktischem Eisschild, der atlantischen thermohalinen Zirkulation und dem Amazonas-Regenwald zeigt, dass solche Kippkaskaden ein erhöhtes Risiko für eine Destabilisierung des Erdsystems darstellen und einzelne Kippelemente durch diese Wechselwirkungen bereits bei geringeren Klimaerwärmungen umkippen können (Wunderling et al., 2021).

**Wie breiten sich soziale Kippdynamiken in Netzwerken aus?** Auch soziale Netzwerke können nichtlineares Verhalten zeigen. Dazu wurde ein theoretisches Konzept sozialer Kippdynamiken entwickelt, welches die Ausbreitung von Klimaschutzmaßnahmen auf komplexen adaptiven Netzwerken modelliert (Winkelmann et al., 2022). Darauf aufbauend



# FutureLabs

erlaubt eine neuartige generische Methodik (Donges et al., 2021) die Untersuchung empirischer Daten im Hinblick auf die „ansteckende“ Ausbreitung von Verhaltensmustern, Innovationen, Meinungen oder sozialen Normen.

## FutureLab

### Sicherheit, ethnische Konflikte und Migration

**Leitung: Jacob Schewe & Barbora Sedova**

#### **Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf menschliche Sicherheit, Konfliktrisiken, Migration und Vertreibung?**

**Wie lässt sich Migration auf den Klimawandel zurückführen?** Eine neue Studie untersucht wie unterschiedliche Konzepte und Forschungsdesigns unser Verständnis von Klimamigration prägen. Wir identifizieren fünf zentrale Herausforderungen, die sich auf i) die Messung von Migration und ii) Klimaereignissen, iii) die Integration und Aggregation von Daten, iv) die Identifizierung kausaler Zusammenhänge und v) die Erforschung kontextueller Einflüsse und Mechanismen beziehen. Anschließend erörtern wir methodologische Fortschritte, die zur Beantwortung der oben aufgeworfenen Frage beitragen (Hoffmann et al., 2021).

**Klimawandel erhöht das Risiko für Binnenvertreibung durch Überflutung.** Für jedes weitere Grad globaler Erwärmung werden etwa 50% mehr Menschen dem Risiko ausgesetzt, durch Überschwemmungen und die dadurch entstehenden Zerstörungen zumindest zeitweise vertrieben zu werden. Das zeigt eine erste globale Modellierungsstudie zu diesem Thema. Wird das erwartete Bevölkerungswachstum mit eingerechnet, erhöht sich diese Zahl noch (Kam et al., 2021).

## FutureLab

### Public Economics und Climate Finance

**Leitung: Kai Lessmann & Matthias Kalkuhl (MCC)**

**Wie setzen wir Klimapolitik bestmöglich um? Aktuelle Arbeiten untersuchen die Bewertung von Klimapolitik und die Verteilung von CO<sub>2</sub>-Steueraufkommen.**

**Wie können klimapolitische Spielräume zwischen EU Mitgliedstaaten und Brüssel genutzt werden?** Beim Zusammenspiel von Regulierung über mehrere Ebenen, z.B.

zwischen der EU und ihren Mitgliedstaaten, setzen Vetorecht und Einstimmigkeit Grenzen für föderale Politik. Eine neue Studie lotet die klimapolitischen Spielräume aus, die durch Kombination von CO<sub>2</sub>-Steuern mit unterschiedlichen Verteilungsregeln für das Steueraufkommen entstehen. Es zeigt sich, dass eine Verteilung anhand des aktuellen CO<sub>2</sub>-Ausstoß einen höheren CO<sub>2</sub>-Preis ermöglicht, als eine einheitliche pro-Kopf Auszahlung (Roelfs et al., 2021).

#### **Welche Rolle spielt der Strukturwandel von Wirtschaftssystemen für die Bestimmung der ökonomisch-optimalen Investitionen in Klimaschutz?**

Der Klimawandel verursacht nicht nur Schäden für unsere Volkswirtschaften, sondern hat auch direkte Auswirkungen auf wichtige Quellen unseres Wohlstands. Eine neue Veröffentlichung belegt, wie wichtig es ist, die Verknappung von Nichtmarktsgütern, wie z.B. Ökosystemdienstleistungen, bei der Bewertung der wirtschaftlichen Kosten und Vorteile der Klimapolitik zu berücksichtigen (Drupp & Hänsel, 2021).

## FutureLab

### Künstliche Intelligenz im Anthropozän

**Leitung: Niklas Boers**

**Wie können Methoden des Maschinellen Lernens mit Prozess-basierten physikalischen Modellen kombiniert werden, um abrupte Übergänge, Extremereignisse und deren Auswirkungen im Erdsystem besser zu modellieren und vorherzusagen?**

**Maschinelles Lernen verdoppelt den Vorhersagehorizont für den Beginn des Indischen Monsuns.** Basierend auf Daten-getriebenen Neuronalen Netzen haben wir eine Methode zur Vorhersage von wiederkehrenden Klimaphänomenen entwickelt. Die Anwendung auf das Beispiel des Beginns des Indischen Sommer Monsuns zeigt einen deutlich verlängerten Vorhersagehorizont, von ca. 40 Tagen auf ca. 80-90 Tage, bei gleicher Genauigkeit der Vorhersage (Mitsui & Boers, 2021).

**Stabilitätsverlust von Kippelementen des Erdsystems lässt sich empirisch belegen.** Zwei Studien haben basierend auf Beobachtungsdaten gezeigt, dass sowohl der zentral-westliche Teil des Grönland Eisschildes, als auch die Atlantische Umwälzzirkulation, im Verlauf des letzten Jahrhunderts signifikant an Stabilität verloren haben. Beide Systeme haben sich damit kritischen Schwellenwerten genähert, jenseits derer sie ihren Zustand abrupt ändern könnten, mit schwerwiegenden Folgen (Boers & Rypdal, 2021 und Boers, 2021).

# Organigramm

Stand: 31.12.2021



# Kuratorium und Wissenschaftlicher Beirat

## Kuratorium

Stand: 31.12.2021

*Vorsitzender:*

**Staatssekretär Tobias Dünow** Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg

*Stellvertretender Vorsitzender:*

**Dr. Karsten Hess** Bundesministerium für Bildung und Forschung

**Professor Dr. Marianne Braig** Freie Universität Berlin

**Professor Oliver Günther** Universität Potsdam

**Professor Dr. Dr. Sabine Kunst** Humboldt-Universität zu Berlin

**Professor Dr. Peter Lemke** Ehemals Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum  
für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

**Klaus Milke** Germanwatch e.V., Bonn

**Hildegard Müller** Verband der Automobilindustrie e.V., Berlin

## Wissenschaftlicher Beirat

Stand: 31.12.2021

*Vorsitzender:*

**Professor Dr. Gerald H. Haug** Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, und  
Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina

*Stellvertretende Vorsitzende:*

**Professor Dr. Antje Boetius** Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum  
für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

**Professor Ginestra Bianconi** Queen Mary University of London, UK

**Professor Marc Fleurbaey** Paris School of Economics, Paris, France

**Professor Dr. Vincent Heuveline** Universität Heidelberg u. Heidelberg Institute for Theoretical Studies, Heidelberg

**Professor Ravi Kanbur** Cornell University, Ithaca, USA

**Professor Tim Lenton** University of Exeter, Exeter, UK

**Professor Dr. Nebojsa Nakicenovic** International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria

**Professor Dennis Snower** Global Solutions Initiative, Berlin

**Professor Jessika Trancik** Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA

**Professor Dr. Xiaoxiang Zhu** Technische Universität München

# Auszeichnungen und Ernennungen

<b>Name</b>	<b>Auszeichnung / Ehrung 2021</b>
<b>Bodirsky, Benjamin</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics
<b>Boers, Niklas</b>	· EGU Outstanding Early Career Scientist Award 2021
<b>Edenhofer, Ottmar</b>	· Arthur-Burkhardt-Preis · Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Frieler, Katja</b>	· Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Gerten, Dieter</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Kriegler, Elmar</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Kundzewicz, Zbigniew</b>	· The Prince Sultan Bin Abdulaziz International Prize for Water (PSIPW)
<b>Kurths, Jürgen</b>	· Corresponding Fellow of the Royal Society of Edinburgh · Fellow of the Network Science Society · Alexander von Humboldt Polish Research Award · Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics
<b>Lotze-Campen, Hermann</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics
<b>Luderer, Gunnar</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Mattauch, Linus</b>	· Gewählt in die Junge Akademie der Leopoldina und BBAW, Jahrgang 2021
<b>Müller, Christoph</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Popp, Alexander</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Rahmstorf, Stefan</b>	· Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Rockström, Johan</b>	· Environmental Hero of the Year award of the WWF · Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics
<b>Schellnhuber, Hans Joachim</b>	· The Legion of Honour of the Republic of France · Große Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland 2021 · Ehrenpreis des Deutschen Nachhaltigkeitspreises 2021 · Highly Cited Researcher 2021, Clarivate Analytics · Reuters Hot List of top climate scientists 2021
<b>Schwarz, Luana</b>	· Best Poster Prize, early career researcher at „Interacting tipping elements in the natural and social components in the Earth system“ workshop · Poster Prize, Cognition and Climate summer school at UQAM, Montreal
<b>Sörgel, Björn</b>	· Postdoc-Preis des Landes Brandenburg 2021
<b>Waid, Jillian</b>	· Emerging Leaders in Nutrition Science Award of the American Society for Nutrition
<b>Warchold, Anne</b>	· Best Sustainable Development Article Award der International Sustainable Development Research Society

# Auszeichnungen und Ernennungen

Name	Ernennung / Wahl in Gremien 2021
<b>Edenhofer, Ottmar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Member of the Sustainability Advisory Board of the State of Brandenburg</li> <li>· Member of the High-Level Advisory Group on Sustainable and Inclusive Recovery and Growth (initiative of The World Bank and the International Monetary Fund)</li> <li>· Elected to the plenary assembly of the Central Committee of German Catholics</li> <li>· External Advisory Panel member for the OECD project on Building Climate and Economic Resilience in the Transition to Low-carbon Economy</li> <li>· Member of the Science Advice for Policy by European Academies (SAPEA) working group “A systemic approach to the energy transition in Europe“</li> <li>· Advisor for the Vatican’s “Dicastery for Promoting Integral Human Development”</li> </ul>
<b>Feulner, Georg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mitglied Fachausschuss Wissenschaft der Deutschen UNESCO-Kommission</li> <li>· Mitglied Strategieteam Geo.X</li> <li>· Mitglied Steuerungskreis nationale Erdsystemmodellierungsstrategie</li> </ul>
<b>Gerten, Dieter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Co-speaker of the Leibniz Research Network “Integrated Earth System Research“ (iESF)</li> <li>· Advisory Board Member European Forum for the Study of Religion and the Environment (EFSRE)</li> </ul>
<b>Kosch, Mirjam</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Advisory board member: Observatoire de la politique climatique, Luxembourg (Scientific Advisory Board on Climate Politics for the Government of Luxembourg)</li> <li>· Scientific Advisory Board member of Spuerkeess (Sparkasse Luxemburg)</li> </ul>
<b>Kriegler, Elmar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Member of the Steering committee of the Scenarios Forum 2022 at IIASA</li> <li>· Author, Working Group III contribution to IPCC 6th Assessment Report, Annex C on Scenarios and modelling methods</li> </ul>
<b>Kropp, Jürgen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Jury Mitglied für den Bereich nachhaltige Entwicklung von Kommunen und Städte, Stiftung Deutscher Nachhaltigkeitspreis</li> <li>· Examination Board member for the International Master Programme “Climate, Earth, Water, Sustainability“, University of Potsdam</li> </ul>
<b>Levermann, Anders</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Scientific Advisory Board member of the UN-convened Net Zero Asset Owner Alliance</li> </ul>
<b>Lotze-Campen, Hermann</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mitgliedschaft im Beirat für Raumentwicklung am BMI in der 20. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages</li> </ul>
<b>Luderer, Gunnar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Topical Editor “Intergrated Assessment Modeling“, Geoscientific Model Development</li> </ul>
<b>Marwan, Norbert</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Organization committee member for the 9th International Symposium on Recurrence Plots 2021, in Lublin, Poland</li> </ul>
<b>Mattauch, Linus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mitgliedschaft der Sachverständigengruppe Weltwirtschaft und Sozialethik, Deutsche Bischofskonferenz</li> </ul>
<b>Pichler, Peter-Paul</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mitglied im Expertenbeirat für BMAS Fachkräfte monitoring, Bundesministerium für Arbeit und Soziales</li> <li>· Scientific committee member, ISIE-SEM 2022 conference “Transforming socio-economic metabolism in times of multiple crises“, 2022, in Vienna, Austria</li> </ul>
<b>Pradhan, Prajal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Editorship, Anthropocene Science</li> <li>· Editorship, PLOS Sustainability and Transformation</li> </ul>
<b>Reese, Ronja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Membership in JPI knowledge hub on sea level rise, task group 3 on Science</li> </ul>
<b>Rheinbay, Janna</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Member of the Research Panel of AQ Green TeC</li> </ul>



# Auszeichnungen und Ernennungen

<b>Name</b>	<b>Ernennung / Wahl in Gremien 2021</b>
<b>Rockström, Johan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Member of the Weathering Risk Steering Project Board</li> <li>· Advisory Board member of the European Investment Bank</li> <li>· Advisory Board member of the KAUST Climate and Livability Initiative</li> <li>· Advisory Board member of the Center of Competence for Sustainable Finance (CCSF), University of Zurich</li> </ul>
<b>Rousi, Efi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Coordinator of the topic specific meeting on Heatwaves and Droughts of the German consortium ClimXtreme</li> </ul>
<b>Schellhuber, Hans Joachim</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Member of the New European Bauhaus High-level Roundtable</li> </ul>
<b>Stenzel, Fabian</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Senior Deputy to Johan Rockström in Champions for Nature community of the World Economic Forum</li> </ul>
<b>Thonicke, Kirsten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Speaker of the Leibniz Research Network “Biodiversity”</li> </ul>
<b>Waid, Jillian</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Member of the Scientific Committee for the annual Agriculture, Nutrition and Health Academy</li> </ul>
<b>Weisz, Helga</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Member of the Advisory Board for the UNDP 2021/22 Human Development Report</li> <li>· Appointed to the Jury of the German Environmental Award (Deutscher Umweltpreis)</li> </ul>
<b>Wesch, Stefanie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Deputy Speaker for Diversity, Leibniz Arbeitskreis Chancengleichheit</li> <li>· Speaker, Junge AFK (Deutsche Arbeitsgemeinschaft Friedens- und Konfliktforschung)</li> </ul>

# Berufungen und Stipendien

<b>Name</b>	<b>Berufung</b>
<b>Boers, Niklas</b>	Professur in Erdsystemmodellierung an der Technischen Universität München
<b>Mattauch, Linus</b>	Robert Bosch Juniorprofessor Nachhaltige Nutzung natürliche Ressourcen an der Technischen Universität Berlin
<b>Shukla, Roopam</b>	Assistant Professor at the Indian Institute of Technology Roorkee, India
<b>Schauberger, Bernhard</b>	Professur für Agrarsysteme und Klimawandel an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf in Freising

<b>Name</b>	<b>Universitäten / Fellowships / Stipendien</b>
<b>Büttner, Anna</b>	Humboldt Research Track Scholarship
<b>Büttner, Anna</b>	Promotionsförderung der Studienstiftung des Deutschen Volkes
<b>Hemmen, Marie</b>	Promotionsförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
<b>Kurths, Jürgen</b>	Distinguished Adjunct Professor, Korea Institute of Energy Technology (KENTECH)

# Drittmittelprojekte

## Projekte gestartet in 2021

Akronym	Projekttitlel	RD	Ref Nr.	Mittelgeber	von	bis
<b>STEPSEC</b>	Überprüfung der Machbarkeit von terrestrischen CDR-Potenzialen unter sozio-ökologischen Randbedingungen-TP4: Simulation von erdsystemischen Folgewirkungen diverser Zukunftsszenarien	1	91202	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum	10/1/2021	9/30/2024
<b>VAST</b>	Vulnerabilität des antarktischen Eisschildes gegenüber einer sich verändernden Thermokline	1	9786	Deutsche Forschungsgemeinschaft	9/1/2021	2/28/2023
<b>FirEUrisk</b>	FirEUrisk – Developing a holistic, risk-wise strategy for European wildfire management	1	96142	Europäische Union	4/1/2021	3/31/2025
<b>RADON</b>	Einsatz von klimatischen Modellrechnungen zur Beurteilung der Robustheit der Sicherheitsaussage und der Szenariungewissheiten bei der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle	1	95220	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH	12/16/2021	10/15/2024
<b>Biodiversität</b>	Forschungsverbund Netzwerk Biodiversität	1	94117	Leibniz-Gemeinschaft (Partner)	4/15/2021	4/14/2024
<b>EC-WG5</b>	Stewardship Framework: Modelling Transformation Pathways	1	94105	Rockefeller Philanthropy Advisors	1/1/2021	7/31/2021
<b>WatMit</b>	Water and Climate Mitigation	1	94106	SIWI Stockholm	3/1/2021	7/15/2021
<b>POEM-PBSim</b>	POEM-PBSim – A Simulator for Earth's Planetary Boundaries (Pilotphase)	1	9226	VW-Stiftung	1/1/2021	12/31/2023
<b>CashEval</b>	Early Action Cash Transfers: Randomisierte Wirkungsevaluierung eines neuen Instruments in der Humanitären Hilfe	2	94113	Auswärtiges Amt	2/10/2021	4/30/2023
<b>ClimSec Sahel 2.0</b>	ClimSec Sahel 2.0 – An early warning system on Climate Risks on Human Security in the Sahel Zone	2	94111	Bundesamt für Auswärtige Angelegenheiten	4/15/2021	12/31/2021
<b>YSSP 2021 (IIASA)</b>	Young Scientist Summer Programme	2	91198	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum	4/1/2021	12/31/2021
<b>CapTain Rain</b>	CLIENT II – Verbundprojekt Klimaanpassung: Wassersammlung und -ableitung bei Starkregenereignissen in Jordanien (CapTain Rain) – Teilprojekt 2: Analyse und Modellierung von Starkregenereignissen	2	91199	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum	6/1/2021	5/31/2024
<b>AGrEc</b>	Resilienz afrikanischer Grasländer gegenüber dem Klimawandel	2	91200	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum	6/15/2021	12/31/2021
<b>IIASA 2021</b>	Unterstützung der Geschäftsführung der deutschen NMO für das Projektjahr 2021	2	95218	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum	2/1/2021	12/31/2021
<b>DIFENS</b>	Waldentwicklung als Folge von Veränderung der Holznachfrage, Klimaveränderung, natürliche Störungen und Politikanforderungen – Eine Analyse der Reaktionsmöglichkeiten von Forst- und Holzwirtschaft	2	91204	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft / Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.	12/1/2021	11/30/2024
<b>Agrica Sahel</b>	Klimarisikooanalysen für Anpassungsplanungen in Subsahara Afrika	2	91193	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	1/1/2021	12/31/2023
<b>DBU Stipendium Hemmen</b>	Auswirkungen einer verbesserten Abbildung von Hitzestressfolgen auf simulierte Ernteerträge und Bewertung von landwirtschaftlichen Anpassungspotentialen durch Weiterentwicklung und Anwendung des prozessbasierten Landwirtschaftsmodells LPJmL	2	90108	Deutsche Bundesstiftung Umwelt	8/1/2021	7/31/2024
<b>CCH PI3</b>	Witterungs- und klimabedingte Einflüsse auf landwirtschaftliche Erträge und die Nahrungsmittelproduktion auf subnationaler und nationaler Skale (Forschungsgruppe: Klimawandel und Gesundheit in Afrika südlich der Sahara)	2	9781	Deutsche Forschungsgemeinschaft	1/1/2021	12/31/2023

<b>Akronym</b>	<b>Projekttitel</b>	<b>RD</b>	<b>Ref Nr.</b>	<b>Mittelgeber</b>	<b>von</b>	<b>bis</b>
<b>Upon</b>	Urbane Perkolaton	2	9791	Deutsche Forschungsgemeinschaft	10/1/2021	9/30/2024
<b>Pakistan</b>	Climate Risk Profile and Evaluation if Adaptation (Actions) in the Agriculture Sector in Pakistan	2	94108	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	2/1/2021	6/30/2022
<b>Agrica 21</b>	Support of the AGRICA-project in Sub-Saharan Africa by implementing additional measures	2	94122	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	10/1/2021	2/28/2023
<b>PrAda</b>	Anpassung landwirtschaftlicher Wertschöpfungsketten an den Klimawandel, Land Madagaskar	2	94125	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	12/1/2021	9/30/2022
<b>NaWu_PH</b>	Nachwuchsförderfonds Dr. Pritzsche Stiftung	2	9227	Dr. Pritzsche Stiftung	1/1/2021	12/31/2025
<b>Climate Migration 2050</b>	Modelling climate change-related international migration	2	96137	Europäische Union	2/1/2021	1/31/2023
<b>DIALOGUES</b>	Inclusive DIALOGUES towards an operational concept of energy citizenship to support the Energy Union	2	96139	Europäische Union	5/1/2021	4/30/2024
<b>EUCITYCALC</b>	European City Caclulator: Prospective modelling tool supporting public authorities in reaching climate neutrality	2	96141	Europäische Union	9/1/2021	8/31/2024
<b>LOCALISED</b>	Localised decarbonisation pathways for citizens, local administrations and businesses to inform for mitigation and adaptation action	2	96145	Europäische Union	10/1/2021	9/30/2025
<b>TransformAr</b>	Accelerating and upscaling transformational adaptation in Europe: demonstration of water-related innovation packages	2	96146	Europäische Union	10/1/2021	9/30/2025
<b>Green PlantFood</b>	Green technology for plant based food	2	94115	Research Council of Norway (RCN)/ Nofima AS	1/1/2021	12/31/2024
<b>UNHCR</b>	Anticipatory planning for the development pillar	2	95216	UNHCR	5/7/2021	3/31/2022
<b>Waldklima-schutz</b>	Waldklimaschutz in Deutschland	2	94112	Zentralstelle der Forstverwaltung/Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft	5/4/2021	11/30/2021
<b>ESM2025</b>	Earth system models for the future	3 & 2	96144	Europäische Union	6/1/2021	5/31/2025
<b>AUS-KOOP</b>	Länderübergreifende Beratungs- und Unterstützungsleistungen zur internationalen Energiekooperation mit Australien und Neuseeland	3	95217	adelphi consult GmbH	5/3/2021	5/2/2024
<b>CDR SynTra</b>	CDR Synthese- und Transferprojekt – TP 7: Transformationspfade	3	91203	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum	11/1/2021	10/31/2024
<b>RETAKE</b>	Quantifizierung der Potenziale, Machbarkeit und Nebenwirkungen atmosphärischer CO <sub>2</sub> -Entnahme durch Alkalinitätserhöhung; Vorhaben: Ökonomische Angebotskurven und IAM Modellierung	3	91201	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Forschungszentrum Jülich	8/1/2021	7/31/2024
<b>NGFS III</b>	Continued support for climate change scenario work to support the NGFS	3	94124	ClimateWorks Foundation	11/1/2021	6/30/2022
<b>DBU Stipendium Chen</b>	Eine Analyse der Folgen multipler Ernteausfälle auf das globale Ernährungssystem sowie des Potentials von Lagerhaltung, lokalen und internationalen Märkten als Stabilisierungsmechanismen in einem agrarökonomischen Modell	3	90107	Deutsche Bundesstiftung Umwelt	1/1/2021	12/31/2023
<b>FloodDrivers</b>	Aufteilung von Hochwasserschäden auf Umwelt- und wirtschaftliche Faktoren	3	9792	Deutsche Forschungsgemeinschaft	7/1/2021	6/30/2024
<b>CLEANUP</b>	Politikinstrumente zur Entnahme von atmosphärischem Kohlendioxid	3	9793	Deutsche Forschungsgemeinschaft	7/1/2021	6/30/2024

# Drittmittelprojekte

Akronym	Projekttitle	RD	Ref Nr.	Mittelgeber	von	bis
<b>EU ETS</b>	Preisentwicklung und Auswirkungen auf die Sektoren Strom, Wärme und Industrie bei Reformen des Europäischen Emissionshandelssystem	3	95219	E3-Modelling S.A.	8/9/2021	5/2/2023
<b>ECEMF</b>	European Climate and Energy Modelling Forum	3	96140	Europäische Union	5/1/2021	4/30/2025
<b>CAMPAIGNers</b>	Citizens Acting on Mitigation Pathways through Active Implementation of a Goal-setting Network	3	96143	Europäische Union	5/1/2021	4/30/2024
<b>Dekarbo-nisierung</b>	Wissenschaftliche Analysen zu Einführung, Design und Skalierung von Klimaschutzverträgen (CCfD) zur Dekarbonisierung der Grundstoffindustrie	3	95221	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)	8/1/2021	7/31/2024
<b>SESAME</b>	Hydrogen and Climate Change Mitigation in Germany and Europe	3	94110	MIT – Massachusetts Institute of Technology	1/1/2021	12/31/2021
<b>Fable NICFI 2.0</b>	Support on the continued development of the Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment (MAGPIE) for India	3	94120	SDSN Association	7/1/2021	12/31/2021
<b>REEGion now</b>	WIR! REEGion now – Verbundvorhaben: Regionales Wertschöpfungsbündnis Lifelines in NWB; Teilvorhaben: „WIR sind die Expertise für den strategischen Wissenstransfer in die Region	4	91196	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Forschungszentrum Jülich	3/1/2021	11/30/2021
<b>DBU-SCARIA</b>	Förderung des Nachhaltigkeitsbewusstseins durch partizipative, interaktive Klima-Experimente	4	9228	Deutsche Bundesstiftung Umwelt	9/1/2021	10/31/2022
<b>COSYHEMU-NET</b>	Kontrollierte Synchronisation in heterogenen Multischicht-Netzwerken	4	9787	Deutsche Forschungsgemeinschaft	4/1/2021	3/31/2024
<b>CoCoHype 2</b>	Konsistenter Entwurf von Regelungskonzepten zur Koordination verteilter Akteure im mehrschichtigen Verbundnetz	4	9790	Deutsche Forschungsgemeinschaft	8/1/2021	7/31/2024
<b>EnOB</b>	PI_II_Verbund – Wissenschaftliches Monitoring des Neubaus und Ausbau der Abwärmenutzung des Hochleistungsrechners	Adm	91197	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie / Forschungszentrum Jülich	2/1/2021	1/31/2024
<b>German-Health</b>	Evidenzbasis Treibhausgasemissionen des deutschen Gesundheitswesens	FL Metab	94123	Bundesverwaltungsamt	1/1/2022	12/31/2022
<b>SmartCO<sub>2</sub></b>	A roadmap towards smart EO services for CO <sub>2</sub> inventorying and control	FL Metab	94114	Österreichische Forschungsförderungs-gesellschaft mbH	5/1/2021	4/30/2022
<b>EC-WG5-2. Phase</b>	Earth Commission WG5 – Phase 2	FL Metab	94118	Rockefeller Philanthropy Advisors	8/1/2021	6/30/2022
<b>SBT_UN</b>	IRP rapid assessment on Science-Based Targets and IRP think piece on Sustainability Transitions	FL Metab	94119	United Nations Environment Programme	8/16/2021	12/31/2021
<b>CI_Phase2</b>	Support for Rockstrom Distinguished Fellowship	VB	94121	Conservation International	10/1/2021	6/30/2023

RD – Research Department (Forschungsabteilung), VB -Vorstandsbereich, Adm – Verwaltung, FL Metab – FutureLab Sozialer Metabolismus

# Veröffentlichungen 2021

## Artikel in begutachteten Zeitschriften

- Aghdassi, S. J. S., Gastmeier, P., **Hoffmann, P.**, Schwab, F. (2021): Increase in surgical site infections caused by gram-negative bacteria in warmer temperatures: Results from a retrospective observational study. – *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 42, 4, 417-424. DOI: 10.1017/ice.2020.463
- Ai, Z., Hanasaki, N., **Heck, V.**, Hasegawa, T., Fujimori, S. (2021): Global bioenergy with carbon capture and storage potential largely constrained by sustainable irrigation. – *Nature Sustainability*, 4, 10, 884-891. DOI: 10.1038/s41893-021-00740-4
- Alberti, T., **Donner, R. V.**, Vannitsem, S. (2021): Multiscale fractal dimension analysis of a reduced order model of coupled ocean-atmosphere dynamics. – *Earth System Dynamics*, 12, 3, 837-855. DOI: 10.5194/esd-12-837-2021
- Alberti, T., Faranda, D., **Donner, R. V.**, Cabby, T., Carbone, V., Consolini, G., Dubrulle, B., Vaienti, S. (2021): Small-scale Induced Large-scale Transitions in Solar Wind Magnetic Field. – *The Astrophysical Journal Letters*, 914, 1, L6. DOI: 10.3847/2041-8213/ac0148
- Alves, L. G. A., **Rybski, D.**, Ribeiro, H. V. (2021): Commuting network effect on urban wealth scaling. – *Scientific Reports*, 11, 22918. DOI: 10.1038/s41598-021-02327-7
- Ambika, G., **Kurths, J.** (2021): Tipping in complex systems: theory, methods and applications [Editorial]. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 16-17, 3177-3179. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00281-z
- Andrasi, B., Jaeger, J. A. G., **Heinicke, S.**, Metcalfe, K., Hockings, K. J. (2021): Quantifying the road effect zone for a critically endangered primate. – *Conservation Letters*, 14, 6, e12839. DOI: 10.1111/conl.12839
- Ansari, S., Anvari, M., Pfeffer, O., Molkenthin, N., Moosavi, M. R., Hellmann, F., Heitzig, J., Kurths, J.** (2021): Moving the epidemic tipping point through topologically targeted social distancing. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 16-17, 3273-3280. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00138-5
- Ansari, S., Heitzig, J., Brzoska, L.**, Lentz, H. H. K., **Mihatsch, J.**, Fritzscheier, J., Moosavi, M. R. (2021): A Temporal Network Model for Livestock Trade Systems. – *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 766547. DOI: 10.3389/fvets.2021.766547
- Araos, M., Jagannathan, K., **Shukla, R.**, Ajibade, I., Coughlan de Perez, E., Davis, K., Ford, J. D., Galappaththi, E. K., Grady, C., Hudson, A., Joe, E. T., Kirchhoff, C. J., Lesnikowski, A., Alverio, G. N., Nielsen, M., Orlove, B., Pentz, B., Reckien, D., Siders, A., Ulibarri, N., van Aalst, M., Abu, T. Z., Agrawal, T., Berrang-Ford, L., Kerr, R. B., Coggins, S., Garschagen, M., Harden, A., Mach, K. J., Nunbogu, A. M., Spandan, P., Templeman, S., Turek-Hankins, L. L. (2021): Equity in human adaptation-related responses: A systematic global review. – *One Earth*, 4, 10, 1454-1467. DOI: 10.1016/j.oneear.2021.09.001
- Armstrong McKay, D. I., Cornell, S. E., Richardson, K., **Rockström, J.** (2021): Resolving ecological feedbacks on the ocean carbon sink in Earth system models. – *Earth System Dynamics*, 12, 3, 797-818. DOI: 10.5194/esd-12-797-2021
- Arreyndip, N. A.** (2021): African continental free trade area (AfCFTA): projected economic impact assessment under future warming in CMIP6. – *Environmental Research Letters*, 16, 9, 094046. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1fbd
- Arumugam, P., Chemura, A., Schaubberger, B., Gornott, C.** (2021): Remote Sensing Based Yield Estimation of Rice (*Oryza Sativa* L.) Using Gradient Boosted Regression in India. – *Remote Sensing*, 13, 12, 2379. DOI: 10.3390/rs13122379
- Asano, Y. M., Kolb, J. J., Heitzig, J.**, Farmer, J. D. (2021): Emergent inequality and business cycles in a simple behavioral macroeconomic model. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 27, e2025721118. DOI: 10.1073/pnas.2025721118
- Auer, C., Kriegl, E.**, Carlsen, H., Kok, K., Pedde, S., Krey, V., Müller, B. (2021): Climate change scenario services: From science to facilitating action. – *One Earth*, 4, 8, 1074-1082. DOI: 10.1016/j.oneear.2021.07.015
- Bak-Coleman, J. B., Alfano, M., **Barfuss, W.**, Bergstrom, C. T., Centeno, M. A., Couzin, I. D., **Donges, J. F.**, Galesic, M., Gersick, A. S., Jaquet, J., Kao, A. B., Moran, R. E., Romanczuk, P., Rubenstein, D. I., Tombak, K. J., Van Bavel, J. J., Weber, E. U. (2021): Stewardship of global collective behavior. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 27, e2025764118. DOI: 10.1073/pnas.2025764118
- Baldini, J. U. L., Lechleitner, F. A., Breitenbach, S. F. M., van Hunen, J., Baldini, L. M., Wynn, P. M., Jamieson, R. A., Ridley, H. E., Baker, A. J., Walczak, I. W., **Fohlmeister, J.** (2021): Detecting and quantifying palaeoseasonality in stalagmites using geochemical and modelling approaches. – *Journal of Quaternary Sciences*, 254, 106784. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106784
- Banerjee, A., Goswami, B.**, Hirata, Y., Eroglu, D., Merz, B., **Kurths, J., Marwan, N.** (2021): Recurrence analysis of extreme event-like data. – *Nonlinear Processes in Geophysics*, 28, 2, 213-229. DOI: 10.5194/npg-28-213-2021
- Bao, X., Ji, P., Lin, W., Perc, M., **Kurths, J.** (2021): The impact of COVID-19 on the worldwide air transportation network. – *Royal Society Open Science*, 8, 11, 210682. DOI: 10.1098/rsos.210682
- Bardeen, C. G., Kinnison, D. E., Toon, O. B., Mills, M. J., Vitt, F., Xia, L., **Jägermeyr, J.**, Lovenduski, N. S., Scherrer, K. J. N., Clyne, M., Robock, A. (2021): Extreme Ozone Loss Following Nuclear War Results in Enhanced Surface Ultraviolet Radiation. – *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, 18, e2021JD035079. DOI: 10.1029/2021JD035079
- Barton-Henry, K., Wenz, L., Levermann, A.** (2021): Decay radius of climate decision for solar panels in the city of Fresno, USA. – *Scientific Reports*, 11, 8571. DOI: 10.1038/s41598-021-87714-w
- Baudry, M., Faure, A., **Quemin, S.** (2021): Emissions trading with transaction costs. – *Journal of Environmental Economics and Management*, 108, 102468. DOI: 10.1016/j.jeem.2021.102468

# Veröffentlichungen 2021

- Baumstark, L., Bauer, N., Benke, F., Bertram, C., Bi, S., Gong, C. C., Dietrich, J. P., Dirnacher, A., Giannousakis, A., Hilaire, J., Klein, D., Koch, J., Leimbach, M., Levesque, A., Madeddu, S., Malik, A., Merfort, A., Merfort, L., Odenweller, A., Pehl, M., Pietzcker, R. C., Piontek, F., Rauner, S., Dias Bleasby Rodrigues, R., Rottoli, M., Schreyer, F., Schultes, A., Sörgel, B., Sörgel, D., Strefler, J., Ueckerdt, F., Kriegler, E., Luderer, G.** (2021): REMIND2.1: transformation and innovation dynamics of the energy-economic system within climate and sustainability limits. – *Geoscientific Model Development*, 14, 10, 6571-6603. DOI: 10.5194/gmd-14-6571-2021
- Bergmann, J.** (2021): Planned relocation in Peru: advancing from well-meant legislation to good practice. – *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 11, 3, 365-375. DOI: 10.1007/s13412-021-00699-w
- Berner, R., Mehrmann, V., **Schöll, E.**, Yanchuk, S. (2021): The Multiplex Decomposition: An Analytic Framework for Multilayer Dynamical Networks. – *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems*, 20, 4, 1752-1772. DOI: 10.1137/21M1406180
- Berner, R., Vock, S., **Schöll, E.**, Yanchuk, S. (2021): Desynchronization transitions in adaptive networks. – *Physical Review Letters*, 126, 2, 028301. DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.028301
- Berner, R., Yanchuk, S., Maistrenko, Y., **Schöll, E.** (2021): Generalized splay states in phase oscillator networks. – *Chaos*, 31, 7, 073128. DOI: 10.1063/5.0056664
- Berner, R., Yanchuk, S., **Schöll, E.** (2021): What adaptive neuronal networks teach us about power grids. – *Physical Review E*, 103, 4, 042315. DOI: 10.1103/PhysRevE.103.042315
- Berrang-Ford, L., Siders, A. R., Lesnikowski, A., Fischer, A. P., Callaghan, M. W., Haddaway, N. R., Mach, K. J., Araos, M., Shah, M. A. R., Wannewitz, M., Doshi, D., Leiter, T., Matavel, C., Musah-Surugu, J. I., Wong-Parodi, G., Antwi-Agyei, P., Ajibade, I., Chauhan, N., Kakenmaster, W., Grady, C., Chalastani, V. I., Jagannathan, K., Galappaththi, E. K., Sitati, A., Scarpa, G., Totin, E., Davis, K., Hamilton, N. C., Kirchhoff, C. J., Kumar, P., Pentz, B., Simpson, N. P., Theokritoff, E., Deryng, D., Reckien, D., Zavaleta-Cortijo, C., Ulibarri, N., Segnon, A. C., Khavhagali, V., Shang, Y., Zvobgo, L., Zommers, Z., Xu, J., Williams, P. A., Canosa, I. V., van Maanen, N., van Bavel, B., van Aalst, M., Turek-Hankins, L. L., Trivedi, H., Trisos, C. H., Thomas, A., Thakur, S., Templeman, S., Stringer, L. C., Sotnik, G., Sjöstrom, K. D., Singh, C., Siña, M. Z., **Shukla, R.**, Sardans, J., Salubi, E. A., Safaee Chalkasra, L. S., Ruiz-Díaz, R., Richards, C., Pokharel, P., Petzold, J., Penuelas, J., Pelaez Avila, J., Murrillo, J. B. P., Ouni, S., Niemann, J., Nielsen, M., New, M., Nayna Schwerdtle, P., Nagle Alverio, G., Mullin, C. A., Mullenite, J., Mosurska, A., Morecroft, M. D., Minx, J. C., **Maskell, G. M.**, Nunbogu, A. M., Magnan, A. K., Lwasa, S., Lukas-Sithole, M., Lissner, T., Lilford, O., Koller, S. F., Jurjonas, M., Joe, E. T., Huynh, L. T. M., Hill, A., Hernandez, R. R., Hegde, G., Hawxwell, T., Harper, S., Harden, A., Haasnoot, M., Gilmore, E. A., Gichuki, L., Gatt, A., Garschagen, M., Ford, J. D., Forbes, A., Farrell, A. D., Enquist, C. A. F., Elliott, S., Duncan, E., Coughlan de Perez, E., Coggins, S., Chen, T., Campbell, D., Browne, K. E., Bowen, K. J., Biesbroek, R., Bhatt, I. D., Bezner Kerr, R., Barr, S. L., Baker, E., Austin, S. E., Arotoma-Rojas, I., Anderson, C., Ajaz, W., Agrawal, T., Abu, T. Z. (2021): A systematic global stocktake of evidence on human adaptation to climate change. – *Nature Climate Change*, 11, 11, 989-1000. DOI: 10.1038/s41558-021-01170-y
- Bertram, C., Luderer, G.**, Creutzig, F., **Bauer, N., Ueckerdt, F., Malik, A., Edenhofer, O.** (2021): COVID-19-induced low power demand and market forces starkly reduce CO<sub>2</sub> emissions. – *Nature Climate Change*, 11, 3, 193-196. DOI: 10.1038/s41558-021-00987-x
- Bertram, C.**, Riahi, K., **Hilaire, J.**, Bosetti, V., Drouet, L., Fricko, O., **Malik, A.**, Pupo Nogueira, L., van der Zwaan, B., van Ruijven, B., van Vuuren, D. P., Weitzel, M., Dalla Longa, F., de Boer, H.-S., Emmerling, J., Fosse, F., Fragkiadaki, K., Harmsen, M., Keramidas, K., Kishimoto, P. N., **Kriegler, E.**, Krey, V., Paroussos, L., Saygin, D., Vrontisi, Z., **Luderer, G.** (2021): Energy system developments and investments in the decisive decade for the Paris Agreement goals. – *Environmental Research Letters*, 16, 7, 074020. DOI: 10.1088/1748-9326/ac09ae
- Beyer, R. M.**, Krapp, M., Eriksson, A., Manica, A. (2021): Climatic windows for human migration out of Africa in the past 300,000 years. – *Nature Communications*, 12, 4889. DOI: 10.1038/s41467-021-24779-1
- Beyer, R. M.**, Manica, A. (2021): Range Sizes of the World's Mammals, Birds, and Amphibians from the Mid-Holocene to the Industrial Period. – *Animals*, 11, 12, 3561. DOI: 10.3390/ani11123561
- Beyer, R. M.**, Manica, A. (2021): Global and country-level data of the biodiversity footprints of 175 crops and pasture. – *Data in Brief*, 36, 106982. DOI: 10.1016/j.dib.2021.106982
- Beyer, R. M.**, Manica, A., Mora, C. (2021): Shifts in global bat diversity suggest a possible role of climate change in the emergence of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2. – *Science of the Total Environment*, 767, 145413. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145413
- Bi, S.** (2021): The Institutional Lock-out of Sustainable Transport Technologies: Inherent, Intentional, Invertible? – *European Review*, 29, 1, 83-94. DOI: 10.1017/S1062798720000605
- Bjelle, E. L., Wiebe, K. S., **Többen, J.**, Tisserant, A., Ivanova, D., Vita, G., Wood, R. (2021): Future changes in consumption: The income effect on greenhouse gas emissions. – *Energy Economics*, 95, 105114. DOI: 10.1016/j.eneeco.2021.105114
- Blasco, J., Alvarez-Solas, J., **Robinson, A.**, Montoya, M. (2021): Exploring the impact of atmospheric forcing and basal drag on the Antarctic Ice Sheet under Last Glacial Maximum conditions. – *The Cryosphere*, 15, 1, 215-231. DOI: 10.5194/tc-15-215-2021
- Boers, N.** (2021): Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation. – *Nature Climate Change*, 11, 8, 680-688. DOI: 10.1038/s41558-021-01097-4
- Boers, N., Kurths, J., Marwan, N.** (2021): Complex systems approaches for Earth system data analysis. – *Journal of Physics: Complexity*, 2, 1, 011001. DOI: 10.1088/2632-072X/abd8db
- Boers, N.**, Rypdal, M. (2021): Critical slowing down suggests that the western Greenland Ice Sheet is close to a tipping point. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 21, e2024192118. DOI: 10.1073/pnas.2024192118
- Boettner, C., Klinghammer, G., Boers, N.**, Westerhold, T., **Marwan, N.** (2021): Early-warning signals for Cenozoic climate transitions. – *Quaternary Science Reviews*, 270, 107177. DOI: 10.1016/j.quascirev.2021.107177
- Booshehri, M., Emele, L., Flügel, S., Förster, H., Frey, J., Frey, U., Glauber, M., Hastings, J., Hofmann, C., Hoyer-Klick, C., Hülk, L., Kleinau, A., Knosala, K., Kutzur, L., Kuckertz, P., Mosakowski, T., Muschner, C., Neuhaus, F., **Pehl, M.**, Robinius, M., Sehn, V., Stappel, M. (2021): Introducing the Open Energy Ontology: Enhancing data interpretation and interfacing in energy systems analysis. – *Energy and AI*, 5, 100074. DOI: 10.1016/j.egyai.2021.100074
- Born, A., **Robinson, A.** (2021): Modeling the Greenland englacial stratigraphy. – *The Cryosphere*, 15, 9, 4539-4556. DOI: 10.5194/tc-15-4539-2021
- Botta, N., Brede, N.**, Jansson, P., Richter, T. (2021): Extensional equality preservation and verified generic programming. – *Journal of Functional Programming*, 31, e24. DOI: 10.1017/S0956796821000204
- Boulange, J., Hanasaki, N., Satoh, Y., Yokohata, T., Shiogama, H., Burek, P., Thiery, W., **Gerten, D.**, Müller Schmied, H., Wada, Y., Gosling, S. N., Pokhrel, Y. N., Wanders, N. (2021): Validity of estimating flood and drought characteristics under equilibrium climates from transient sim-

ulations. – *Environmental Research Letters*, 16, 10, 104028. DOI: 10.1088/1748-9326/ac27cc

Brás, T. A., Seixas, J., Carvalhais, N., **Jägermeyr, J.** (2021): Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe. – *Environmental Research Letters*, 16, 6, 065012. DOI: 10.1088/1748-9326/abf004

**Braun, T., Unni, V., Sujith, R., Kurths, J., Marwan, N.** (2021): Detection of dynamical regime transitions with lacunarity as a multiscale recurrence quantification measure. – *Nonlinear Dynamics*, 104, 4, 3955-3973. DOI: 10.1007/s11071-021-06457-5

**Brede, N., Botta, N.** (2021): On the correctness of monadic backward induction. – *Journal of Functional Programming*, 31, e26. DOI: 10.1017/S0956796821000228

Brovkin, V., Brook, E., Williams, J. W., Bathiany, S., Lenton, T. M., Barton, M., DeConto, R. M., **Donges, J. F., Ganopolski, A.,** McManus, J., Praetorius, S., de Vernal, A., Abe-Ouchi, A., Cheng, H., Claussen, M., Crucifix, M., Gallopin, G., Iglesias, V., Kaufman, D. S., Kleinen, T., Lambert, F., van der Leeuw, S., Liddy, H., Loutre, M.-F., McGee, D., Rehfeld, K., Rhodes, R., Seddon, A. W. R., Trauth, M. H., Vanderveken, L., Yu, Z. (2021): Past abrupt changes, tipping points and cascading impacts in the Earth system. – *Nature Geoscience*, 14, 8, 550-558. DOI: 10.1038/s41561-021-00790-5

**Brugger, J., Feulner, G., Hofmann, M., Petri, S.** (2021): A Pronounced Spike in Ocean Productivity Triggered by the Chicxulub Impact. – *Geophysical Research Letters*, 48, 12, e2020GL092260. DOI: 10.1029/2020GL092260

**Brunel, M., Rammig, A., Furquim, F., Overbeck, G., Barbosa, H. M., Thonicke, K., Rolinski, S.** (2021): When do Farmers Burn Pasture in Brazil: A Model-Based Approach to Determine Burning Date. – *Rangeland Ecology & Management*, 79, 110-125. DOI: 10.1016/j.rama.2021.08.003

Budolfson, M., Dennig, F., Errickson, F., Feindt, S., Ferranna, M., Fleurbaey, M., Klenert, D., **Kornek, U.,** Kuruc, K., Méjean, A., Peng, W., Scovronick, N., Spears, D., Wagner, F., Zuber, S. (2021): Climate action with revenue recycling has benefits for poverty, inequality and well-being. – *Nature Climate Change*, 11, 12, 1111-1116. DOI: 10.1038/s41558-021-01217-0

Büntgen, U., Allen, K., Anchukaitis, K. J., Arsenault, D., Boucher, É., Bräuning, A., Chatterjee, S., Cherubini, P., Churakova, O. V., Corona, C., Gennaretti, F., Griesinger, J., Guillet, S., Guiot, J., Gunnarson, B., Helama, S., Hochreuther, P., Hughes, M. K., Huybers, P., Kirilyanov, A. V., Krusic, P. J., **Ludescher, J.,** Meier, W.-J.-H., Myglan, V. S., Nicolussi, K., Oppenheimer, C.,

Reinig, F., Salzer, M. W., Seftigen, K., Stine, A. R., Stoffel, M., St. George, S., Tejedor, E., Trevino, A., Trouet, V., Wang, J., Wilson, R., Yang, B., Xu, G., Esper, J. (2021): The influence of decision-making in tree ring-based climate reconstructions. – *Nature Communications*, 12, 3411. DOI: 10.1038/s41467-021-23627-6

Busch, J., Ring, I., Akullo, M., Amarjargal, O., Borie, M., Cassola, R. S., Cruz-Trinidad, A., Droste, N., Haryanto, J. T., Kasymov, U., Kotenko, N. V., Lhkagvadorj, A., De Paulo, F. L. L., May, P. H., Mukherjee, A., Mumbunan, S., Santos, R., Tacconi, L., Verde Selva, G., Verma, M., **Wang, X.,** Yu, L., Zhou, K. (2021): A global review of ecological fiscal transfers. – *Nature Sustainability*, 4, 9, 756-765. DOI: 10.1038/s41893-021-00728-0

Caesar, L., McCarthy, G. D., Thornalley, D. J. R., Cahill, N., **Rahmstorf, S.** (2021): Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. – *Nature Geoscience*, 14, 3, 118-120. DOI: 10.1038/s41561-021-00699-z

**Caesar, L., Rahmstorf, S., Feulner, G.** (2021): Reply to the Comment on “On the relationship between AMOC slowdown and global surface warming”. – *Environmental Research Letters*, 16, 3, 038002. DOI: 10.1088/1748-9326/abc776

Calvin, K., Cowie, A., Berndes, G., Arneeth, A., Cherubini, F., Portugal Pereira, J., Grassi, G., House, J., Johnson, F. X., **Popp, A.,** Rounsevell, M., Slade, R., Smith, P. (2021): Bioenergy for climate change mitigation: Scale and sustainability. – *Global Change Biology Bioenergy*, 13, 9, 1346-1371. DOI: 10.1111/gcbb.12863

**Cano-Crespo, A.,** Traxl, D., **Thonicke, K.** (2021): Spatio-temporal patterns of extreme fires in Amazonian forests. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3033-3044. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00164-3

Carter, T. R., Benzie, M., Campiglio, E., Carlsen, H., Fronzek, S., Hildén, M., **Reyer, C. P. O.,** West, C. (2021): A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. – *Global Environmental Change*, 69, 102307. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2021.102307

**Censkowsky, P., Otto, I. M.** (2021): Understanding Regime Shifts in Social-Ecological Systems Using Data on Direct Ecosystem Service Use. – *Frontiers in Environmental Science*, 9, 695348. DOI: 10.3389/fenvs.2021.695348

**Chemura, A., Mudereri, B. T., Yalew, A. W., Gornott, C.** (2021): Climate change and specialty coffee potential in Ethiopia. – *Scientific Reports*, 11, 8097. DOI: 10.1038/s41598-021-87647-4

**Chemura, A., Yalew, A. W., Gornott, C.** (2021): Quantifying agroforestry yield buffering potential under climate change in the smallholder maize farming systems of Ethiopia. – *Frontiers in Agronomy*, 3, 609536. DOI: 10.3389/fagro.2021.609536

Chen, K., Breitner, S., Wolf, K., Stafoggia, M., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Guo, Y., Tong, S., Lavigne, E., Matus, P., Valdés, N., Kan, H., Jaakkola, J. J. K., Rytli, N. R. I., **Huber, V.,** Scortichini, M., Hashizume, M., Honda, Y., Nunes, B., Madureira, J., Holobacă, I. H., Fratianni, S., Kim, H., Lee, W., Tobias, A., Íñiguez, C., Forsberg, B., Åström, C., Ragetti, M. S., Guo, Y.-L.-L., Chen, B.-Y., Li, S., Milojevic, A., Zano-betti, A., Schwartz, J., Bell, M. L., Gasparrini, A., Schneider, A. (2021): Ambient carbon monoxide and daily mortality: a global time-series study in 337 cities. – *The Lancet Planetary Health*, 5, 4, e191-e199. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00026-7

Chen, K., Lanlan, Y., Tingting, Z., Ping, L., **Kurths, J.** (2021): Succinct Representation of Dynamic Networks. – *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 33, 7, 2983-2994. DOI: 10.1109/TKDE.2019.2960240

Chen, P., Qi, M., Lu, X., Duan, X., **Kurths, J.** (2021): Efficient network immunization strategy based on generalized Herfindahl–Hirschman index. – *New Journal of Physics*, 23, 063064. DOI: 10.1088/1367-2630/ac05e0

Chetverikov, A. P., Ebeling, W., **Schöll, E.,** Velarde, M. G. (2021): Control of electron and electron–hole pair dynamics on nonlinear lattice bilayers by strong solitons. – *Chaos*, 31, 8, 083123. DOI: 10.1063/5.0057084

Choudhary, J. S., Guru-Pirasanna-Pandi, G., **Chemura, A.,** Basana-Gowda, G., Annamalai, M., Patil, N., Adak, T., Rath, P. C. (2021): Predicting the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) Hemiptera: Delphacidae) potential distribution under climatic change scenarios in India. – *Current Science*, 121, 12, 1600-1609. DOI: 10.18520/cs/v121/i12/1600-1609

Chu, O., **Donges, J. F.,** Robertson, G. B., Pop-Eleches, G. (2021): The microdynamics of spatial polarization: A model and an application to survey data from Ukraine. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 50, e2104194118. DOI: 10.1073/pnas.2104194118

**Cierner, C., Winkelmann, R., Kurths, J., Boers, N.** (2021): Impact of an AMOC weakening on the stability of the southern Amazon rainforest. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3065-3073. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00186-x

# Veröffentlichungen 2021

- Clora, F., Yu, W., Baudry, G., **Costa, L.** (2021): Impacts of supply-side climate change mitigation practices and trade policy regimes under dietary transition: the case of European agriculture. – *Environmental Research Letters*, 16, 12, 124048. DOI: 10.1088/1748-9326/ac39bd
- Costa, L.**, Moreau, V., Thurm, B., Yu, W., Clora, F., Baudry, G., Warmuth, H., Hezel, B., Seydewitz, T., Rankovic, A., Kelly, G., Kropp, J. P. (2021): The decarbonisation of Europe powered by lifestyle changes. – *Environmental Research Letters*, 16, 4, 044057. DOI: 10.1088/1748-9326/abe890
- Crawford, M.**, Barry, K. E., Clark, A. T., Farnior, C. E., Hines, J., Ladouceur, E., Lichstein, J. W., Maréchaux, I., May, F., Mori, A. S., Reineking, B., Turnbull, L. A., Wirth, C., Rüger, N. (2021): The function-dominance correlation drives the direction and strength of biodiversity–ecosystem functioning relationships. – *Ecology Letters*, 24, 9, 1762-1775. DOI: 10.1111/ele.13776
- Crawford, M.**, Schlägel, U. E., May, F., Wurst, S., Grimm, V., Jeltsch, F. (2021): While shoot herbivores reduce, root herbivores increase nutrient enrichment's impact on diversity in a grassland model. – *Ecology*, 102, 5, e03333. DOI: 10.1002/ecy.3333
- Dasgupta, S., van Maanen, N., Gosling, S. N., **Piontek, F.**, **Otto, C.**, Schleussner, C.-F. (2021): Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study. – *The Lancet Planetary Health*, 5, 7, e455-e465. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00170-4
- De Rydt, J., **Reese, R.**, Paolo, F., Gudmundsson, H. (2021): Drivers of Pine Island Glacier speed-up between 1996 and 2016. – *The Cryosphere*, 15, 1, 113-132. DOI: 10.5194/tc-15-113-2021
- DeAngelo, J., Azevedo, I., Bistline, J., Clarke, L., **Luderer, G.**, Byers, E., Davis, S. J. (2021): Energy systems in scenarios at net-zero CO<sub>2</sub> emissions. – *Nature Communications*, 12, 6096. DOI: 10.1038/s41467-021-26356-y
- Deiningger, M., Hansen, M., **Fohlmeister, J.**, Schröder-Ritzrau, A., Burstyn, Y., Scholz, D. (2021): Are oxygen isotope fractionation factors between calcite and water derived from speleothems systematically biased due to prior calcite precipitation (PCP)? – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 305, 212-227. DOI: 10.1016/j.gca.2021.03.026
- Depickère, S., **Kurths, J.**, Ramírez-Ávila, G. M. (2021): Scientometric analysis of the Chaos journal (1991–2019): From descriptive statistics to complex networks viewpoints. – *Chaos*, 31, 4, 043105. DOI: 10.1063/5.0044719
- Desai, B., Bresch, D.N., Cazabat, C., Hochrainer-Stigler, S., Mechler, R., Ponserrre, S., **Schewe, J.** (2021): Addressing the human cost in a changing climate - *Science*, 372, 6548, 1284-1287. DOI: 10.1126/science.abh4283
- Di Capua, G.**, Sparrow, S., Kornhuber, K., **Rousi, E.**, Osprey, S., Wallom, D., van den Hurk, B., **Coumou, D.** (2021): Drivers behind the summer 2010 wave train leading to Russian heatwave and Pakistan flooding. – *npj Climate and Atmospheric Science*, 4, 55. DOI: 10.1038/s41612-021-00211-9
- Didovets, I.**, **Lobanova, A.**, **Krysanova, V.**, **Menz, C.**, Babagalieva, Z., Nurbatsina, A., Gavrilenko, N., Khamidov, V., Umirbekov, A., Qodirov, S., Muhyiyev, D., **Hattermann, F. F.** (2021): Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representative catchments. – *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 34, 100779. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100779
- Diluiso, F., Walk, P., Manych, N., Cerutti, N., Chipiga, V., Workman, A., Ayas, C., Cui, R. Y., Cui, D., Song, K., Banisch, L. A., Moretti, N., Callaghan, M. W., Clarke, L., Creutzig, F., **Hilaire, J.**, Jotzo, F., Kalkuhl, M., Lamb, W. F., Löschel, A., **Müller-Hansen, F.**, Nemet, G. F., Oei, P.-Y., Sovacool, B. K., **Steckel, J. C.**, Thomas, S., Wiseman, J., Minx, J. C. (2021): Coal transitions-part 1: a systematic map and review of case study learnings from regional, national, and local coal phase-out experiences. – *Environmental Research Letters*, 16, 11, 113003. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1b58
- Dong, G., Wang, F., Shekhtman, L. M., Danziger, M. M., **Fan, J.**, Du, R., Liu, J., Tian, L., Stanley, H. E., Havlin, S. (2021): Optimal resilience of modular interacting networks. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 22, e1922831118. DOI: 10.1073/pnas.1922831118
- Donges, J. F.**, **Lochner, J.**, **Kitzmann, N.**, **Heitzig, J.**, Lehmann, S., **Wiedermann, M.**, Volmer, J. (2021): Dose-response functions and surrogate models for exploring social contagion in the Copenhagen Networks Study. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 16-17, 3311-3334. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00279-7
- Donges, J. F.**, **Lucht, W.**, Cornell, S. E., **Heitzig, J.**, **Barfuss, W.**, Lade, S. J., Schlüter, M. (2021): Taxonomies for structuring models for World–Earth systems analysis of the Anthropocene: subsystems, their interactions and social–ecological feedback loops. – *Earth System Dynamics*, 12, 4, 1115-1137. DOI: 10.5194/esd-12-1115-2021
- Drouet, L., Bosetti, V., Padoan, S. A., Aleluia Reis, L., **Bertram, C.**, Dalla Longa, F., Després, J., Emmerling, J., Fosse, F., Fragkiadakis, K., Frank, S., Fricko, O., Fujimori, S., Harmsen, M., Krey, V., Oshiro, K., Nogueira, L. P., Paroussos, L., **Piontek, F.**, Riahi, K., Rochedo, P. R. R., Schaeffer, R., Takakura, J., van der Wijst, K.-I., van der Zwaan, B., van Vuuren, D., Vrontisi, Z., Weitzel, M., Zakeri, B., Tavoni, M. (2021): Net zero-emission pathways reduce the physical and economic risks of climate change. – *Nature Climate Change*, 11, 12, 1070-1076. DOI: 10.1038/s41558-021-01218-z
- Drüke, M.**, **von Bloh, W.**, **Petri, S.**, **Sakschewski, B.**, **Schaphoff, S.**, Forkel, M., **Huiskamp, W. N.**, **Feulner, G.**, **Thonicke, K.** (2021): CM-2Mc-LPJmL v1.0: Biophysical coupling of a process-based dynamic vegetation model with managed land to a general circulation model. – *Geoscientific Model Development*, 14, 6, 4117-4141. DOI: 10.5194/gmd-14-4117-2021
- Drüke, M.**, **von Bloh, W.**, **Sakschewski, B.**, **Wunderling, N.**, **Petri, S.**, Cardoso, M., Barbosa, H. M. J., **Thonicke, K.** (2021): Climate-induced hysteresis of the tropical forest in a fire-enabled Earth system model. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3153-3162. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00157-2
- Drupp, M. A., **Hänsel, M. C.** (2021): Relative prices and climate policy: How the scarcity of nonmarket goods drives policy evaluation. – *American Economic Journal: Economic Policy*, 13, 1, 168-201. DOI: 10.1257/pol.20180760
- Duan, H., Zhou, S., Jiang, K., **Bertram, C.**, Harmsen, M., **Kriegler, E.**, van Vuuren, D. P., Wang, S., Fujimori, S., Tavoni, M., Ming, X., Keramidis, K., Iyer, G., Edmonds, J. (2021): Assessing China's efforts to pursue the 1.5°C warming limit. – *Science*, 372, 6540, 378-385. DOI: 10.1126/science.aba8767
- Duesing, W., Berner, N., Deino, A. L., Foerster, V., **Krämer, K.-H.**, **Marwan, N.**, Trauth, M. H. (2021): Multiband sediment age modeling for a 1293 m (1600 kyr) sediment core from Chew Bahir Basin, Southern Ethiopian Rift. – *Frontiers in Earth Science*, 9, 594047. DOI: 10.3389/feart.2021.594047
- Edelenbosch, O. Y., Rovelli, D., **Levesque, A.**, Marangoni, G., Tavoni, M. (2021): Long term, cross-country effects of buildings insulation policies. – *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120887. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.120887
- Edenhofer, O.**, **Franks, R. M.**, Kalkuhl, M. (2021): Pigou in the 21st Century: a tribute on the occasion of the 100th anniversary of the publication of *The Economics of Welfare*. – *International Tax and Public Finance*, 28, 5, 1090-1121. DOI: 10.1007/s10797-020-09653-y



- Edwards, T. L., Nowicki, S., Marzeion, B., Hock, R., Goelzer, H., Seroussi, H., Smith, C. J., Jourdain, N. C., Slater, D., McKenna, C. M., Simon, E., Abe-Ouchi, A., Gregory, J. M., Larour, E., Lipscomb, W. H., Payne, A. J., Shepherd, A., Turner, F., Agosta, C., Alexander, P., **Albrecht, T.**, Anderson, B., Asay-Davis, X., Aschwanden, A., Barthel, A., Bliss, A., **Calov, R.**, Chambers, C., Champollion, N., Choi, Y., Cullather, R., Cuzzone, J., Dumas, F., Felikson, D., Fettweis, X., Fujita, K., Galton-Fenzi, B. K., Gladstone, R., Golledge, N. R., Greve, R., Hattermann, T., Hoffman, M. J., Humbert, A., Huss, M., Huybrechts, P., Immerzeel, W., Kleiner, T., Kraaijenbrink, P., Le clec'h, S., Lee, V., Leguy, G. R., Little, C. M., Lowry, D. P., Malles, J.-H., Martin, D. F., Maussion, F., Morlighem, M., O'Neill, J. F., Nias, I., Pattyn, F., Pelle, T., Price, S., Quiquet, A., Radić, V., **Reese, R.**, Rounce, D. R., Rückamp, M., Sakai, A., Shafer, C., Schlegel, N.-J., Shannon, S., Smith, R. S., Straneo, F., Sun, S., Tarasov, L., Trusel, L. D., Breedam, J. V., van de Wal, R., van den Broeke, M., **Winkelmann, R.**, Zekollari, H., Zhao, C., Zhang, T., Zwinger, T. (2021): Projected land ice contributions to twenty-first-century sea level rise. – *Nature*, 593, 7857, 74-82. DOI: 10.1038/s41586-021-03302-y
- Ehstand, N., **Donner, R. V.**, López, C., Hernández-García, E. (2021): Characteristic signatures of Northern Hemisphere blocking events in a Lagrangian flow network representation of the atmospheric circulation. – *Chaos*, 31, 093128. DOI: 10.1063/5.0057409
- Eisenack, K., Oberlack, C., **Sietz, D.** (2021): Avenues of archetype analysis: roots, achievements, and next steps in sustainability research [Editorial]. – *Ecology and Society*, 26, 2, 31. DOI: 10.5751/ES-12484-260231
- Ekhtiari, N., Ciemer, C., Kirsch, C., Donner, R. V.** (2021): Coupled network analysis revealing global monthly scale co-variability patterns between sea-surface temperatures and precipitation in dependence on the ENSO state. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3019-3032. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00168-z
- Emmerling, J., **Kornek, U.**, Bosetti, V., **Lessmann, K.** (2021): Climate thresholds and heterogeneous regions: Implications for coalition formation. – *The Review of International Organizations*, 16, 2, 293-316. DOI: 10.1007/s11558-019-09370-0
- Ershad, A. M., Ueckerdt, F., Pietzcker, R. C., Giannousakis, A., Luderer, G.** (2021): A further decline in battery storage costs can pave the way for a solar-dominated Indian power system. – *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 1, 100006. DOI: 10.1016/j.rset.2021.100006
- Falkendal, T.**, Lehnert, M. D., Vernet, J., De Breuck, C., Wang, W. (2021): ALMA and MUSE observations reveal a quiescent multi-phase circumgalactic medium around the z=3.6 radio galaxy 4C 19.71. – *Astronomy and Astrophysics*, 645, A120. DOI: 10.1051/0004-6361/201935237
- Falkendal, T., Otto, C., Schewe, J., Jägermeyr, J.**, Konar, M., Kumm, M., Watkins, B., Puma, M. (2021): Grain export restrictions during COVID-19 risk food insecurity in many low- and middle-income countries [Brief Communication]. – *Nature Food*, 2, 1, 11-14. DOI: 10.1038/s43016-020-00211-7
- Fan, J., Meng, J., Ludescher, J.**, Chen, X., Ashkenazy, Y., **Kurths, J.**, Havlin, S., **Schellnhuber, H. J.** (2021): Statistical physics approaches to the complex Earth system. – *Physics Reports*, 896, 1-84. DOI: 10.1016/j.physrep.2020.09.005
- Farrell, N.** (2021): The increasing cost of ignoring Coase: Inefficient electricity tariffs, welfare loss and welfare-reducing technological change. – *Energy Economics*, 97, 104848. DOI: 10.1016/j.eneco.2020.104848
- Fassoni-Andrade, A. C., Fleischmann, A. S., Papa, F., Paiva, R. C. D. d., Wongchuig, S., Melack, J. M., Moreira, A. A., Paris, A., Ruhoff, A., Barbosa, C., Maciel, D. A., Novo, E., Durand, F., Frappart, F., Aires, F., **Abrahão, G. M.**, Ferreira-Ferreira, J., Espinoza, J. C., Laipelt, L., Costa, M. H., Espinoza-Villar, R., Calmant, S., Pellet, V. (2021): Amazon Hydrology From Space: Scientific Advances and Future Challenges. – *Reviews of Geophysics*, 59, 4, e2020RG000728. DOI: 10.1029/2020RG000728
- Feindt, S., **Kornek, U.**, Labeaga, J. M., Sterner, T., **Ward, H.** (2021): Understanding regressivity: Challenges and opportunities of European carbon pricing. – *Energy Economics*, 103, 105550. DOI: 10.1016/j.eneco.2021.105550
- Fernandez Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V.**, Vega-Jácume, F., **Bronstert, A.** (2021): Towards a more consistent eco-hydrological modelling through multi-objective calibration: a case study in the Andean Vilcanota River basin, Peru. – *Hydrological Sciences Journal*, 66, 1, 59-74. DOI: 10.1080/02626667.2020.1846740
- Fernandez-Arroyabe, P., Kourtidis, K., Haldoupis, C., Savoska, S., Matthews, J., Mir, L. M., Kassomenos, P., Cifra, M., Barbosa, S., Chen, X., Dragovic, S., Consoulas, C., Hunting, E. R., Robert, D., van der Velde, O. A., Apollonio, F., Odzimek, A., Chilingarian, A., Royé, D., Mkrtchyan, H., Price, C., Bór, J., Oikonomou, C., Birsan, M.-V., Crespo-Facorro, B., Djordjevic, M., Salcines, C., López-Jiménez, A., **Donner, R. V.**, Vana, M., Pedersen, J. O. P., Vorenhout, M., Rycroft, M. (2021): Glossary on atmospheric electricity and its effects on biology. – *International Journal of Biometeorology*, 65, 1, 5-29. DOI: 10.1007/s00484-020-02013-9
- Ferreira, L. N.**, Ferreira, N. C. R., Macau, E. E. N., **Donner, R. V.** (2021): The effect of time series distance functions on functional climate networks. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 2973-2998. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00274-y
- Fleurbaey, M., **Kornek, U.** (2021): When redistribution makes personalized pricing of externalities useless. – *Journal of Public Economic Theory*, 23, 2, 363-375. DOI: 10.1111/jpet.12505
- Gädeke, A.**, Langer, M., Boike, J., Burke, E. J., Chang, J., Head, M., **Reyer, C. P. O., Schaphoff, S.**, Thiery, W., **Thonicke, K.** (2021): Climate change reduces winter overland travel across the Pan-Arctic even under low-end global warming scenarios. – *Environmental Research Letters*, 16, 2, 024049. DOI: 10.1088/1748-9326/abdcd2
- Gao, Z.-K., Liu, A.-A., Wang, Y., Small, M., Chang, X., **Kurths, J.** (2021): IEEE Access Special Section Editorial: Big Data Learning and Discovery [Editorial]. – *IEEE Access*, 9, 158064-158073. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3127335
- Gaupp, F.**, Ruggeri Laderchi, C., **Lotze-Campen, H.**, DeClerck, F., **Bodirsky, B. L.**, Lowder, S., **Popp, A.**, Kanbur, R., **Edenhofer, O.**, Nugent, R., Fanzo, J., Dietz, S., Nordhagen, S., Fan, S. (2021): Food system development pathways for healthy, nature-positive and inclusive food systems. – *Nature Food*, 2, 12, 928-934. DOI: 10.1038/s43016-021-00421-7
- Geiger, T., Gütschow, J.**, Bresch, D. N., Emanuel, K., **Frieler, K.** (2021): Double benefit of limiting global warming for tropical cyclone exposure. – *Nature Climate Change*, 11, 10, 861-866. DOI: 10.1038/s41558-021-01157-9
- Gelbrecht, M., Boers, N., Kurths, J.** (2021): Variability of the low-level circulation of the South American Monsoon analysed with complex networks. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3101-3120. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00187-w
- Gelbrecht, M., Boers, N., Kurths, J.** (2021): Neural partial differential equations for chaotic systems. – *New Journal of Physics*, 23, 043005. DOI: 10.1088/1367-2630/abeb90
- Gelbrecht, M.**, Lucarini, V., **Boers, N., Kurths, J.** (2021): Analysis of a bistable climate toy model with physics-based machine learning methods. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 13-15, 3121-3131. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00175-0

# Veröffentlichungen 2021

- Gernaat, D. E., de Boer, H.-S., Daioglou, V., Yalew, S. G., **Müller, C.**, van Vuuren, D. P. (2021): Climate change impacts on renewable energy supply. – *Nature Climate Change*, 11, 2, 119-125. DOI: 10.1038/s41558-020-00949-9
- Gerten, D.**, Kummu, M. (2021): Feeding the world in a narrowing safe operating space [Comment]. – *One Earth*, 4, 9, 1193-1196. DOI: 10.1016/j.oneear.2021.08.020
- Giannousakis, A.**, **Hilaire, J.**, Nemet, G. F., **Luderer, G.**, **Pietzcker, R. C.**, **Dias Bleasby Rodrigues, R.**, **Baumstark, L.**, **Kriegler, E.** (2021): How uncertainty in technology costs and carbon dioxide removal availability affect climate mitigation pathways. – *Energy*, 216, 119253. DOI: 10.1016/j.energy.2020.119253
- Goldschmidt, J. C., Wagner, L., **Pietzcker, R. C.**, Friedrich, L. (2021): Technological learning for resource efficient terawatt scale photovoltaics. – *Energy and Environmental Science*, 14, 10, 5147-5160. DOI: 10.1039/D1EE02497C
- Grant, L., Vanderkelen, I., Gudmundsson, L., Tan, Z., Perroud, M., Stepanenko, V. M., Debolskiy, A. V., Droppers, B., Janssen, A. B. G., Woolway, R. I., Choulga, M., Balsamo, G., Kirillin, G., **Schewe, J.**, **Zhao, F.**, **Vega del Valle, I.**, Golub, M., Pierson, D., Marcé, R., Seneviratne, S. I., Thiery, W. (2021): Attribution of global lake systems change to anthropogenic forcing. – *Nature Geoscience*, 14, 11, 849-854. DOI: 10.1038/s41561-021-00833-x
- Grassi, G., Stehfest, E., Rogelj, J., van Vuuren, D., Cescatti, A., House, J., Nabuurs, G.-J., Rossi, S., Alkama, R., Viñas, R. A., Calvin, K., Ceccherini, G., Federici, S., Fujimori, S., Gusti, M., Hasegawa, T., Havlik, P., **Humpenöder, F.**, Korosuo, A., Perugini, L., Tubiello, F. N., **Popp, A.** (2021): Critical adjustment of land mitigation pathways for assessing countries' climate progress. – *Nature Climate Change*, 11, 5, 425-434. DOI: 10.1038/s41558-021-01033-6
- Gruetzmacher, K., Karesh, W. B., Amuasi, J. H., Arshad, A., Farlow, A., **Gabrysch, S.**, Jetzkowitz, J., Lieberman, S., Palmer, C., Winkler, A. S., Walzer, C. (2021): The Berlin principles on One Health – Bridging global health and conservation. – *Science of the Total Environment*, 764, 142919. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142919
- Gudmundsson, L., Boulange, J., Do, H. X., Gosling, S. N., Grillakis, M. G., Koutroulis, A. G., Leonard, M., Liu, J., Müller Schmied, H., Papadimitriou, L., Pokhrel, Y., Seneviratne, S. I., Satoh, Y., Thiery, W., Westra, S., Zhang, X., **Zhao, F.** (2021): Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change. – *Science*, 371, 6534, 1159-1162. DOI: 10.1126/science.aba3996
- Günther, A.**, **Gütschow, J.**, Jeffrey, M. L. (2021): NDCmitiQ v1.0.0: a tool to quantify and analyse greenhouse gas mitigation targets. – *Geoscientific Model Development*, 14, 9, 5695-5730. DOI: 10.5194/gmd-14-5695-2021
- Gupta, S.**, **Boers, N.**, Pappenberger, F., **Kurths, J.** (2021): Complex network approach for detecting tropical cyclones. – *Climate Dynamics*, 57, 11-12, 3355-3364. DOI: 10.1007/s00382-021-05871-0
- Gütschow, J.**, **Jeffery, M. L.**, **Günther, A.**, Meinshausen, M. (2021): Country-resolved combined emission and socio-economic pathways based on the Representative Concentration Pathway (RCP) and Shared Socio-Economic Pathway (SSP) scenarios. – *Earth System Science Data*, 13, 3, 1005-1040. DOI: 10.5194/essd-13-1005-2021
- Habtemariam, L. T.**, **Gornott, C.**, Hoffmann, H., Sieber, S. (2021): Farm Production Diversity and Household Dietary Diversity: Panel Data Evidence From Rural Households in Tanzania. – *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 612341. DOI: 10.3389/fsufs.2021.612341
- Habtemariam, L. T.**, Will, M., Müller, B. (2021): Agricultural insurance through the lens of rural household dietary diversity. – *Global Food Security*. DOI: 10.1016/j.gfs.2020.100485
- Haiyang, Y., Haiyan, W., Zhichen, Z., Yong, X., **Kurths, J.** (2021): A stochastic nonlinear differential propagation model for underwater acoustic propagation: Theory and solution. – *Chaos, Solitons and Fractals*, 150, 111105. DOI: 10.1016/j.chaos.2021.111105
- Halchenko, Y. O., Meyer, K., Poldrack, B., Solanky, D. S., Wagner, A. S., Gors, J., MacFarlane, D., Pustina, D., Sochat, V., Ghosh, S. S., Mönch, C., Markiewicz, C. J., Waite, L., Shlyakhter, I., de la Vega, A., Hayashi, S., Häusler, C. O., Poline, J.-B., Kadelka, T., Skytén, K., Jarecka, D., Kennedy, D., Strauss, T., Cieslak, M., Vavra, P., Ioanas, H.-I., Schneider, R., **Pflüger, M.**, Haxby, J. V., Eickhoff, S. B., Hanke, M. (2021): DataLad: distributed system for joint management of code, data, and their relationship. – *Journal of Open Source Software*, 6, 63, 3262. DOI: 10.21105/joss.03262
- Hänsel, M. C.**, van den Bergh, J. C. J. M. (2021): Taxing interacting externalities of ocean acidification, global warming, and eutrophication. – *Natural Resource Modeling*, 34, 3, e12317. DOI: 10.1111/nrm.12317
- Harmsen, M., **Kriegler, E.**, van Vuuren, D. P., van der Wijst, K.-I., **Luderer, G.**, Cui, R., Dessens, O., Drouet, L., Emmerling, J., Morris, J. F., Fosse, F., Fragkiadakis, D., Fragkiadakis, K., Fragkos, P., Fricko, O., Fujimori, S., Gernaat, D., Guivarch, C., Iyer, G., Karkatsoulis, P., Keppo, I., Keramidas, K., Köberle, A., Kolp, P., Krey, V., Krüger, C., Leblanc, F., Mittal, S., Paltsev, S.,
- Rochedo, P., van Ruijven, B. J., Sands, R. D., Sano, F., **Strefler, J.**, Arroyo, E. V., Wada, K., Zakeri, B. (2021): Integrated assessment model diagnostics: key indicators and model evolution. – *Environmental Research Letters*, 16, 5, 054046. DOI: 10.1088/1748-9326/abf964
- Harwood, N., Hall, R., **Di Capua, G.**, Russell, A., Tucker, A. (2021): Using Bayesian Networks to Investigate the Influence of Subseasonal Arctic Variability on Midlatitude North Atlantic Circulation. – *Journal of Climate*, 34, 6, 2319-2335. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0369.1
- Hasegawa, T., Fujimori, S., Frank, S., **Humpenöder, F.**, **Bertram, C.**, Després, J., Drouet, L., Emmerling, J., Gusti, M., Harmsen, M., Keramidas, K., Ochi, Y., Oshiro, K., Rochedo, P., van Ruijven, B., Cabardos, A.-M., Deppermann, A., Fosse, F., Havlik, P., Krey, V., **Popp, A.**, Schaeffer, R., van Vuuren, D., Riahi, K. (2021): Land-based implications of early climate actions without global net-negative emissions. – *Nature Sustainability*, 4, 12, 1052-1059. DOI: 10.1038/s41893-021-00772-w
- He, G.**, Liu, J., Hu, H., Fang, J.-A. (2021): Discrete-time signed bounded confidence model for opinion dynamics. – *Neurocomputing*, 425, 53-61. DOI: 10.1016/j.neucom.2019.12.061
- Heinicke, S.**, Ordaz-Németh, I., Junker, J., Bachmann, M. E., Marrocoli, S., Wessling, E. G., Byler, D., Cheyne, S. M., Desmond, J., Dowd, D., Fitzgerald, M., Fourier, M., Goedmakers, A., Hernandez-Aguilar, R. A., Hillers, A., Hockings, K. J., Jones, S., Kaiser, M., Koops, K., Lapuente, J. M., Maisels, F., Riedel, J., Terrade, E., Tweh, C. G., Vergnes, V., Vogt, T., Williamson, E. A., Kühl, H. S. (2021): Open-access platform to synthesize knowledge of ape conservation across sites. – *American Journal of Primatology*, 83, 1, e23213. DOI: 10.1002/ajp.23213
- Helfmann, L.**, **Heitzig, J.**, Koltai, P., **Kurths, J.**, Schütte, C. (2021): Statistical analysis of tipping pathways in agent-based models. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 16-17, 3249-3271. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00191-0
- Heneghan, R. F., Galbraith, E., Blanchard, J. L., Harrison, C., Barrier, N., Bulman, C., Cheung, W., Coll, M., Eddy, T. D., Erasquin-Extramiana, M., Everett, J. D., Fernandes-Salvador, J. A., Gascael, D., Guet, J., Maury, O., Palacios-Abrantes, J., Petrik, C. M., Pontavice, H. d., Richardson, A. J., Steenbeek, J., Tai, T. C., **Volkholz, J.**, Woodworth-Jefcoats, P. A., Tittensor, D. P. (2021): Disentangling diverse responses to climate change among global marine ecosystem models. – *Progress in Oceanography*, 198, 102659. DOI: 10.1016/j.pocean.2021.102659
- Herrero, A. F., **Pflüger, M.**, Puls, J., Scholze, F., Soltwisch, V. (2021): Uncertainties in the reconstruction of nanostructures in EUV scatterometry and grazing incidence small-angle X-ray

- scattering. – *Optics Express*, 29, 22, 35580-35591. DOI: 10.1364/OE.430416
- Herrero, M., Thornton, P. K., Mason-D’Croz, D., Palmer, J., **Bodirsky, B. L., Pradhan, P.**, Barrett, C. B., Benton, T. G., Hall, A., Pikaar, I., Bogard, J. R., Bonnett, G. D., Bryan, B. A., Campbell, B. M., Christensen, S., Clark, M., Fanzo, J., Godde, C. M., Jarvis, A., Loboguerro, A. M., Mathys, A., McIntyre, C. L., Naylor, R. L., Nelson, R., Obersteiner, M., Parodi, A., **Popp, A.**, Ricketts, K., Smith, P., Valin, H., Vermeulen, S. J., Vervoort, J., van Wijk, M., van Zanten, H. H. E., West, P. C., Wood, S. A., **Rockström, J.** (2021): Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals [Personal View]. – *The Lancet Planetary Health*, 5, 1, e50-e62. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30277-1
- Herzfeld, T., Heinke, J., Rolinski, S., Müller, C.** (2021): Soil organic carbon dynamics from agricultural management practices under climate change. – *Earth System Dynamics*, 12, 4, 1037-1055. DOI: 10.5194/esd-12-1037-2021
- Hoffmann, P., Lehmann, J., Fallah, B. H., Hattermann, F. F.** (2021): Atmosphere similarity patterns in boreal summer show an increase of persistent weather conditions connected to hydro-climatic risks. – *Scientific Reports*, 11, 22893. DOI: 10.1038/s41598-021-01808-z
- Hoffmann, P., Spekat, A.** (2021): Identification of possible dynamical drivers for long-term changes in temperature and rainfall patterns over Europe. – *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 1-2, 177-191. DOI: 10.1007/s00704-020-03373-3
- Hoffmann, R., Kittel, B., Larsen, M.** (2021): Information exchange in laboratory markets: competition, transfer costs, and the emergence of reputation. – *Experimental Economics*, 24, 1, 118-142. DOI: 10.1007/s10683-020-09652-0
- Hoffmann, R., Sedova, B., Vinke, K.** (2021): Improving the evidence base: A methodological review of the quantitative climate migration literature. – *Global Environmental Change*, 71, 102367. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2021.102367
- Holstein, T., Wiedermann, M., Kurths, J.** (2021): Optimization of coupling and global collapse in diffusively coupled socio-ecological resource exploitation networks. – *New Journal of Physics*, 23, 033027. DOI: 10.1088/1367-2630/abe0db
- Hough, I., Sarafian, R., Shtein, A., **Zhou, B., Lepeule, J., Kloog, I.** (2021): Gaussian Markov random fields improve ensemble predictions of daily 1 km PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> across France. – *Atmospheric Environment*, 264, 118693. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2021.118693
- Hu, B., Yu, X., Guan, Z.-H., **Kurths, J.**, Chen, G. (2021): Hybrid Neural Adaptive Control for Practical Tracking of Markovian Switching Networks. – *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32, 5, 2157-2168. DOI: 10.1109/TNNLS.2020.3001009
- Huang, C., Wang, W., Lu, J., **Kurths, J.** (2021): Asymptotic Stability of Boolean Networks With Multiple Missing Data. – *IEEE Transactions on Automatic Control*, 66, 12, 6093-6099. DOI: 10.1109/TAC.2021.3060733
- Huang, M., Sun, Z., **Donner, R. V.**, Zhang, J., Guan, S., Zou, Y. (2021): Characterizing dynamical transitions by statistical complexity measures based on ordinal pattern transition networks. – *Chaos*, 31, 3, 033127. DOI: 10.1063/5.0038876
- Hui, N., Biswas, D., Banerjee, T., **Kurths, J.** (2021): Effects of propagation delay in coupled oscillators under direct–indirect coupling: Theory and experiment. – *Chaos*, 31, 7, 073115. DOI: 10.1063/5.0057311
- Huiskamp, W. N.**, McGregor, S. (2021): Quantifying Southern Annular Mode paleo-reconstruction skill in a model framework. – *Climate of the Past*, 17, 5, 1819-1839. DOI: 10.5194/cp-17-1819-2021
- Irrgang, C., **Boers, N.**, Sonnewald, M., Barnes, E. A., Kadow, C., Staneva, J., Saynisch-Wagner, J. (2021): Towards neural Earth system modelling by integrating artificial intelligence in Earth system science. – *Nature Machine Intelligence*, 3, 8, 667-674. DOI: 10.1038/s42256-021-00374-3
- Jaccard, I. S., Pichler, P.-P., Többen, J., Weisz, H.** (2021): The energy and carbon inequality corridor for a 1.5 °C compatible and just Europe. – *Environmental Research Letters*, 16, 6, 064082. DOI: 10.1088/1748-9326/abfb2f
- Jägermeyr, J., Müller, C.**, Ruane, A. C., Elliott, J., Balkovic, J., Castillo, O., Faye, B., Foster, I., Folberth, C., Franke, J. A., Fuchs, K., Guarin, J. R., **Heinke, J.**, Hoogenboom, G., Iizumi, T., Jain, A. K., Kelly, D., Khabarov, N., **Lange, S.**, Lin, T.-S., Liu, W., Mialyk, O., **Minoli, S.**, Moyer, E. J., Okada, M., Phillips, M., Porter, C., Rabin, S. S., Scheer, C., Schneider, J. M., Schyns, J. F., Skalsky, R., Smerald, A., Stella, T., Stephens, H., Webber, H., Zabel, F., Rosenzweig, C. (2021): Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. – *Nature Food*, 2, 11, 873-885. DOI: 10.1038/s43016-021-00400-y
- Jakob, M., **Ward, H.**, Steckel, J. C. (2021): Sharing responsibility for trade-related emissions based on economic benefits. – *Global Environmental Change*, 66, 102207. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102207
- Jans, Y., von Bloh, W., Schaphoff, S., Müller, C.** (2021): Global cotton production under climate change – Implications for yield and water consumption. – *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 4, 2027-2044. DOI: 10.5194/hess-25-2027-2021
- Jiang, L.-L., Gao, J., Chen, Z., Li, W.-J., **Kurths, J.** (2021): Reducing the bystander effect via decreasing group size to solve the collective-risk social dilemma. – *Applied Mathematics and Computation*, 410, 126445. DOI: 10.1016/j.amc.2021.126445
- Kalyan, A. V. S., Kumar Ghose, D., Thalagapu, R., Kumar Guntu, R., Agarwal, A., **Kurths, J.**, Rathinasamy, M. (2021): Multiscale Spatiotemporal Analysis of Extreme Events in the Gomati River Basin, India. – *Atmosphere*, 12, 4, 480. DOI: 10.3390/atmos12040480
- Kam, P. M., Aznar-Siguan, G., **Schewe, J.**, Milano, L., Ginnetti, J., **Willner, S.**, McCaughey, J. W., Bresch, D. N. (2021): Global warming and population change both heighten future risk of human displacement due to river floods. – *Environmental Research Letters*, 16, 4, 044026. DOI: 10.1088/1748-9326/abd26c
- Karavaev, A. S., Ishbulatov, Y. M., Prokhorov, M. D., Ponomarenko, V. I., Kiselev, A. R., Runnova, A. E., Hramkov, A. N., Semyachkina-Glushkovskaya, O. V., **Kurths, J.**, Penzel, T. (2021): Simulating dynamics of circulation in the awake state and different stages of sleep using non-autonomous mathematical model with time delay. – *Frontiers in Physiology*, 11, 612787. DOI: 10.3389/fphys.2020.612787
- Katzenberger, A., Schewe, J.**, Pongratz, J., **Levermann, A.** (2021): Robust increase of Indian monsoon rainfall and its variability under future warming in CMIP6 models. – *Earth System Dynamics*, 12, 2, 367-386. DOI: 10.5194/esd-12-367-2021
- Kemter, M.**, Fischer, M., **Luna, L.**, Schönfeldt, E., Vogel, J., **Banerjee, A.**, Korup, O., **Thonicke, K.** (2021): Cascading hazards in the aftermath of Australia’s 2019/2020 Black Summer wildfires. – *Earth’s Future*, 9, 3, e2020EF001884. DOI: 10.1029/2020EF001884
- Keppo, I., Butnar, R. I., **Bauer, N.**, Caspani, M., Edelenbosch, O., Emmerling, J., Fragkos, P., Guivarch, C., Harmsen, M., Lefèvre, J., Le Gallic, T., **Leimbach, M.**, McDowall, W., Mercure, J.-F., Schaeffer, R., Trutnevyte, E., Wagner, F. (2021): Exploring the possibility space: taking stock of the diverse capabilities and gaps in integrated assessment models. – *Environmental Research Letters*, 16, 5, 053006. DOI: 10.1088/1748-9326/abe5d8

# Veröffentlichungen 2021

- Khalil, T., Asad, S. A., Khubaib, N., Baig, A., Atif, S., Umar, M., **Kropp, J. P., Pradhan, P.**, Baig, S. (2021): Climate Change and Potential distribution of Potato (*Solanum Tuberosum*) Crop Cultivation in Pakistan Using Maxent. – *AIMS Agriculture and Food*, 6, 2, 663-676. DOI: 10.3934/agrfood.2021039
- Khubaib, N., Asad, S. A., Khalil, T., Baig, A., Atif, S., Umar, M., **Kropp, J. P., Pradhan, P.**, Baig, S. (2021): Predicting areas suitable for wheat and maize cultivation under future climate change scenarios in Pakistan. – *Climate Research*, 83, 15-25. DOI: 10.3354/cr01631
- Kittel, T., Ciemer, C.**, Lotfi, N., Peron, T., Rodrigues, F., **Kurths, J., Donner, R. V.** (2021): Evolving climate network perspectives on global surface air temperature effects of ENSO and strong volcanic eruptions. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3075-3100. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00269-9
- Kittel, T., Müller-Hansen, F.**, Koch, R., **Heitzig, J.**, Deffuant, G., Mathias, J.-D., **Kurths, J.** (2021): From lakes and glades to viability algorithms: automatic classification of system states according to the topology of sustainable management. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3133-3152. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00262-2
- Klose, A. K., Wunderling, N., Winkelmann, R., Donges, J. F.** (2021): What do we mean, 'tipping cascade'? – *Environmental Research Letters*, 16, 12, 125011. DOI: 10.1088/1748-9326/ac3955
- Kluge, L., Schewe, J.** (2021): Evaluation and extension of the radiation model for internal migration. – *Physical Review E*, 104, 5, 054311. DOI: 10.1103/PhysRevE.104.054311
- Kluge, L., Socolar, J. E. S., Schöll, E.** (2021): Random logic networks: From classical Boolean to quantum dynamics. – *Physical Review E*, 104, 6, 064308. DOI: 10.1103/PhysRevE.104.064308
- Kohler, J., Wunderling, N., Donges, J. F., Vollmer, J.** (2021): Complex networks of interacting stochastic tipping elements: Cooperativity of phase separation in the large-system limit. – *Physical Review E*, 104, 4, 044301. DOI: 10.1103/PhysRevE.104.044301
- Kornek, U., Klenert, D., **Edenhofer, O.**, Fleurbaey, M. (2021): The social cost of carbon and inequality: When local redistribution shapes global carbon prices. – *Journal of Environmental Economics and Management*, 107, 102450. DOI: 10.1016/j.jeem.2021.102450
- Kosch, M.**, Betz, R., Geissmann, T., Schillinger, M., Weigt, H. (2021): The future of Swiss hydropower: how to distribute the risk and the profits? – *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 157, 5. DOI: 10.1186/s41937-021-00074-0
- Kotz, M., Wenz, L., Levermann, A.** (2021): Footprint of greenhouse forcing in daily temperature variability. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 32, e2103294118. DOI: 10.1073/pnas.2103294118
- Kotz, M., Wenz, L., Stechemesser, A.**, Kalkuhl, M., **Levermann, A.** (2021): Day-to-day temperature variability reduces economic growth. – *Nature Climate Change*, 11, 4, 319-325. DOI: 10.1038/s41558-020-00985-5
- Kraehnert, K.**, Osberghaus, D., Hott, C., **Habtemariam, L. T.**, Wätzold, F., Hecker, L. P., **Fluhrer, S.** (2021): Insurance against extreme weather events: An overview. – *Review of Economics*, 72, 2, 71-95. DOI: 10.1515/roe-2021-0024
- Krämer, K.-H.**, Datsis, G., **Kurths, J.**, Kiss, I. Z., Ocampo-Espindola, J. L., **Marwan, N.** (2021): A unified and automated approach to attractor reconstruction. – *New Journal of Physics*, 23, 3, 033017. DOI: 10.1088/1367-2630/abe336
- Kraus, S., **Koch, N.** (2021): Provisional COVID-19 infrastructure induces large, rapid increases in cycling. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 15, e2024399118. DOI: 10.1073/pnas.2024399118
- Kraus, S., Liu, J., **Koch, N.**, Fuss, S. (2021): No aggregate deforestation reductions from rollout of community land titles in Indonesia yet. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 43, e2100741118. DOI: 10.1073/pnas.2100741118
- Kreiss, J., Ehrhart, K.-M., Haufe, M.-C., **Soysal, R. E.** (2021): Different Cost Perspectives for Renewable Energy Support: Assessment of Technology-neutral and Discriminatory Auctions. – *Economics of Energy & Environmental Policy*, 10, 1, 193-210. DOI: 10.5547/2160-5890.10.1.jkre
- Kreuzer, M., Reese, R., Huiskamp, W. N., Petri, S., Albrecht, T., Feulner, G., Winkelmann, R.** (2021): Coupling framework (1.0) for the PISM (1.1.4) ice sheet model and the MOM5 (5.1.0) ocean model via the PICO ice shelf cavity model in an Antarctic domain. – *Geoscientific Model Development*, 14, 6, 3697-3714. DOI: 10.5194/gmd-14-3697-2021
- Krichene, H., Geiger, T., Frieler, K., Willner, S., Sauer, I., Otto, C.** (2021): Long-term impacts of tropical cyclones and fluvial floods on economic growth – Empirical evidence on transmission channels at different levels of development. – *World Development*, 144, 105475. DOI: 10.1016/j.worlddev.2021.105475
- Krishnan, A., Sujith, R. I., **Marwan, N., Kurths, J.** (2021): Suppression of thermoacoustic instability by targeting the hubs of the turbulent networks in a bluff body stabilized combustor. – *Journal of Fluid Mechanics*, 916, A20. DOI: 10.1017/jfm.2021.166
- Krummenauer, L., Costa, L., Prah, B. F., Kropp, J. P.** (2021): Future heat adaptation and exposure among urban populations and why a prospering economy alone won't save us. – *Scientific Reports*, 11, 20309. DOI: 10.1038/s41598-021-99757-0
- Kuhla, K., Willner, S., Otto, C., Geiger, T., Levermann, A.** (2021): Ripple resonance amplifies economic welfare loss from weather extremes. – *Environmental Research Letters*, 16, 11, 114010. DOI: doi.org/10.1088/1748-9326/ac2932
- Kuhla, K., Willner, S., Otto, C., Wenz, L., Levermann, A.** (2021): Future heat stress to reduce people's purchasing power. – *PLoS ONE*, 16, 6, e0251210. DOI: 10.1371/journal.pone.0251210
- Kundzewicz, Z. W.**, Licznar, P. (2021): Climate change adjustments in engineering design standards: European perspective. – *Water Policy*, 23, S1, 85-105. DOI: 10.2166/wp.2021.330
- Kyei, N. N., **Waid, J. L.**, Ali, N., **Gabrysch, S.** (2021): Awareness, Experience, and Knowledge of Farming Households in Rural Bangladesh Regarding Mold Contamination of Food Crops: A Cross-Sectional Study. – *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 19, 10335. DOI: 10.3390/ijerph181910335
- Lacerda, J. C., Freitas, C., Macau, E. E. N., **Kurths, J.** (2021): How heterogeneity in connections and cycles matter for synchronization of complex networks. – *Chaos*, 31, 11, 113134. DOI: 10.1063/5.0068136
- Lainscsek, C., Cash, S. S., Sejnowski, T. J., **Kurths, J.** (2021): Dynamical ergodicity DDA reveals causal structure in time series. – *Chaos*, 31, 10, 103108. DOI: 10.1063/5.0063724
- Landwehrs, J. P., Feulner, G., Petri, S., Sames, B., Wagreich, M.** (2021): Investigating Mesozoic Climate Trends and Sensitivities With a Large Ensemble of Climate Model Simulations. – *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 36, 6, e2020PA004134. DOI: 10.1029/2020PA004134

- Lange, S.,** Timm, C. (2021): Random-matrix theory for the Lindblad master equation. – *Chaos*, 31, 2, 023101. DOI: 10.1063/5.0033486
- Layritz, L. S.,** Dolganova, I., Finkbeiner, M., **Luderer, G.,** Penteadó, A. T., **Ueckerdt, F.,** Repke, J.-U. (2021): The potential of direct steam cracker electrification and carbon capture & utilization via oxidative coupling of methane as decarbonization strategies for ethylene production. – *Applied Energy*, 296, 117049. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.117049
- Leip, A., **Bodirsky, B. L.,** Kugelberg, S. (2021): The role of nitrogen in achieving sustainable food systems for healthy diets. – *Global Food Security*, 28, 100408. DOI: 10.1016/j.gfs.2020.100408
- Levesque, A., Pietzcker, R. C., Baumstark, L., Luderer, G.** (2021): Deep decarbonisation of buildings energy services through demand and supply transformations in a 1.5°C scenario. – *Environmental Research Letters*, 16, 5, 054071. DOI: 10.1088/1748-9326/abdf07
- Li, Y., Rybski, D., Kropp, J. P.** (2021): Singularity cities. – *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48, 1, 43-59. DOI: 10.1177/2399808319843534
- Li, Y., Zhou, B., Glockmann, M., Kropp, J. P., Rybski, D.** (2021): Context sensitivity of surface urban heat island at the local and regional scales. – *Sustainable Cities and Society*, 74, 103146. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103146
- Lindner, M., Lincoln, L., Drauschke, F., Kowlen, J. M., Würfel, H., Plietzsch, A., Hellmann, F.** (2021): NetworkDynamics.jl—Composing and simulating complex networks in Julia. – *Chaos*, 31, 6, 063133. DOI: 10.1063/5.0051387
- Liu, Q., Xu, Y., Li, Y., **Kurths, J.,** Liu, X. (2021): Fixed-interval smoothing of an aeroelastic airfoil model with cubic or free-play nonlinearity in incompressible flow. – *Acta Mechanica Sinica*, 37, 7, 1168-1182. DOI: 10.1007/s10409-021-01091-1
- Liu, W., Ye, T., **Jägermeyr, J., Müller, C.,** Chen, S., Liu, X., Shi, P. (2021): Future climate change significantly alters interannual wheat yield variability over half of harvested areas. – *Environmental Research Letters*, 16, 9, 094045. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1fbb
- Liu, Y., Liu, S., Lu, B., **Kurths, J.** (2021): Mixed-mode oscillations for slow-fast perturbed systems. – *Physica Scripta*, 96, 12, 125258. DOI: 10.1088/1402-4896/ac3957
- Lobanova, A., Didovets, I., Menz, C.,** Umirebekov, A., Babagalieva, Z., **Hattermann, F. F., Krysanova, V.** (2021): Rapid assessment of climate risks for irrigated agriculture in two river basins in the Aral Sea Basin. – *Agricultural Water Management*, 243, 106381. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106381
- Lu, J., Ho, D. W. C., Huang, T., **Kurths, J.,** Trajkovic, L. (2021): IEEE Access Special Section Editorial: Recent Advances on Hybrid Complex Networks: Analysis and Control [Editorial]. – *IEEE Access*, 9, 95083-95086. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3087971
- Lu, Z., Yuan, N., Yang, Q., Ma, Z., **Kurths, J.** (2021): Early Warning of the Pacific Decadal Oscillation Phase Transition Using Complex Network Analysis. – *Geophysical Research Letters*, 48, 7, e2020GL091674. DOI: 10.1029/2020GL091674
- Ludescher, J., Martin, M. A., Boers, N., Bunde, A., Ciemer, C., Fan, J.,** Havlin, S., Kretschmer, M., **Kurths, J.,** Runge, J., Stolbova, V., **Surovyatkina, E., Schellnhuber, H. J.** (2021): Network-based Forecasting of Climate Phenomena. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 47, e1922872118. DOI: 10.1073/pnas.1922872118
- Lüttringhaus, A. S.,** Pradel, W., Victor, S., Manrique-Carpintero, N. C., Anglin, N. L., Ellis, D., Hareau, G., Jamora, N., Smale, M., Gómez, R. (2021): Dynamic guardianship of potato landraces by the genebank and Andean communities. – *CABI Agriculture and Bioscience*, 2, 45. DOI: 10.1186/s43170-021-00065-4
- Lüttringhaus, A. S.,** Zetsche, H., Wittkop, B., Stahl, A., Ordon, F., Mußhoff, O. (2021): Resistance Breeding Increases Winter Wheat Gross Margins—An Economic Assessment for Germany. – *Frontiers in Agronomy*, 3, 730894. DOI: 10.3389/fagro.2021.730894
- Lutz, P., **Stünzi, A.,** Manser-Egli, S. (2021): Responsibility-Sharing in Refugee Protection: Lessons from Climate Governance. – *International Studies Quarterly*, 65, 2, 476-487. DOI: 10.1093/isq/sqab016
- Ma, J., Xu, Y., Li, Y., Tian, R., Ma, S., **Kurths, J.** (2021): Quantifying the parameter dependent basin of the unsafe regime of asymmetric Lévy-noise-induced critical transitions. – *Applied Mathematics and Mechanics*, 42, 1, 65-84. DOI: 10.1007/s10483-021-2672-8
- Ma, J., Xu, Y., Liu, D., Tian, R., Ma, S., Feudel, U., **Kurths, J.** (2021): Suppression of noise-induced critical transitions: a linear augmentation method. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 16-17, 3281-3290. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00112-1
- Ma, R., Qiu, Q., **Kurths, J.,** Zhan, M. (2021): Fast-Slow-Scale Interaction Induced Parallel Resonance and its Suppression in Voltage Source Converters. – *IEEE Access*, 9, 90126-90141. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3091510
- Mahanani, M. R., Abderbwh, E., **Wendt, A.,** Deckert, A., Antia, K., Horstick, O., Dambach, P., Kohler, S., Winkler, V. (2021): Long-Term Outcomes of in Utero Ramadan Exposure: A Systematic Literature Review. – *Nutrients*, 13, 12, 4511. DOI: 10.3390/nu13124511
- Malerba, D., Gaentzsch, A., **Ward, H.** (2021): Mitigating poverty: The patterns of multiple carbon tax and recycling regimes for Peru. – *Energy Policy*, 149, 111961. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111961
- Malik, A., Bertram, C., Krieger, E., Luderer, G.** (2021): Climate policy accelerates structural changes in energy employment. – *Energy Policy*, 159, 112642. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112642
- Mao, S., Dong, Z., **Schultz, P.,** Tang, Y., Meng, K., Dong, Z. Y., Qian, F. (2021): A Finite-Time Distributed Optimization Algorithm for Economic Dispatch in Smart Grids. – *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51, 4, 2068-2079. DOI: 10.1109/TSMC.2019.2931846
- Marcolino, M. A.,** Costa, D. (2021): Structural Transformation and Labor Productivity in Brazil. – *Revista Brasileira de Economia*, 75, 4, 464-495. DOI: 10.5935/0034-7140.20210020
- Marechaux, I., Langerwisch, F., Huth, A., Bugmann, H., Morin, X., **Reyer, C. P. O.,** Seidl, R., Collalti, A., Dantas de Paula, M., Fischer, R., **Gutsch, M.,** Lexer, M. J., Lischke, H., Rammig, A., Rödig, E., **Sakschewski, B.,** Taubert, F., **Thonicke, K.,** Vacchiano, G., Bohn, F. (2021): Tackling unresolved questions in forest ecology: the past and future role of simulation models. – *Ecology and Evolution*, 11, 9, 3746-3770. DOI: 10.1002/ece3.7391
- Martin, M. A.,** Alcaraz Sendra, O., Bastos, A., **Bauer, N., Bertram, C.,** Blenckner, T., Bowen, K., Brando, P. M., Brodie Rudolph, T., Büchs, M., Bustamante, M., Chen, D., Cleugh, H., Dasgupta, P., Denton, F., **Donges, J. F.,** Donkor, F. K., Duan, H., Duarte, C. M., Ebi, K. L., Edwards, C. M., Engel, A., Fisher, E., Fuss, S., **Gärtner, J.,** Gettelman, A., Girardin, C. A., Gollledge, N. R., Green, J. F., Grose, M. R., Hashizume, M., Hebden, S., Hepach, H., Hirota, M., Hsu, H.-H., Kojima, S., Lele, S., Lorek, S., Lotze, H. K., Matthews, H. D., McCauley, D., Mebratu, D., Mengis, N., Nolan, R. H., Pihl, E., **Rahmstorf, S.,** Redman, A., Reid, C. E., **Rockström, J.,** Rogelj, J., Saunio, M., Sayer, L., Schlosser, P., Sioen, G. B., Spangenberg, J. H., Stammer, D., Sterner, T. N., Stevens, N., **Thonicke, K.,** Tian, H., **Winkelmann, R.,** Woodcock, J. (2021): Ten new insights in climate science 2021: a horizon scan. – *Global Sustainability*, 4, e25. DOI: 10.1017/sus.2021.25

# Veröffentlichungen 2021

- Martin, S. F., **Bergmann, J.** (2021): (Im) mobility in the age of COVID-19. – *International Migration Review*, 55, 3, 660-687. DOI: 10.1177/0197918320984104
- Martin, S. F., **Bergmann, J.**, Rigaud, K. K., Yameogo, N. D. (2021): Climate change, human mobility, and development. – *Migration Studies*, 9, 1, 142-149. DOI: 10.1093/migration/mnaa030
- Marwan, N., Donges, J. F., Donner, R. V., Erolgu, D.** (2021): Nonlinear time series analysis of palaeoclimate proxy records. – *Quaternary Science Reviews*, 274, 107245. DOI: 10.1016/j.quascirev.2021.107245
- Maskell, G. M., Chemura, A.**, Nguyen, H., **Gornott, C.**, Mondal, P. (2021): Integration of Sentinel optical and radar data for mapping smallholder coffee production systems in Vietnam. – *Remote Sensing of Environment*, 266, 112709. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112709
- Mei, R., **Xu, Y.**, Li, Y., **Kurths, J.** (2021): Characterizing stochastic resonance in a triple cavity. – *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379, 2198, 20200230. DOI: 10.1098/rsta.2020.0230
- Meltzer, L., Dame, J., **Gabrysch, S.** (2021): Flood affectedness and household adaptation measures in rural northern Chile: A cross-sectional study in the Upper Huasco Valley. – *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 64, 102499. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2021.102499
- Meng, X., Liu, C., Chen, R., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Milojevic, A., Guo, Y., Tong, S., Coelho, M. d. S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Correa, P. M., Ortega, N. V., Osorio Garcia, S., Kyselý, J., Urban, A., Orru, H., Maasikmets, M., Jaakkola, J. J. K., Rytí, N., **Huber, V.**, Schneider, A., Katsouyanni, K., Analitis, A., Hashizume, M., Honda, Y., Ng, C. F. S., Nunes, B., Teixeira, J. P., Holobaca, I. H., Fratanni, S., Kim, H., Tobias, A., Ñíguez, C., Forsberg, B., Åström, C., Ragettli, M. S., Guo, Y.-L.-L., Pan, S.-C., Li, S., Bell, M. L., Zanobetti, A., Schwartz, J., Wu, T., Gasparrini, A., Kan, H. (2021): Short term associations of ambient nitrogen dioxide with daily total, cardiovascular, and respiratory mortality: multilocation analysis in 398 cities. – *BMJ: British Medical Journal*, 372, n534. DOI: 10.1136/bmj.n534
- Mengel, M., Treu, S., Lange, S., Frieler, K.** (2021): ATTRICI v1.1 – counterfactual climate for impact attribution. – *Geoscientific Model Development*, 14, 8, 5269-5284. DOI: 10.5194/gmd-14-5269-2021
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C. J. H., Bates, P., Bertola, M., **Kemter, M.**, Kreibich, H., Lall, U., Macdonald, E. (2021): Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. – *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 9, 592-609. DOI: 10.1038/s43017-021-00195-3
- Mester, B., Willner, S., Frieler, K., Schewe, J.** (2021): Evaluation of river flood extent simulated with multiple global hydrological models and climate forcings. – *Environmental Research Letters*, 16, 9, 094010. DOI: 10.1088/1748-9326/ac188d
- Middelanis, R., Willner, S., Otto, C., Kuhla, K., Quante, L., Levermann, A.** (2021): Wave-like global economic ripple response to Hurricane Sandy. – *Environmental Research Letters*, 16, 12, 124049. DOI: 10.1088/1748-9326/ac39c0
- Miron, P., Beron-Vera, F. J., **Helfmann, L.**, Koltai, P. (2021): Transition paths of marine debris and the stability of the garbage patches. – *Chaos*, 31, 3, 033101. DOI: 10.1063/5.0030535
- Mishra, A., Humpenöder, F., Dietrich, J. P., Bodirsky, B. L., Sohngen, B., Reyer, C. P. O., Lotze-Campen, H., Popp, A.** (2021): Estimating global land system impacts of timber plantations using MAGPIE 4.3.5. – *Geoscientific Model Development*, 14, 10, 6467-6494. DOI: 10.5194/gmd-14-6467-2021
- Mitsui, T., Boers, N.** (2021): Seasonal prediction of Indian summer monsoon onset with echo state networks. – *Environmental Research Letters*, 16, 7, 074024. DOI: 10.1088/1748-9326/ac0acb
- Mouratiadou, I., Latka, C., van der Hilst, F., **Müller, C.**, Berges, R., **Bodirsky, B. L.**, Ewert, F., Faye, B., Heckeilei, T., Hoffmann, M., Lehtonen, H., Lorite, I. J., Nendel, C., Palosuo, T., Rodríguez, A., Rötter, R. P., Ruiz-Ramos, M., Stella, T., Webber, H., Wicke, B. (2021): Quantifying sustainable intensification of agriculture: the contribution of metrics and modelling. – *Ecological Indicators*, 129, 107870. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107870
- Mudereri, B. T., Chitata, T., **Chemura, A.**, Makaure, J., Mukanga, C., Abdel-Rahman, E. M. (2021): Is the protected area coverage still relevant in protecting the Southern Ground-hornbill (*Bucorvus leadbeateri*) biological niche in Zimbabwe? Perspectives from ecological predictions. – *GIScience & Remote Sensing*, 58, 3, 405-424. DOI: 10.1080/15481603.2021.1883947
- Muench, S., Bavorova, M., **Pradhan, P.** (2021): Climate change adaptation by smallholder tea farmers: a case study of Nepal. – *Environmental Science and Policy*, 116, 136-146. DOI: 10.1016/j.envsci.2020.10.012
- Müller, C.**, Franke, J., **Jägermeyr, J.**, Ruane, A. C., Elliott, J., Moyer, E., **Heinke, J.**, Falloon, P., Folberth, C., Francois, L., Hank, T., Izaurrealde, R. C., Jacquemin, I., Liu, W., Olin, S., Pugh, T., Williams, K. E., Zabel, F. (2021): Exploring uncertainties in global crop yield projections in a large ensemble of crop models and CMIP5 and CMIP6 climate scenarios. – *Environmental Research Letters*, 16, 3, 034040. DOI: 10.1088/1748-9326/abd8fc
- Müller, P. M., Heitzig, J., Kurths, J., Lüdge, K., Wiedermann, M.** (2021): Anticipation-induced social tipping: can the environment be stabilised by social dynamics? – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 16-17, 3189-3199. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00011-5
- Müller-Hansen, F.**, Callaghan, M. W., Lee, Y. T., Leipprand, A., Flachslund, C., Minx, J. C. (2021): Who cares about coal? Analyzing 70 years of German parliamentary debates on coal with dynamic topic modeling. – *Energy Research and Social Science*, 72, 101869. DOI: 10.1016/j.erss.2020.101869
- Musundire, R., Ngonyama, D., **Chemura, A.**, Ngadze, R. T., Jackson, J., Matanda, M. J., Tarakini, T., Langton, M., Chiwona-Karltun, L. (2021): Stewardship of wild and farmed edible insects as food and feed in Sub-Saharan Africa: A perspective. – *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 601386. DOI: 10.3389/fvets.2021.601386
- Nathwani, J., Lind, N., Renn, O., **Schellnhuber, H. J.** (2021): Balancing Health, Economy and Climate Risk in a Multi-Crisis. – *Energies*, 14, 14, 4067. DOI: 10.3390/en14144067
- Nicholls, Z., **Meinshausen, M.**, Lewis, J., Corradi, M. R., Dorheim, K., Gasser, T., Gieseke, R., Hope, A. P., Leach, N. J., McBride, L. A., Quilcaille, Y., Rogelj, J., Salawitch, R. J., Samset, B. H., Sandstad, M., Shiklomanov, A., Skeie, R. B., Smith, C. J., Smith, S. J., Su, X., Tsutsui, J., Vega Westhoff, B., Woodard, D. L. (2021): Reduced Complexity Model Intercomparison Project Phase 2: Synthesizing Earth System Knowledge for Probabilistic Climate Projections. – *Earth's Future*, 9, 6, e2020EF001900. DOI: 10.1029/2020EF001900
- Nicholls, Z., Lewis, J., Makin, M., Nattala, U., Zhang, G. Z., Mutch, S. J., Tesfari, E., **Meinshausen, M.** (2021): Regionally aggregated, stitched and de-drifted CMIP-climate data, processed with netCDF-SCM v2.0.0. – *Geoscience Data Journal*, 8, 2, 154-198. DOI: 10.1002/gdj3.113
- Nicholson, E., Watermeyer, K. E., Rowland, J. A., Sato, C. F., Stevenson, S. L., Andrade, A., Brooks, T. M., Burgess, N. D., Cheng, S.-T., Grantham, H. S., Hill, S. L., Keith, D. A., Maron, M., **Metzke, D.**, Murray, N. J., Nelson, C. R., Obura, D., Plumpton, A., Skowno, A. L., Watson, J. E. M. (2021): Scientific foundations for an ecosystem goal, milestones and indicators for the post-2020 global biodiversity framework. – *Nature Ecology & Evolution*, 5, 10, 1338-1349. DOI: 10.1038/s41559-021-01538-5

- Nilsen, T., **Talento, S.**, Werner, J. P. (2021): Constraining two climate field reconstruction methodologies over the North Atlantic realm using pseudo-proxy experiments. – *Quaternary Science Reviews*, 265, 107009. DOI: 10.1016/j.quascirev.2021.107009
- Okullo, S. J.**, Reynès, F., Hofkes, M. W. (2021): (Bio-)Fuel mandating and the green paradox. – *Energy Economics*, 95, 105014. DOI: 10.1016/j.eneco.2020.105014
- Olmi, S., Totz, C. H., **Schöll, E.** (2021): Dynamic control of intermittent renewable energy fluctuations in two-layer power grids. – *Cybernetics and Physics*, 10, 3, 143-154.
- Ordaz-Németh, I., Sop, T., Amarasekaran, B., Bachmann, M., Boesch, C., Brncic, T., Caillaud, D., Campbell, G., Carvalho, J., Chancellor, R., Davenport, T. R. B., Dowd, D., Eno-Nku, M., Ganas-Swaray, J., Granier, N., Greengrass, E., **Heinicke, S.**, Herbinger, I., Inkamba-Nkulu, C., Iyenguet, F., Junker, J., Bobo, K. S., Lushimba, A., Maisels, F., Malanda, G. A. F., McCarthy, M. S., Motsaba, P., Moustgaard, J., Murai, M., Ndokoue, B., Nixon, S., Nseme, R. A., Nzoo, Z., Pintea, L., Plumptre, A. J., Roy, J., Rundus, A., Sanderson, J., Serckx, A., Strindberg, S., Tweh, C., Vanleeuwe, H., Vosper, A., Waltert, M., Williamson, E. A., Wilson, M., Mundry, R., Kühl, H. S. (2021): Range-wide indicators of African great ape density distribution. – *American Journal of Primatology*, 83, 12, e23338. DOI: 10.1002/ajp.23338
- Ordóñez, J. A., Jakob, M., **Steckel, J. C.**, Fünfgeld, A. (2021): Coal, power and coal-powered politics in Indonesia. – *Environmental Science and Policy*, 123, 44-57. DOI: 10.1016/j.envsci.2021.05.007
- Osorio, S., Tietjen, O., Pahle, M., Pietzcker, R. C., Edenhofer, O.** (2021): Reviewing the Market Stability Reserve in light of more ambitious EU ETS emission targets. – *Energy Policy*, 158, 112530. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112530
- Pahle, M.**, Schaeffer, R., Pachauri, S., Eom, J., Awasthy, A., Chen, W., Di Maria, C., Jiang, K., He, C., Portugal-Pereira, J., Safonov, G., Verdolini, E. (2021): The crucial role of complementarity, transparency and adaptability for designing energy policies for sustainable development. – *Energy Policy*, 159, 112662. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112662
- Pavithran, I., Unni, V. R., Saha, A., Varghese, A. J., Sujith, R. I., **Marwan, N., Kurths, J.** (2021): Predicting the Amplitude of Thermoacoustic Instability Using Universal Scaling Behavior. – *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 143, 12, 121005. DOI: 10.1115/1.4052059
- Pavlov, A. N., Khorovodov, A. P., Mamedova, A. T., Koronovskii, A. A., Pavlova, O. N., Semyachkina-Glushkovskaya, O. V., **Kurths, J.** (2021): Changes in blood-brain barrier permeability characterized from electroencephalograms with a combined wavelet and fluctuation analysis. – *European Physical Journal Plus*, 136, 5, 577. DOI: 10.1140/epjp/s13360-021-01593-8
- Pavlov, A. N., Pavlova, O. N., Semyachkina-Glushkovskaya, O. V., **Kurths, J.** (2021): Extended detrended fluctuation analysis: effects of nonstationarity and application to sleep data. – *European Physical Journal Plus*, 136, 1, 10. DOI: 10.1140/epjp/s13360-020-00980-x
- Pavlov, A. N., Pavlova, O. N., Semyachkina-Glushkovskaya, O. V., **Kurths, J.** (2021): Enhanced multiresolution wavelet analysis of complex dynamics in nonlinear systems. – *Chaos*, 31, 4, 043110. DOI: 10.1063/5.0045859
- Payne, A. J., Nowicki, S., Abe-Ouchi, A., Agosta, C., Alexander, P., **Albrecht, T.**, Asay-Davis, X., Aschwanden, A., Barthel, A., Bracegirdle, T. J., **Calov, R.**, Chambers, C., Choi, Y., Cullather, R., Cuzzone, J., Dumas, C., Edwards, T. L., Feliksion, D., Fettweis, X., Galton-Fenzi, B. K., Goelzer, H., Gladstone, R., Gollledge, N. R., Gregory, J. M., Greve, R., Hattermann, T., Hoffman, M. J., Humbert, A., Huybrechts, P., Jourdain, N. C., Kleiner, T., Munneke, P. K., Larour, E., Le clec'h, S., Lee, V., Leguy, G., Lipscomb, W. H., Little, C. M., Lowry, D. P., Morlighem, M., Nias, I., Pattyn, F., Pelle, T., Price, S. F., Quiquet, A., **Reese, R.**, Rückamp, M., Schlegel, N., Seroussi, H., Shepherd, A., Simon, E., Slater, D., Smith, R. S., Straneo, F., Sun, S., Tarasov, L., Trusel, L. D., Van Breedam, J., Wal, R. v. d., Broeke, M. v. d., **Winkelmann, R.**, Zhao, C., Zhang, T., Zwinger, T. (2021): Future Sea Level Change Under Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 and Phase 6 Scenarios From the Greenland and Antarctic Ice Sheets. – *Geophysical Research Letters*, 48, 16, e2020GL091741. DOI: 10.1029/2020GL091741
- Pfleiderer, P.**, Jézéquel, A., Legrand, J., Legrix, N., Markantonis, I., Vignotto, E., Yiou, P. (2021): Simulating compound weather extremes responsible for critical crop failure with stochastic weather generators. – *Earth System Dynamics*, 12, 1, 103-120. DOI: 10.5194/esd-12-103-2021
- Pietzcker, R. C., Osorio, S., Dias Bleasby Rodrigues, R.** (2021): Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector. – *Applied Energy*, 293, 116914. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116914
- Piontek, F.**, Drouet, L., Emmerling, J., Kompas, T., Méjean, A., **Otto, C.**, Rising, J., **Sörgel, B.**, Taconet, N., Tavoni, M. (2021): Integrated perspective on translating biophysical to economic impacts of climate change. – *Nature Climate Change*, 11, 7, 563-572. DOI: 10.1038/s41558-021-01065-y
- Pokhrel, Y., Felfelani, F., Satoh, Y., Boulange, J., Burek, P., **Gädeke, A., Gerten, D.**, Gosling, S. N., Grillakis, M., Gudmundsson, L., Hanasaki, N., Kim, H., Koutroulis, A., Liu, J., Papadimitriou, L., **Schewe, J.**, Müller Schmied, H., Stacke, T., Telteu, C.-E., Thiery, W., Veldkamp, T., Zhao, F., Wada, Y. (2021): Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. – *Nature Climate Change*, 11, 3, 226-233. DOI: 10.1038/s41558-020-00972-w
- Porkka, M.**, Wang-Erlandsson, L., Destouni, G., Ekman, A. M. L., **Rockström, J.**, Gordon, L. J. (2021): Is wetter better? Exploring agriculturally-relevant rainfall characteristics over four decades in the Sahel. – *Environmental Research Letters*, 16, 3, 035002. DOI: 10.1088/1748-9326/abdd57
- Pradhan, P.**, Subedi, D. R., Khatiwada, D., Joshi, K. K., Kafle, S., Chhetri, R. P., Dhakal, S., Gautam, A. P., Khatiwada, P. P., Mainaly, J., Onta, S., Pandey, V. P., Parajuly, K., Pokharel, S., Satyal, P., Singh, D. R., Talchabhadel, R., Tha, R., Thapa, B. R., Adhikari, K., Adhikari, S., Bastakoti, R. C., Bhandari, P., Bharati, S., Bhusal, Y. R., Bahadur BK, M., Bogati, R., Kafle, S., Khadka, M., Khatiwada, N. R., Lal, A. C., Neupane, D., Neupane, K. R., Ojha, R., Regmi, N. P., Rupakheti, M., Sapkota, A., Sapkota, R., Sharma, M., Shrestha, G., Shrestha, I., Shrestha, K. B., Tandukar, S., Upadhyay, S., **Kropp, J. P.**, Bhuju, D. R. (2021): The COVID-19 Pandemic not only Poses Challenges, but also Opens Opportunities for Sustainable Transformation. – *Earth's Future*, 9, 7, e2021EF001996. DOI: 10.1029/2021EF001996
- Prescott, S. L., Wegienka, G., Kort, R., Nelson, D. H., **Gabrysch, S.**, Hancock, T., Kozyrskyj, A., Lowry, C. A., Redvers, N., Poland, B., Robinson, J., Moubarac, J.-C., Warber, S., Jansson, J., Sinkkonen, A., Penders, J., Erdman, S., Nanan, R., van den Bosch, M., Schneider, K., Schroeck, N. J., Sobko, T., Harvie, J., Kaplan, G. A., Moodie, R., Lengnick, L., Prilleltensky, I., Celidwen, Y., Berman, S. H., Logan, A. C., Berman, B. (2021): Project Earthrise: Proceedings of the Ninth Annual Conference of inVIVO Planetary Health. – *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 20, 10654. DOI: 10.3390/ijerph182010654
- Prokhorov, M. D., Karavaev, A. S., Ishbulatov, Y. M., Ponomarenko, V. I., Kiselev, A. R., **Kurths, J.** (2021): Interbeat interval variability versus frequency modulation of heart rate. – *Physical Review E*, 103, 4, 042404. DOI: 10.1103/PhysRevE.103.042404
- Protachevicz, P. R., Hansen, M., Iarosz, K. C., Caldas, I. L., Batista, A. M., **Kurths, J.** (2021): Emergence of Neuronal Synchronisation in Coupled Areas. – *Frontiers in Computational Neuroscience*, 15, 663408. DOI: 10.3389/fncom.2021.663408
- Quante, L., Willner, S., Middelani, R., Levermann, A.** (2021): Regions of intensification of extreme snowfall under future warming. – *Scientific Reports*, 11, 16621. DOI: 10.1038/s41598-021-95979-4

# Veröffentlichungen 2021

- Quemin, S.,** Trotignon, R. (2021): Emissions trading with rolling horizons. – *Journal of Economic Dynamics and Control*, 125, 104099. DOI: 10.1016/j.jedc.2021.104099
- Rabbi, S. E.,** Shant, R., Karmakar, S., Habib, A., **Kropp, J. P.** (2021): Regional mapping of climate variability index and identifying socio-economic factors influencing farmer's perception in Bangladesh. – *Environment, Development and Sustainability*, 23, 7, 11050-11066. DOI: 10.1007/s10668-020-01104-2
- Rafaj, P., Kiesewetter, G., Krey, V., Schoepp, W., **Bertram, C.,** Drouet, L., Fricko, O., Fujimori, S., Harmsen, M., **Hilaire, J.,** Huppmann, D., Klimont, Z., Kolp, P., Aleluia Reis, L., van Vuuren, D. (2021): Air quality and health implications of 1.5 °C–2 °C climate pathways under considerations of ageing population: a multi-model scenario analysis. – *Environmental Research Letters*, 16, 4, 045005. DOI: 10.1088/1748-9326/abdf0b
- Raj, S., **Shukla, R.,** Trigo, R. M., Merz, B., Rathinasamy, M., Ramos, A. M., Agarwal, A. (2021): Ranking and characterization of precipitation extremes for the past 113 years for Indian western Himalayas. – *International Journal of Climatology*, 41, 15, 6602-6615. DOI: 10.1002/joc.7215
- Rakshit, S., Majhi, S., **Kurths, J.,** Ghosh, D. (2021): Neuronal synchronization in long-range time-varying networks. – *Chaos*, 31, 7, 073129. DOI: 10.1063/5.0057276
- Ramachandran, S., **Siala, K.,** de La Rúa, C., Massier, T., Ahmed, A., Hamacher, T. (2021): Life Cycle Climate Change Impact of a Cost-Optimal HVDC Connection to Import Solar Energy from Australia to Singapore. – *Energies*, 14, 21, 7178. DOI: 10.3390/en14217178
- Reinecke, R., Müller Schmied, H., Trautmann, T., **Andersen, L.,** Burek, P., Flörke, M., Gosling, S. N., Grillakis, M., Hanasaki, N., Koutroulis, A., Pokhrel, Y., Thiery, W., Wada, Y., Yusuke, S., Döll, P. (2021): Uncertainty of simulated groundwater recharge at different global warming levels: a global-scale multi-model ensemble study. – *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 2, 787-810. DOI: 10.5194/hess-25-787-2021
- Reiner, D. M., Hannula, I., Koljonen, T., Allen, M., **Lucht, W.,** Guillén-Gosálbez, G., Mac Dowel, N. (2021): Europe's 'green deal' and carbon dioxide removal [Correspondence]. – *Nature*, 589, 7840, 19-19. DOI: 10.1038/d41586-020-03643-0
- Reußwig, F., Bock, S.,** Schleer, C., **Lass, W.** (2021): Effects of Voluntary and Involuntary Real Lab Situations on Personal Carbon Footprints of Private Households. Experiences From Germany. – *Frontiers in Sustainability*, 2, 648433. DOI: 10.3389/frsus.2021.648433
- Rezaei, M., **Rousi, E.,** Ghasemifar, E., Sadeghi, A. (2021): A study of dry spells in Iran based on satellite data and their relationship with ENSO. – *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 3-4, 1387-1405. DOI: 10.1007/s00704-021-03607-y
- Riahi, K., **Bertram, C.,** Huppmann, D., Rogelj, J., Bosetti, V., Cabardos, A.-M., Deppermann, A., Drouet, L., Frank, S., Fricko, O., Fujimori, S., Harmsen, M., Hasegawa, T., Krey, V., **Luderer, G.,** Paroussos, L., Schaeffer, R., Weitzel, M., van der Zwaan, B., Vrontisi, Z., Dalla Longa, F., Després, J., Fosse, F., Fragkiadakis, K., Gusti, M., **Humpenöder, F.,** Keramidas, K., Kishimoto, P., **Kriegler, E.,** **Meinshausen, M.,** Nogueira, L. P., Oshiro, K., **Popp, A.,** Rochedo, P. R. R., Ünlü, G., van Ruijven, B., Takakura, J., Tavoni, M., van Vuuren, D., Zakeri, B. (2021): Cost and attainability of meeting stringent climate targets without overshoot. – *Nature Climate Change*, 11, 12, 1063-1069. DOI: 10.1038/s41558-021-01215-2
- Ribeiro, H. V., Oehlers, M., Moreno-Monroy, A. I., **Kropp, J. P.,** **Rybski, D.** (2021): Association between population distribution and urban GDP scaling. – *PloS ONE*, 16, 1, e0245771. DOI: 10.1371/journal.pone.0245771
- Riechers, K., Boers, N.** (2021): Significance of uncertain phasing between the onsets of stadial-interstadial transitions in different Greenland ice core proxies. – *Climate of the Past*, 17, 4, 1751-1775. DOI: 10.5194/cp-17-1751-2021
- Riedel, N., Fuller, D. Q., **Marwan, N.,** Poretschkin, C., Basavaiah, N., Menzel, P., Ratnam, J., Prasad, S., Sachse, D., Sankaran, M., Sarkar, S., Stebich, M. (2021): Monsoon forced evolution of savanna and the spread of agro-pastoralism in peninsular India. – *Scientific Reports*, 11, 9032. DOI: 10.1038/s41598-021-88550-8
- Ringeval, B., Kvakić, M., Augusto, L., Ciais, P., Goll, D. S., Mueller, N. D., **Müller, C.,** Nesme, T., Vuichard, N., Wang, X., Pellerin, S. (2021): Insights on nitrogen and phosphorus co-limitation in global croplands from theoretical and modeling fertilization experiments. – *Global Biogeochemical Cycles*, 35, 6, e2020GB006915. DOI: 10.1029/2020GB006915
- Ringeval, B., **Müller, C.,** Pugh, T. A., Mueller, N. D., Ciais, P., Folberth, C., Liu, W., Debaeke, P., Pellerin, S. (2021): Potential yield simulated by global gridded crop models: a process-based emulator to explain their differences. – *Geoscientific Model Development*, 14, 3, 1639-1656. DOI: 10.5194/gmd-14-1639-2021
- Robinson, A.,** **Lehmann, J.,** Barriopedro, D., **Rahmstorf, S.,** **Coumou, D.** (2021): Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate. – *npj Climate and Atmospheric Science*, 4, 45. DOI: 10.1038/s41612-021-00202-w
- Rockström, J.,** **Beringer, T.,** Hole, D., Griscom, B., Mascia, M. B., Folke, C., Creutzig, F. (2021): Opinion: We need biosphere stewardship that protects carbon sinks and builds resilience. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 38, e2115218118. DOI: 10.1073/pnas.2115218118
- Rockström, J.,** Gupta, J., Lenton, T. M., Qin, D., Lade, S. J., Abrams, J. F., Jacobson, L., Rocha, J. C., Zimm, C., Bai, X., Bala, G., Bringle, S., Broadgate, W., Bunn, S. E., DeClerck, F., Ebi, K. L., Gong, P., Gordon, C., Kanie, N., Liverman, D. M., Nakicenovic, N., Obura, D., Ramanathan, V., Verburg, P. H., van Vuuren, D. P., **Winkelmann, R.** (2021): Identifying a Safe and Just Corridor for People and the Planet [Commentary]. – *Earth's Future*, 9, 4, e2020EF001866. DOI: 10.1029/2020EF001866
- Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., Daiglou, V., Deppermann, A., Doelman, J., Emmet Booth, J., Engelmann, J., Fricko, O., Frischmann, C., Funk, J., Grassi, G., Griscom, B., Havlik, P., Hanssen, S., **Humpenöder, F.,** **Landholm, D. M.,** Lomax, G., Lehmann, J., Mesnildrey, L., Nabuurs, G., **Popp, A.,** Rivard, C., Sanderman, J., Sohngen, B., Smith, P., Stehfest, E., Woolf, D., Lawrence, D. (2021): Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. – *Global Change Biology*, 27, 23, 6025-6058. DOI: 10.1111/gcb.15873
- Rolinski, S.,** Prishchepov, A. V., Guggenberger, G., Bischoff, N., Kurganova, I., Schierhorn, F., Müller, D., **Müller, C.** (2021): Dynamics of soil organic carbon in the steppes of Russia and Kazakhstan under past and future climate and land use. – *Regional Environmental Change*, 21, 3, 73. DOI: 10.1007/s10113-021-01799-7
- Roofs, C.,** **Gaitan, B.,** **Edenhofer, O.** (2021): Make or brake – rich states in voluntary federal emission pricing. – *Journal of Environmental Economics and Management*, 109, 102463. DOI: 10.1016/j.jeem.2021.102463
- Rosier, S. H. R., **Reese, R.,** **Donges, J. F.,** De Rydt, J., Gudmundsson, G. H., Winkelmann, R. (2021): The tipping points and early warning indicators for Pine Island Glacier, West Antarctica. – *The Cryosphere*, 15, 3, 1501-1516. DOI: 10.5194/tc-15-1501-2021
- Rottoli, M.,** **Dirnaichner, A.,** Kyle, P., **Baumstark, L.,** **Pietzcker, R. C.,** **Luderer, G.** (2021): Coupling a Detailed Transport Model to the Integrated Assessment Model REMIND. – *Environmental Modeling and Assessment*, 26, 6, 891-909. DOI: 10.1007/s10666-021-09760-y
- Rottoli, M.,** **Dirnaichner, A.,** **Pietzcker, R. C.,** **Schreyer, F.,** **Luderer, G.** (2021): Alternative electrification pathways for light-duty vehicles



in the European transport sector. – *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 99, 103005. DOI: 10.1016/j.trd.2021.103005

**Rousi, E., Selten, F., Rahmstorf, S., Coumou, D.** (2021): Changes in North Atlantic atmospheric circulation in a warmer climate favor winter flooding and summer drought over Europe. – *Journal of Climate*, 34, 6, 2277-2295. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0311.1

Ruane, A. C., Phillips, M., Müller, C., Elliott, J., Jägermeyr, J., Arneth, A., Balkovic, J., Deryng, D., Folberth, C., Iizumi, T., Izaurre, R. C., Khabarov, N., Lawrence, P., Liu, W., Olin, S., Pugh, T. A. M., Rosenzweig, C., Sakurai, G., Schmid, E., Sultan, B., Wang, X., de Wit, A., Yang, H. (2021): Strong regional influence of climatic forcing datasets on global crop model ensembles. – *Agricultural and Forest Meteorology*, 300, 108313. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108313

Runnova, A., Zhuravlev, M., Ukolov, R., Blokhina, I., Dubrovsky, A., Lezhnev, N., Sitnikova, E., Saranceva, E., Kiselev, A., Karavaev, A., Selskii, A., Semyachkina-Glushkovskaya, O., Penzel, T., Kurths, J. (2021): Modified wavelet analysis of ECoG-pattern as promising tool for detection of the blood-brain barrier leakage. – *Scientific Reports*, 11, 18505. DOI: 10.1038/s41598-021-97427-9

Runnova, A., Zhuravlev, M., Shamionov, R., Parsamyan, R., Egorov, E., Kiselev, A., Selskii, A., Akimova, O., Karavaev, A., Kurths, J. (2021): Spatial patterns in EEG activity during monotonous sound perception test. – *European Physical Journal Plus*, 136, 7, 735. DOI: 10.1140/epjp/s13360-021-01716-1

**Rybski, D., Butsic, V., Kantelhardt, J. W.** (2021): Self-organized multistability in the forest fire model. – *Physical Review E*, 104, 1, L012201.

**Rybski, D., Li, Y., Born, S., Kropp, J. P.** (2021): Modeling urban morphology by unifying Diffusion-Limited Aggregation and Stochastic Gravitation. – *Findings*, 22296. DOI: 10.32866/001c.22296

**Rybski, D., Pradhan, P., Shutters, S. T., Butsic, V., Kropp, J. P.** (2021): Characterizing the sectoral development of cities. – *PLoS ONE*, 16, 7, e0254601. DOI: 10.1371/journal.pone.0254601

Rypdal, M., Boers, N., Fredriksen, H.-B., Eiselt, K.-U., Johansen, A., Martinsen, A., Falck Mentzoni, E., Graversen, R. G., Rypdal, K. (2021): Estimating Remaining Carbon Budgets Using Temperature Responses Informed by CMIP6. – *Frontiers in Climate*, 3, 686058. DOI: 10.3389/fclim.2021.686058

Saeed, F., Schleussner, C.-F., Almazroui, M. (2021): From Paris to Makkah: heat stress risks for Muslim pilgrims at 1.5 °C and 2 °C. – *Environmental Research Letters*, 16, 2, 024037. DOI: 10.1088/1748-9326/abd067

**Sakschewski, B., von Bloh, W., Drüke, M., Sörensson, A. A., Ruscica, R., Langerwisch, F., Billing, M., Bereswill, S., Hirota, M., Oliveira, R. S., Heinke, J., Thonicke, K.** (2021): Variable tree rooting strategies are key for modelling the distribution, productivity and evapotranspiration of tropical evergreen forests. – *Biogeosciences*, 18, 13, 4091-4116. DOI: 10.5194/bg-18-4091-2021

**Sauer, I., Reese, R., Otto, C., Geiger, T., Willner, S., Guillod, B. P., Bresch, D. N., Frieler, K.** (2021): Climate signals in river flood damages emerge under sound regional disaggregation. – *Nature Communications*, 12, 2128. DOI: 10.1038/s41467-021-22153-9

**Sauer, I., Roca, E., Villares, M.** (2021): Integrating climate change adaptation in coastal governance of the Barcelona metropolitan area. – *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 26, 16. DOI: 10.1007/s11027-021-09953-6

**Sawicki, J., Koulen, J. M., Schöll, E.** (2021): Synchronization scenarios in three-layer networks with a hub. – *Chaos*, 31, 7, 073131. DOI: 10.1063/5.0055835

**Sawicki, J., Schöll, E.** (2021): Influence of Sound on Empirical Brain Networks. – *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 7, 662221. DOI: 10.3389/fams.2021.662221

**Schauberger, B., Makowski, D., Tamara, B.-A., Julien, B., Ciais, P.** (2021): No historical evidence for increased vulnerability of French crop production to climatic hazards. – *Agricultural and Forest Meteorology*, 306, 108453. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108453

Schepelmann, P., Fischer, S., Drews, M., Bastein, T., Kropp, J. P., Krummenauer, L., Augenstein, K. (2021): Evidence-based narratives in European research programming. – *European Journal of Futures Research*, 9, 6. DOI: 10.1186/s40309-021-00175-2

**Schewe, J., Rikani, A.** (2021): Global bilateral migration projections accounting for diasporas, transit and return flows, and poverty constraints. – *Demographic Research*, 45, 4, 87-140. DOI: 10.4054/DemRes.2021.45.4

**Schlemm, T., Levermann, A.** (2021): A simple parametrization of mélange buttressing for calving glaciers. – *The Cryosphere*, 15, 2, 531-545. DOI: 10.5194/tc-15-531-2021

**Schultes, A., Piontek, F., Sörgel, B., Rogelj, J., Baumstark, L., Krieglger, E., Edenhofer, O., Luderer, G.** (2021): Economic damages from on-going climate change imply deeper near-term emission cuts. – *Environmental Research Letters*, 16, 10, 104053. DOI: 10.1088/1748-9326/ac27ce

Seiermann, A. U., Al-Mufti, H., Waid, J. L., Wendt, A., Sobhan, S., Gabrysch, S. (2021): Women's fasting habits and dietary diversity during Ramadan in rural Bangladesh. – *Maternal & Child Nutrition*, 17, 3, e13135. DOI: 10.1111/mcn.13135

Semenova, N., Segreev, K., Slepnev, A., Runnova, A., Zhuravlev, M., Blokhina, I., Dubrovsky, A., Klimova, M., Terskov, A., Semyachkina-Glushkovskaya, O., Kurths, J. (2021): Blood-brain barrier permeability changes: nonlinear analysis of ECoG based on wavelet and machine learning approaches. – *European Physical Journal Plus*, 136, 7, 736. DOI: 10.1140/epjp/s13360-021-01715-2

Semeraro, T., Buccolieri, R., Vergine, M., De Bellis, L., Luvisi, A., Emmanuel, R., Marwan, N. (2021): Analysis of Olive Grove Destruction by *Xylella fastidiosa* Bacterium on the Land Surface Temperature in Salento Detected Using Satellite Images. – *Forests*, 12, 9, 1266. DOI: 10.3390/f12091266

Semyachkina-Glushkovskaya, O., Fedosov, I., Shirokov, A., Vodovozova, E., Alekseeva, A., Khorovodov, A., Blokhina, I., Terskov, A., Mamedova, A., Klimova, M., Dubrovsky, A., Ageev, V., Agranovich, I., Vinnik, V., Tsven, A., Sokolovskii, S., Rafailov, E., Penzel, T., Kurths, J. (2021): Photomodulation of lymphatic delivery of liposomes to the brain bypassing the blood-brain barrier: new perspectives for glioma therapy. – *Nanophotonics*, 10, 12, 3215-3227. DOI: 10.1515/nanoph-2021-0212

Semyachkina-Glushkovskaya, O., Khorovodov, A., Fedosov, I., Pavlov, A., Shirokov, A., Sharif, A. E., Dubrovsky, A., Blokhina, I., Terskov, A., Navolokin, N., Evsukova, A., Karandin, G., Elovenko, D., Tzoy, M., Ageev, V., Agranovich, I., Telnova, V., Tsven, A., Saranceva, E., Iskra, T., Kurths, J. (2021): A Novel Method to Stimulate Lymphatic Clearance of Beta-Amyloid from Mouse Brain Using Noninvasive Music-Induced Opening of the Blood-Brain Barrier with EEG Markers. – *Applied Sciences*, 11, 21, 10287. DOI: 10.3390/app112110287

Semyachkina-Glushkovskaya, O., Mamedova, A., Vinnik, V., Klimova, M., Saranceva, E., Ageev, V., Yu, T., Zhu, D., Penzel, T., Kurths, J. (2021): Brain Mechanisms of COVID-19-Sleep Disorders. – *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 13, 6917. DOI: 10.3390/ijms22136917

# Veröffentlichungen 2021

- Semyachkina-Glushkovskaya, O., Penzel, T., Blokhina, I., Khorovodov, A., Fedosov, I., Yu, T., Karandin, G., Evsukova, A., Elovenko, D., Adushkina, V., Shirokov, A., Dubrovskii, A., Terskov, A., Navolokin, N., Tzoy, M., Ageev, V., Agranovich, I., Telnova, V., Tsvet, A., **Kurths, J.** (2021): Night Photostimulation of Clearance of Beta-Amyloid from Mouse Brain: New Strategies in Preventing Alzheimer's Disease. – *Cells*, 10, 12, 3289. DOI: 10.3390/cells10123289
- Semyachkina-Glushkovskaya, O., Postnov, D., Lavrova, A., Fedosov, I., Borisova, E., Nikolenko, V., Penzel, T., **Kurths, J.**, Tuchin, V. (2021): Biophotonic Strategies of Measurement and Stimulation of the Cranial and the Extracranial Lymphatic Drainage Function. – *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 27, 4, 7400313. DOI: 10.1109/JSTQE.2020.3045834
- Shajan, E., Asir, M. P., Dixit, S., **Kurths, J.**, Shrimali, M. D. (2021): Enhanced synchronization due to intermittent noise. – *New Journal of Physics*, 23, 112001. DOI: 10.1088/1367-2630/ac3885
- Sherriff-Tadano, S., Abe-Ouchi, A., Oka, A., **Mitsui, T.**, Saito, F. (2021): Does a difference in ice sheets between Marine Isotope Stages 3 and 5a affect the duration of stadials? Implications from hosing experiments. – *Climate of the Past*, 17, 5, 1919-1936. DOI: 10.5194/cp-17-1919-2021
- Shi, H., Tian, H., **Lange, S.**, Yang, J., Pan, S., Fu, B., **Reyer, C. P. O.** (2021): Terrestrial biodiversity threatened by increasing global aridity velocity under high-level warming. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 36, e2015552118. DOI: 10.1073/pnas.2015552118
- Shi, H., Tian, H., Pan, N., **Reyer, C. P. O.**, Ciaia, P., Chang, J., Forrest, M., **Frieler, K.**, Fu, B., **Gädeke, A.**, Hickler, T., Ito, A., **Ostberg, S.**, Pan, S., **Stevanović, M.**, Yang, J. (2021): Saturation of global terrestrial carbon sink under a high warming scenario. – *Global Biogeochemical Cycles*, 35, 10, e2020GB006800. DOI: 10.1029/2020GB006800
- Shukla, R., Gleixner, S., Yalaw, A. W., Schaubberger, B., Sietz, D., Gornott, C.** (2021): Dynamic vulnerability of smallholder agricultural systems in the face of climate change for Ethiopia. – *Environmental Research Letters*, 16, 4, 044007. DOI: 10.1088/1748-9326/abdb5c
- Siala, K., Odersky, L.** (2021): pyGRETA, pyCLARA, pyPRIMA: A pre-processing suite to generate flexible model regions for energy system models. – *SoftwareX*, 16, 100860. DOI: 10.1016/j.softx.2021.100860
- Siderius, C., Biemans, H., Conway, D., Immerzeel, W., **Jägermeyr, J.**, Ahmad, B., Hellegers, P. (2021): Financial Feasibility of Water Conservation in Agriculture. – *Earth's Future*, 9, 3, e2020EF001726. DOI: 10.1029/2020EF001726
- Sietz, D., Conrad, T., Krysanova, V., Hattermann, F. F., Wechsung, F.** (2021): The Crop Generator: Implementing crop rotations to effectively advance eco-hydrological modeling. – *Agricultural Systems*, 193, 103183. DOI: 10.1016/j.agsy.2021.103183
- Sörgel, B., Kriegler, E., Bodirsky, B. L., Bauer, N., Leimbach, M., Popp, A.** (2021): Combining ambitious climate policies with efforts to eradicate poverty. – *Nature Communications*, 12, 2342. DOI: 10.1038/s41467-021-22315-9
- Sörgel, B., Kriegler, E., Weindl, I., Rauner, S., Dirnacher, A., Ruhe, C., Hofmann, M., Bauer, N., Bertram, C., Bodirsky, B. L., Leimbach, M., Leininger, J., Levesque, A., Luderer, G., Pehl, M., Wiggins, C., Baumstark, L., Beier, F., Dietrich, J. P., Humpenöder, F., von Jeetze, P. J., Klein, D., Koch, J., Pietzcker, R. C., Strefler, J., Lotze-Campen, H., Popp, A.** (2021): A sustainable development pathway for climate action within the UN 2030 Agenda. – *Nature Climate Change*, 11, 8, 656-664. DOI: 10.1038/s41558-021-01098-3
- Stechemesser, A., Wenz, L., Kotz, M., Levermann, A.** (2021): Strong increase of racist tweets outside of climate comfort zone in Europe. – *Environmental Research Letters*, 16, 11, 114001. DOI: 10.1088/1748-9326/ac28b3
- Stenzel, F., Gerten, D., Hanasaki, N.** (2021): Global scenarios of irrigation water abstractions for bioenergy production: a systematic review. – *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 4, 1711-1726. DOI: 10.5194/hess-25-1711-2021
- Stenzel, F., Greve, P., Lucht, W., Tramberend, S., Wada, Y., Gerten, D.** (2021): Irrigation of biomass plantations may globally increase water stress more than climate change. – *Nature Communications*, 12, 1512. DOI: 10.1038/s41467-021-21640-3
- Sterl, S., Fadly, D., **Liersch, S., Koch, H.**, Thiery, W. (2021): Linking solar and wind power in eastern Africa with operation of the Grand Ethiopian Renaissance Dam. – *Nature Energy*, 6, 4, 407-418. DOI: 10.1038/s41560-021-00799-5
- Strauss, B. H., Kulp, S. A., Rasmussen, D. J., **Levermann, A.** (2021): Unprecedented threats to cities from multi-century sea level rise. – *Environmental Research Letters*, 16, 11, 114015. DOI: 10.1088/1748-9326/ac2e6b
- Strauss, B. H., Orton, P. M., **Bittermann, K.**, Buchanan, M. K., Gilford, D. M., Kopp, R. E., Kulp, S., Massey, C., Moel, H. d., Vinogradov, S. (2021): Economic damages from Hurricane Sandy attributable to sea level rise caused by anthropogenic climate change. – *Nature Communications*, 12, 2720. DOI: 10.1038/s41467-021-22838-1
- Strefler, J., Bauer, N., Humpenöder, F., Klein, D., Popp, A., Kriegler, E.** (2021): Carbon dioxide removal technologies are not born equal. – *Environmental Research Letters*, 16, 7, 074021. DOI: 10.1088/1748-9326/ac0a11
- Strefler, J., Kriegler, E., Bauer, N., Luderer, G., Pietzcker, R. C., Giannousakis, A., Edenhofer, O.** (2021): Alternative carbon price trajectories can avoid excessive carbon removal. – *Nature Communications*, 12, 2264. DOI: 10.1038/s41467-021-22211-2
- Stuenzi, S. M., Boike, J., **Gädeke, A.**, Herzschuh, U., Kruse, S., Pestryakova, L. A., Westermann, S., Langer, M. (2021): Sensitivity of ecosystem-protected permafrost under changing boreal forest structures. – *Environmental Research Letters*, 16, 8, 084045. DOI: 10.1088/1748-9326/ac153d
- Stuhr, L., **Bodirsky, B. L.**, Jaeger-Erben, M., **Beier, F., Hunecke, C., Collignon, Q., Lotze-Campen, H.** (2021): German pig farmers' perceived agency under different nitrogen policies. – *Environmental Research Communications*, 3, 8, 085002. DOI: 10.1088/2515-7620/ac18a6
- Subramaniam, N. P., **Donner, R. V.**, Caron, D., Panuccio, G., Hyttinen, J. (2021): Causal coupling inference from multivariate time series based on ordinal partition transition networks. – *Nonlinear Dynamics*, 105, 1, 555-578. DOI: 10.1007/s11071-021-06610-0
- Sun, F., Lei, C., Kurths, J.** (2021): Consensus of heterogeneous discrete-time multi-agent systems with noise over Markov switching topologies. – *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 31, 5, 1530-1541. DOI: 10.1002/rnc.5360
- Sun, F., Li, H., Zhu, W., Kurths, J.** (2021): Optimal mean-square consensus for heterogeneous multi-agent system with probabilistic time delay. – *IET Control Theory & Applications*, 15, 8, 1043-1053. DOI: 10.1049/cth2.12101
- Sun, F., Li, H., Zhu, W., Kurths, J.** (2021): Fixed-time formation tracking for multiple nonholonomic wheeled mobile robots based on distributed observer. – *Nonlinear Dynamics*, 106, 4, 3331-3349. DOI: 10.1007/s11071-021-06946-7
- Sun, F., Liao, X., Kurths, J.** (2021): Mean-square consensus for heterogeneous multi-agent systems with probabilistic time delay. – *Information Sciences*, 543, 112-124. DOI: 10.1016/j.ins.2020.07.021

- Sutradhar, I., Jackson-deGraffenried, M., Akter, S., McMahon, S. A., **Waid, J. L.**, Schmidt, H.-P., **Wendt, A.**, **Gabrysch, S.** (2021): Introducing urine-enriched biochar-based fertilizer for vegetable production: acceptability and results from rural Bangladesh. – *Environment, Development and Sustainability*, 23, 9, 12954-12975. DOI: 10.1007/s10668-020-01194-y
- Taleblian, S., Carlsen, H., Johnson, O., **Volkholz, J.**, Kwambokac, E. (2021): Assessing future cross-border climate impacts using shared socioeconomic pathways. – *Climate Risk Management*, 32, 100311. DOI: 10.1016/j.crm.2021.100311
- Talento, S.**, **Ganopolski, A.** (2021): Reduced-complexity model for the impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions on future glacial cycles. – *Earth System Dynamics*, 12, 4, 1275-1293. DOI: 10.5194/esd-12-1275-2021
- Tarakini, G., **Chemura, A.**, Tarakini, T., Musundire, R. (2021): Drivers of diversity and community structure of bees in an agroecological region of Zimbabwe. – *Ecology and Evolution*, 11, 11, 6415-6426. DOI: 10.1002/ece3.7492
- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., Knutti, R., Lowe, J., O’Neil, B., Sanderson, B., van Vuuren, D., Riahi, K., Meinshausen, M., Nicholls, Z., Hurtt, G., **Kriegler, E.**, Lamarque, J.-F., Meehl, G., Moss, R., Bauer, S. E., Boucher, O., Brovkin, V., Golaz, J.-C., Gualdi, S., Guo, H., John, J. G., Kharin, S., Koshiro, T., Ma, L., Olivie, D., Panickal, S., Qiao, F., Rosenbloom, N., Schupfner, M., Seferian, R., Song, Z., Steger, C., Sellar, A., Swart, N., Tachiiri, K., Tatebe, H., Voltaire, A., Volodin, E., Wyser, K., Xin, X., Xinyao, R., Yang, S., Yu, Y., Ziehn, T. (2021): Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. – *Earth System Dynamics*, 12, 1, 253-293. DOI: 10.5194/esd-12-253-2021
- Telieu, C.-E., Müller Schmied, H., Thiery, W., Leng, G., Burek, P., Liu, X., Boulange, J. E. S., **Andersen, L.**, Grillakis, M., Gosling, S. N., Satoh, Y., Rakovec, O., Stacke, T., Chang, J., Wanders, N., Shah, H. L., Trautmann, T., Mao, G., Hanasaki, N., Koutroulis, A., Pokhrel, Y., Samaniego, L., Wada, Y., Mishra, V., Liu, J., Döll, P., Zhao, F., **Gädeke, A.**, Rabin, S. S., Herz, F. (2021): Understanding each other’s models: an introduction and a standard representation of 16 global water models to support intercomparison, improvement, and communication. – *Geoscientific Model Development*, 14, 6, 3843-3878. DOI: 10.5194/gmd-14-3843-2021
- Terefenko, P., Lubczonek, J., **Paprotny, D.** (2021): Editorial on Special Issue “Remote Sensing Applications in Coastal Environment” [Editorial]. – *Remote Sensing*, 13, 23, 4734. DOI: 10.3390/rs13234734
- Thiery, B. W., **Lange, S.**, Rogelj, J., Schleussner, C.-F., Gudmundsson, L., Seneviratne, S. I., Andrijevic, M., **Frieler, K.**, Emanuel, K., **Geiger, T.**, Bresch, D. N., **Zhao, F.**, **Willner, S.**, **Büchner, M.**, **Volkholz, J.**, **Bauer, N.**, Chang, J., Ciais, P., Dury, M., François, L., Grillakis, M., Gosling, S. N., Hanasaki, N., Hickler, T., Huber, V., Ito, A., **Jägermeyr, J.**, Khabarov, N., Koutroulis, A., Liu, W., Lutz, W., **Mengel, M.**, **Müller, C.**, **Ostberg, S.**, **Reyer, C. P. O.**, Stacke, T., Wada, Y. (2021): Intergenerational inequities in exposure to climate extremes. – *Science*, 374, 6564, 158-160. DOI: 10.1126/science.abi7339
- Thomas-Rüddel, D. O., **Hoffmann, P.**, Schwarzkopf, D., Scheer, C., Bach, F., Komann, M., Gerlach, H., Weiss, M., Lindner, M., Rüddel, H., Simon, P., Kuhn, S.-O., Wetzker, R., Bauer, M., Reinhart, K., Bloos, F. (2021): Fever and hypothermia represent two populations of sepsis patients and are associated with outside temperature. – *Critical Care*, 25, 368. DOI: 10.1186/s13054-021-03776-2
- Tietjen, O.**, **Lessmann, K.**, **Pahle, M.** (2021): Hedging and temporal permit issuances in cap-and-trade programs: The Market Stability Reserve under risk aversion. – *Resource and Energy Economics*, 63, 101214. DOI: 10.1016/j.reseneeco.2020.101214
- Tittensor, D. P., Novaglio, C., Harrison, C. S., Heneghan, R. F., Barrier, N., Bianchi, D., Bopp, L., Bryndum-Buchholz, A., Britten, G. L., **Büchner, M.**, Cheung, W. W. L., Christensen, V., Coll, M., Dunne, J. P., Eddy, T. D., Everett, J. D., Fernandes-Salvador, J. A., Fulton, E. A., Galbraith, E. D., Gascuel, D., Guiet, J., John, J. G., Link, J. S., Lotze, H. K., Maury, O., Ortega-Cisneros, K., Palacios-Abrantes, J., Petrik, C. M., du Pontavice, H., Rault, J., Richardson, A. J., Shannon, L., Shin, Y.-J., Steenbeek, J., Stock, C. A., Blanchard, J. L. (2021): Next-generation ensemble projections reveal higher climate risks for marine ecosystems. – *Nature Climate Change*, 11, 11, 973-981. DOI: 10.1038/s41558-021-01173-9
- Tonne, C., Adair, L., Adlakha, D., Anguelovski, I., Belesova, K., Berger, M., Brelford, C., Davdand, P., Dimitrova, A., Giles-Corti, B., Heinz, A., Mehran, N., Nieuwenhuijsen, M., Pelletier, F., Ranzani, O., Rodenstein, M., **Rybski, D.**, Samavati, S., Satterthwaite, D., Schöndorf, J., Schreckenberger, D., Stollmann, J., Taubenböck, H., Tiwari, G., van Wee, B., Adli, M. (2021): Defining pathways to healthy sustainable urban development. – *Environment International*, 146, 106236. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106236
- Trauth, M. H., Asrat, A., Cohen, A. S., Duesing, W., Foerster, V., Kaboth-Bahr, S., **Krämer, K.-H.**, Lamb, H. F., **Marwan, N.**, Maslin, M. A., Schäbitz, F. (2021): Recurring types of variability and transitions in the 1620 kyr record of climate change from the Chew Bahir basin, southern Ethiopia. – *Quaternary Science Reviews*, 266, 106777. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106777
- Traxl, D.**, **Boers, N.**, Rheinwald, A., Bookhagen, B. (2021): The role of cyclonic activity in tropical temperature-rainfall scaling. – *Nature Communications*, 12, 6732. DOI: 10.1038/s41467-021-27111-z
- Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl, K., **Gütschow, J.**, Xueyao, P., Obli-Laryea, G., Wanner, N., Qiu, S. Y., Barros, J. D., Flammini, A., Mencos-Contreras, E., Souza, L., Quadrelli, R., Heiðarsdóttir, H. H., Benoit, P., Hayek, M., Sandalow, D. (2021): Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. – *Environmental Research Letters*, 16, 6, 065007. DOI: 10.1088/1748-9326/ac018e
- Ueckerdt, F.**, **Bauer, C.**, **Dirnhaichner, A.**, **Everall, J.**, **Sacchi, R.**, **Luderer, G.** (2021): Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. – *Nature Climate Change*, 11, 5, 384-393. DOI: 10.1038/s41558-021-01032-7
- Urban, A., Di Napoli, C., Cloke, H. L., Kyselý, J., Pappenberger, F., Sera, F., Schneider, R., Vicedo-Cabrera, A. M., Acquaotta, F., Ragettli, M. S., Íñiguez, C., Tobias, A., Indermitte, E., Orru, H., Jaakkola, J. J., Rytli, N. R., Pascal, M., **Huber, V.**, **Schneider, A.**, de’ Donato, F., Michelozzi, P., Gasparrini, A. (2021): Evaluation of the ERA5 reanalysis-based Universal Thermal Climate Index on mortality data in Europe. – *Environmental Research*, 198, 111227. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111227
- Vallejo Bernal, S. M.**, Ramírez, J. M., Poveda, G. (2021): A conceptual stochastic rainfall-runoff model of an order-one catchment under a stationary precipitation regime. – *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 35, 11, 2187-2212. DOI: 10.1007/s00477-021-02041-w
- van Soest, H. L., Aleluia Reis, L., Baptista, L. B., **Bertram, C.**, Després, J., Drouet, L., den Elzen, M., Fragkos, P., Fricko, O., Fujimori, S., Grant, N., Harmsen, M., Iyer, G., Keramidas, K., Köberle, A. C., **Kriegler, E.**, **Malik, A.**, Mittal, S., Oshiro, K., Riahi, K., Roelfsema, M., van Ruijven, B., Schaeffer, R., Silva Herran, D., Tavoni, M., Unlu, G., Vandyck, T., van Vuuren, D. P. (2021): Global roll-out of comprehensive policy measures may aid in bridging emissions gap. – *Nature Communications*, 12, 6419. DOI: 10.1038/s41467-021-26595-z
- Vandyck, T., **Rauner, S.**, Sampedro, J., Lanzi, E., Reis, L. A., Springmann, M., Dingenen, R. V. (2021): Integrate health into decision-making to foster climate action. – *Environmental Research Letters*, 16, 4, 041005. DOI: 10.1088/1748-9326/abef8d

# Veröffentlichungen 2021

- Vicedo-Cabrera, A. M., Scovronick, N., Sera, F., Royé, D., Schneider, R., Tobias, A., Astrom, C., Guo, Y., Honda, Y., Hondula, D. M., Abrutzky, R., Tong, S., Coelho, M. d. S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Correa, P. M., Ortega, N. V., Kan, H., Osorio, S., Kysely, J., Urban, A., Orru, H., Indermite, E., Jaakkola, J. J. K., Rytty, N., Pascal, M., Schneider, A., Katsouyanni, K., Samoli, E., Mayvaneh, F., Entezari, A., Goodman, P., Zeka, A., Michelozzi, P., de' Donato, F., Hashizume, M., Alahmad, B., Diaz, M. H., Valencia, C. D. L. C., Overcenco, A., Houthuijs, D., Ameling, C., Rao, S., Di Ruscio, F., Carrasco-Escobar, G., Seposo, X., Silva, S., Madureira, J., Holobaca, I. H., Fratianni, S., Acquavota, F., Kim, H., Lee, W., Iniguez, C., Forsberg, B., Ragettli, M. S., Guo, Y. L. L., Chen, B. Y., Li, S., Armstrong, B., Aleman, A., Zanobetti, A., Schwartz, J., Dang, T. N., Dung, D. V., Gillett, N., Haines, A., **Mengel, M., Huber, V.**, Gasparri, A. (2021): The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. – *Nature Climate Change*, 11, 6, 492-500. DOI: 10.1038/s41558-021-01058-x
- Vicente-Serrano, S. M., Domínguez-Castro, F., Murphy, C., Peña-Angulo, D., Tomas-Burguera, M., Noguera, I., López-Moreno, J. I., Juez, C., Grainger, S., Eklundh, L., **Conradt, T.**, Azorin-Molina, C., El Kenawy, A. (2021): Increased Vegetation in Mountainous Headwaters Amplifies Water Stress During Dry Periods. – *Geophysical Research Letters*, 48, 18, e2021GL094672. DOI: 10.1029/2021GL094672
- Vicente-Serrano, S. M., Peña-Angulo, D., Murphy, C., López-Moreno, J. I., Tomas-Burguera, M., Domínguez-Castro, F., Tian, F., Eklundh, L., Cai, Z., Alvarez-Farizo, B., Noguera, I., Camarero, J. J., Sanchez-Salguero, R., Gazol, A., Grainger, S., **Conradt, T.**, Boincean, B., El Kenawy, A. (2021): The complex multi-sectoral impacts of drought: Evidence from a mountainous basin in the Central Spanish Pyrenees. – *Science of the Total Environment*, 769, 144702. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144702
- Vock, S., Berner, R., Yanchuk, S., **Schöll, E.** (2021): Effect of diluted connectivities on cluster synchronization of adaptively coupled oscillator networks. – *Scientia Iranica D*, 28, 3, 1669-1684. DOI: 10.24200/sci.2021.57526.5284
- Vogel, J., Paton, E., **Aich, V.**, Bronstert, A. (2021): Increasing compound warm spells and droughts in the Mediterranean Basin. – *Weather and Climate Extremes*, 32, 100312. DOI: 10.1016/j.wace.2021.100312
- Volk, J., **Gornott, C.**, Sieber, S., Lana, M. A. (2021): Can Tanzania's adaptation measures prevent future maize yield decline? A simulation study from Singida region. – *Regional Environmental Change*, 21, 4, 94. DOI: 10.1007/s10113-021-01812-z
- Waid, J. L.**, Sinharoy, S. S., Ali, M., Alam, M. M., **Wendt, A., Gabrys, S.** (2021): What were the drivers of improving child nutritional status in Bangladesh? An analysis of national household data from 1992 to 2005 guided by the UNICEF framework. – *The Journal of Nutrition*, 151, 4, 987-998. DOI: 10.1093/jn/nxaa425
- Waltgenbach, S., Riechelmann, D. F. C., Spötl, C., Jochum, K. P., **Fohlmeister, J.**, Schröder-Ritzrau, A., Scholz, D. (2021): Climate Variability in Central Europe during the Last 2500 Years Reconstructed from Four High-Resolution Multi-Proxy Speleothem Records. – *Geosciences*, 11, 4, 166. DOI: 10.3390/geosciences11040166
- Wang, D., Pei, H., Xu, W., Yao, J., Shi, J., **Kurths, J.** (2021): Resonance characteristics of stochastic dual Duffing oscillators with coupled APHC. – *Journal of Sound and Vibration*, 498, 115981. DOI: 10.1016/j.jsv.2021.115981
- Wang, K., Wu, X., Wang, H., Kan, H., **Kurths, J.** (2021): New color image cryptosystem via SHA-512 and hybrid domain. – *Multimedia Tools and Applications*, 80, 12, 18875-18899. DOI: 10.1007/s11042-021-10511-0
- Wang, L., Song, C., **Conradt, T.**, Rasmy, M., Li, X. (2021): Editorial: Climatic and associated cryospheric and hydrospheric changes on the third pole. – *Frontiers in Earth Science*, 8, 638371. DOI: 10.3389/feart.2020.638371
- Wang, W., Guo, J., Wang, Z., Wang, H., Cheng, J., Wang, C., Yuan, M., **Kurths, J.**, Luo, X., Gao, Y. (2021): Abnormal flow detection in industrial control network based on deep reinforcement learning. – *Applied Mathematics and Computation*, 409, 126379. DOI: 10.1016/j.amc.2021.126379
- Wang, W., He, C., Wang, Z., Cheng, J., Mo, X., Tian, K., Fan, D., Luo, X., Yuan, M., **Kurths, J.** (2021): Dynamic analysis of disease progression in Alzheimer's disease under the influence of hybrid synapse and spatially correlated noise. – *Neurocomputing*, 456, 23-35. DOI: 10.1016/j.neucom.2021.05.067
- Wang, W., He, C., Wang, Z., Hramov, A., Fan, D., Yuan, M., Luo, X., **Kurths, J.** (2021): Dynamic analysis of synaptic loss and synaptic compensation in the process of associative memory ability decline in Alzheimer's disease. – *Applied Mathematics and Computation*, 408, 126372. DOI: 10.1016/j.amc.2021.126372
- Wang, W., Sun, Y., Yuan, M., Wang, Z., Cheng, J., Fan, D., **Kurths, J.**, Luo, X., Wang, C. (2021): Projective synchronization of memristive multidirectional associative memory neural networks via self-triggered impulsive control and its application to image protection. – *Chaos, Solitons and Fractals*, 150, 111110. DOI: 10.1016/j.chaos.2021.111110
- Wang, W., Wang, C., Wang, Z., Han, B., He, C., Cheng, J., Luo, X., Yuan, M., **Kurths, J.** (2021): Nonlinear consensus-based autonomous vehicle platoon control under event-triggered strategy in the presence of time delays. – *Applied Mathematics and Computation*, 404, 126246. DOI: 10.1016/j.amc.2021.126246
- Wang, X., **Müller, C.**, Elliott, J., Mueller, N., Ciais, P., Jägermeyr, J., Gerber, J., Dumas, P., Wang, C., Yang, H., Li, L., Deryng, D., Folberth, C., Liu, W., Makowski, D., Olin, S., Pugh, T. A. M., Reddy, A., Schmid, E., Jeong, S., Zhou, F., Piao, S. (2021): Global irrigation contribution to wheat and maize yield. – *Nature Communications*, 12, 1235. DOI: 10.1038/s41467-021-21498-5
- Wang, Z., Xu, Y., Li, Y., Kapitaniak, T., **Kurths, J.** (2021): Chimera states in coupled Hindmarsh-Rose neurons with  $\alpha$ -stable noise. – *Chaos, Solitons and Fractals*, 148, 110976. DOI: 10.1016/j.chaos.2021.110976
- Wang, Z., Xu, Y., Li, Y., **Kurths, J.** (2021): The probability density function of interspike intervals in an FHN model with  $\alpha$ -stable noise. – *European Physical Journal Plus*, 136, 299. DOI: 10.1140/epjp/s13360-021-01245-x
- Warchold, A., Pradhan, P., Kropp, J. P.** (2021): Variations in sustainable development goal interactions: Population, regional, and income disaggregation. – *Sustainable Development*, 29, 2, 285-299. DOI: 10.1002/sd.2145
- Warszawski, L., Kriegler, E.**, Lenton, T. M., **Gaffney, O.**, Jacob, D., Klingensfeld, D., Koide, R., Mániz Costa, M., Messner, D., Nakicenovic, N., **Schellnhuber, H. J.**, Schlosser, P., Takeuchi, K., van der Leeuw, S., Whiteman, G., **Rockström, J.** (2021): All options, not silver bullets, needed to limit global warming to 1.5°C: a scenario appraisal. – *Environmental Research Letters*, 16, 6, 064037. DOI: 10.1088/1748-9326/abfec
- Wechsung, F.**, Ritter, M., Wall, G. W. (2021): The upper homeostatic range for the temperature-yield response of irrigated US wheat down revised from a theoretical and experimental perspective. – *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108478. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108478
- Wei, R., Cao, J., **Kurths, J.** (2021): Fixed-Time Output Synchronization of Coupled Reaction-Diffusion Neural Networks With Delayed Output Couplings. – *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 8, 1, 780-789. DOI: 10.1109/TNSE.2021.3052255
- Weiland, R. S., van der Wiel, K., Selden, F., **Coumou, D.** (2021): Intransitive Atmospheric Dynamics Leading to Persistent Hot-Dry or Cold-Wet European Summers. – *Journal of Climate*, 34, 15, 6303-6317. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0943.1

- Welte, C., **Fohlmeister, J.**, Wertnik, M., Wacker, L., Hattendorf, B., Eglinton, T. I., Spötl, C. (2021): Climatic variations during the Holocene inferred from radiocarbon and stable carbon isotopes in speleothems from a high-alpine cave. – *Climate of the Past*, 17, 5, 2165-2177. DOI: 10.5194/cp-17-2165-2021
- West, C. D., Stokeld, E., Campiglio, E., Croft, S., Detges, A., Duranovic, A., von Jagow, A., Jarzabek, Ł., König, C., Knaepen, H., Magnuszewski, P., Monasterolo, I., **Reyer, C. P. O.** (2021): Europe's cross-border trade, human security and financial connections: A climate risk perspective. – *Climate Risk Management*, 34, 100382. DOI: 10.1016/j.crm.2021.100382
- Wiedermann, M., Siegmund, J. F., Donges, J. F., Donner, R. V.** (2021): Differential imprints of distinct ENSO flavors in global patterns of very low and high seasonal precipitation. – *Frontiers in Climate*, 3, 618548. DOI: 10.3389/fclim.2021.618548
- Willner, S., Glanemann, N., Levermann, A.** (2021): Investment incentive reduced by climate damages can be restored by optimal policy. – *Nature Communications*, 12, 3245. DOI: 10.1038/s41467-021-23547-5
- Wilson, C., Guivarch, C., **Kriegler, E.**, van Ruijven, B., van Vuuren, D. P., Krey, V., Schwanitz, V. J., Thompson, E. L. (2021): Evaluating process-based integrated assessment models of climate change mitigation. – *Climatic Change*, 166, 1-2, 3. DOI: 10.1007/s10584-021-03099-9
- Windisch, M. G.**, Davin, E. L., Seneviratne, S. I. (2021): Prioritizing forestation based on biogeochemical and local biogeophysical impacts. – *Nature Climate Change*, 11, 10, 867-871. DOI: 10.1038/s41558-021-01161-z
- Wirth, S. B.**, Taubert, F., Tietjen, B., **Müller, C., Rolinski, S.** (2021): Do details matter? Disentangling the processes related to plant species interactions in two grassland models of different complexity. – *Ecological Modelling*, 460, 109737. DOI: 10.1016/j.ecolmod.2021.109737
- Wolf, F., Donner, R. V.** (2021): Spatial organization of connectivity in functional climate networks describing event synchrony of heavy precipitation. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3045-3063. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00166-1
- Wolf, F.**, Öztürk, U., Cheung, K., **Donner, R. V.** (2021): Spatiotemporal patterns of synchronous heavy rainfall events in East Asia during the Baiu season. – *Earth System Dynamics*, 12, 1, 295-312. DOI: 10.5194/esd-12-295-2021
- Wolf, F.**, Voigt, A., **Donner, R. V.** (2021): A climate network perspective on the intertropical convergence zone. – *Earth System Dynamics*, 12, 1, 353-366. DOI: 10.5194/esd-12-353-2021
- Wunderling, N., Donges, J. F., Kurths, J., Winkelmann, R.** (2021): Interacting tipping elements increase risk of climate domino effects under global warming. – *Earth System Dynamics*, 12, 2, 601-619. DOI: 10.5194/esd-12-601-2021
- Wunderling, N., Krönke, J., Wohlfarth, V., Kohler, J., Heitzig, J., Staal, A., Willner, S., Winkelmann, R., Donges, J. F.** (2021): Modeling nonlinear dynamics of interacting tipping elements on complex networks: the PyCascades package. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 3163-3176. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00155-4
- Xing, X., Wang, R., **Bauer, N.**, Ciais, P., Cao, J., Chen, J., Tang, X., Wang, L., Yang, X., Boucher, O., Goll, D., Peñuelas, J., Janssens, I. A., Balkanski, Y., Clark, J., Ma, J., Pan, B., Zhang, S., Ye, X., Wang, Y., Li, Q., Luo, G., Shen, G., Li, W., Yang, Y., Xu, S. (2021): Spatially explicit analysis identifies significant potential for bioenergy with carbon capture and storage in China. – *Nature Communications*, 12, 3159. DOI: 10.1038/s41467-021-23282-x
- Xing, X., Xiong, Y., Yang, R., Wang, R., Wang, W., Kan, H., Lu, T., Li, D., Cao, J., Peñuelas, J., Ciais, P., **Bauer, N.**, Boucher, O., Balkanski, Y., Hauglustaine, D., Brasseur, G., Morawska, L., Janssens, I. A., Wang, X., Sardans, J., Wang, Y., Deng, Y., Wang, L., Chen, J., Tang, X., Zhang, R. (2021): Predicting the effect of confinement on the COVID-19 spread using machine learning enriched with satellite air pollution observations. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 118, 33, e2109098118. DOI: 10.1073/pnas.2109098118
- Xu, W.**, Yang, S., Cao, J. (2021): Fully Distributed Self-Triggered Control for Second-Order Consensus of Multiagent Systems. – *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51, 6, 3541-3551. DOI: 10.1109/TSMC.2019.2930566
- Yalew, A. W.** (2021): Revisiting economic burdens of malaria in the face of climate change: a conceptual analysis for Ethiopia. – *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 13, 1, 1-18. DOI: 10.1108/IJCCSM-05-2020-0045
- Yanchuk, S., Roque, A. C., Macau, E. E. N., **Kurths, J.** (2021): Dynamical phenomena in complex networks: fundamentals and applications. – *European Physical Journal – Special Topics*, 230, 14-15, 2711-2716. DOI: 10.1140/epjs/s11734-021-00282-y
- Yang, C., **Menz, C.**, Fraga, H., Reis, S., Machado, N., Malheiro, A. C., Santos, J. A. (2021): Simultaneous Calibration of Grapevine Phenology and Yield with a Soil-Plant-Atmosphere System Model Using the Frequentist Method. – *Agronomy*, 11, 8, 1659. DOI: 10.3390/agronomy11081659
- Yang, J., Wang, Y., Xue, B., **Li, Y.**, Xiao, X., Xia, J., He, B. (2021): Contribution of urban ventilation to the thermal environment and urban energy demand: Different climate background perspectives. – *Science of the Total Environment*, 795, 148791. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148791
- Yang, X., Zhang, R., Sun, Z., **Kurths, J.** (2021): Controlling Alzheimer's Disease Through the Deep Brain Stimulation to Thalamic Relay Cells. – *Frontiers in Computational Neuroscience*, 15, 636770. DOI: 10.3389/fncom.2021.636770
- Yang, Y., Gao, Z., Li, Y., Cai, Q., **Marwan, N., Kurths, J.** (2021): A complex network-based broad learning system for detecting driver fatigue from EEG signals. – *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51, 9, 5800-5808. DOI: 10.1109/TSMC.2019.2956022
- Yang, Z., Yu, J., **Kurths, J.**, Zhan, M. (2021): Nonlinear Modeling of Multi-Converter Systems Within DC-Link Timescale. – *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 11, 1, 5-16. DOI: 10.1109/JETCAS.2020.3044361
- Ye, J., Peron, T., Lin, W., **Kurths, J.**, Ji, P. (2021): Performance measures after perturbations in the presence of inertia. – *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 97, 105727. DOI: 10.1016/j.cnsns.2021.105727
- Yin, H., Brauer, M., Zhang, J. (., Cai, W., Navrud, S., Burnett, R., Howard, C., Deng, Z., Kammen, D. M., **Schellnhuber, H. J.**, Chen, K., Kan, H., Chen, Z.-M., Chen, B., Zhang, N., Mi, Z., Coffman, D., Cohen, A. J., Guan, D., Zhang, Q., Gong, P., Liu, Z. (2021): Population ageing and deaths attributable to ambient PM2.5 pollution: a global analysis of economic cost. – *The Lancet Planetary Health*, 5, 6, e356-e367. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00131-5
- Yu, J., Yang, Z., **Kurths, J.**, Zhan, M. (2021): Small-Signal Stability of Multi-Converter Infeed Power Grids with Symmetry. – *Symmetry*, 13, 2, 157. DOI: 10.3390/sym13020157
- Yu, L., Li, P., Zhang, J., **Kurths, J.** (2021): Dynamic community discovery via common subspace projection. – *New Journal of Physics*, 23, 033029. DOI: 10.1088/1367-2630/abe504

# Veröffentlichungen 2021

- Yuan, M., Wang, W., Wang, Z., Luo, X., **Kurths, J.** (2021): Exponential Synchronization of Delayed Memristor-Based Uncertain Complex-Valued Neural Networks for Image Protection. – IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 32, 1, 151-165. DOI: 10.1109/TNNLS.2020.2977614
- Zabel, F., **Müller, C.**, Elliott, J., **Minoli, S.**, **Jägermeyr, J.**, Schneider, J. M., Franke, J. A., Moyer, E., Dury, M., Francois, L., Folberth, C., Liu, W., Pugh, T. A., Olin, S., Rabin, S. S., Mauser, W., Hank, T., Ruane, A. C., Asseng, S. (2021): Large potential for crop production adaptation depends on available future varieties. – Global Change Biology, 27, 16, 3870-3882. DOI: 10.1111/gcb.15649
- Zan, W., Xu, Y., Metzler, R., **Kurths, J.** (2021): First-passage problem for stochastic differential equations with combined parametric Gaussian and Lévy white noises via path integral method. – Journal of Computational Physics, 435, 110264. DOI: 10.1016/j.jcp.2021.110264
- Zarei, A.**, **Chemura, A.**, **Gleixner, S.**, **Hoff, H.** (2021): Evaluating the grassland NPP dynamics in response to climate change in Tanzania. – Ecological Indicators, 125, 107600. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107600
- Zeitz, M.**, **Reese, R.**, **Beckmann, J.**, Krebs-Kanzow, U., **Winkelmann, R.** (2021): Impact of the melt-albedo feedback on the future evolution of the Greenland Ice Sheet with PISM-dEBM-simple. – The Cryosphere, 15, 12, 5739-5764. DOI: 10.5194/tc-15-5739-2021
- Zhang, C., Tang, Y., Zhao, C., Sun, Q., Ye, Z., **Kurths, J.** (2021): Multitask GANs for Semantic Segmentation and Depth Completion With Cycle Consistency. – IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 32, 12, 5404-5415. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3072883
- Zhang, X., Xu, Y., Liu, Q., **Kurths, J.**, Grebogi, C. (2021): Rate-dependent bifurcation dodging in a thermoacoustic system driven by colored noise. – Nonlinear Dynamics, 104, 3, 2733-2743. DOI: 10.1007/s11071-021-06368-5
- Zhang, X., Xu, Y., Liu, Q., **Kurths, J.**, Grebogi, C. (2021): Rate-dependent tipping and early warning in a thermoacoustic system under extreme operating environment. – Chaos, 31, 11, 113115. DOI: 10.1063/5.0071977
- Zhang, X., Zou, T., Lassaletta, L., Mueller, N. D., Tubiello, F. N., Lisk, M. D., Lu, C., Conant, R. T., Dorich, C. D., Gerber, J., Tian, H., Bruulsema, T., McClellan Maaz, T., Nishina, K., **Bodirsky, B. L.**, **Popp, A.**, Bouwman, L., Beusen, A., Chang, J., Havlík, P., Leclère, D., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Heffer, P., Wanner, N., Zhang, W., Davidson, E. A. (2021): Quantification of global and national nitrogen budgets for crop production. – Nature Food, 2, 2, 529-540. DOI: 10.1038/s43016-021-00318-5
- Zhang, Y., Zhou, D., **Fan, J.**, Marzocchi, W., Ashkenazy, Y., Havlin, S. (2021): Improved earthquake aftershocks forecasting model based on long-term memory. – New Journal of Physics, 23, 042001. DOI: 10.1088/1367-2630/abeb46
- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., Schneider, A., Entezari, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Zanobetti, A., Analitis, A., Zeka, A., Tobias, A., Nunes, B., Alahmad, B., Armstrong, B., Forsberg, B., Pan, S.-C., Íñiguez, C., Ameling, C., De la Cruz Valencia, C., Åström, C., Houthuijs, D., Dung, D. V., Royé, D., Indermitte, E., Lavigne, E., Mayvaneh, F., Acquavota, F., de'Donato, F., Di Ruscio, F., Sera, F., Carrasco-Escobar, G., Kan, H., Orru, H., Kim, H., Holobaca, I.-H., Kyselý, J., Madureira, J., Schwartz, J., Jaakkola, J. J. K., Katsouyanni, K., Hurtado Diaz, M., Ragettli, M. S., Hashizume, M., Pascal, M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coêlho, M., Valdés Ortega, N., Rytí, N., Scovronick, N., Michelozzi, P., Matus Correa, P., Goodman, P., Nascimento Saldiva, P. H., Abrutzky, R., Osorio, S., Rao, S., Fratianni, S., Dang, T. N., Colistro, V., **Huber, V.**, Lee, W., Seposo, X., Honda, Y., Guo, Y. L., Bell, M. L., Li, S. (2021): Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. – The Lancet Planetary Health, 5, e415-e425. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00081-4
- Zhao, Y., Ren, S., **Kurths, J.** (2021): Synchronization of coupled memristive competitive BAM neural networks with different time scales. – Neurocomputing, 427, 110-117. DOI: 10.1016/j.neucom.2020.11.023
- Zhao, Y., Ren, S., **Kurths, J.** (2021): Finite-time and fixed-time synchronization for a class of memristor-based competitive neural networks with different time scales. – Chaos, Solitons and Fractals, 148, 111033. DOI: 10.1016/j.chaos.2021.111033
- Zheng, Y., Yang, F., Duan, J., **Kurths, J.** (2021): Quantifying model uncertainty for the observed non-Gaussian data by the Hellinger distance. – Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 96, 105720. DOI: 10.1016/j.cnsns.2021.105720
- Zhu, J., Li, X., Gao, C., Wang, Z., **Kurths, J.** (2021): Unsupervised community detection in attributed networks based on mutual information maximization. – New Journal of Physics, 23, 113016. DOI: 10.1088/1367-2630/ac2fbd
- Zou, W., Senthilkumar, D. V., Zhan, M., **Kurths, J.** (2021): Quenching, aging, and reviving in coupled dynamical networks. – Physics Reports, 931, 1-72. DOI: 10.1016/j.physrep.2021.07.004
- ## Artikel in nicht begutachteten Zeitschriften
- Bertram, C.**, **Edenhofer, O.**, **Luderer, G.** (2021): A Path to Zero. – Finance and Development, 58, 3, 58-61.
- Edenhofer, O.**, Horn, K. (2021): „Langfristigkeit ist in der Klimapolitik das A und O“: Ein Gespräch mit Ottmar Edenhofer über die CO<sub>2</sub>-Bepreisung, das Klimaschutzgesetz, den europäischen Emissionshandel und den Vatikan [Interview]. – Perspektiven der Wirtschaftspolitik, 22, 3, 247-258. DOI: 10.1515/pwp-2021-0033
- Edenhofer, O.**, Kalkuhl, M., Roolfs, C. (2021): Carbon Pricing and Revenue Recycling: An Overview of Vertical and Horizontal Equity Effects for Germany. – CESifo Forum, 22, 5, 10-14.
- Folke, C., Polasky, S., **Rockström, J.**, Galaz, V., Westley, F., Lamont, M., Scheffer, M., Österblom, H., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Seto, K. C., Weber, E. U., Crona, B. I., Daily, G. C., Dasgupta, P., **Gaffney, O.**, Gordon, L. J., **Hoff, H.**, Levin, S. A., Lubchenco, J., Steffen, W., Walker, B. H. (2021): Our future in the Anthropocene biosphere. – Ambio, 50, 4, 834-869. DOI: 10.1007/s13280-021-01544-8
- Kropp, J. P.** (2021): Was der Klimawandel für unsere Städte bedeutet [Interview]. – Das Haus, 2021, 9, 22-25.
- Levermann, A.** (2021): Klimaschocks in Lieferketten [Kommentar]. – Absolut|impact, 2021, 4, 17-17.
- Pahle, M.**, **Edenhofer, O.** (2021): Discretionary Intervention Destabilizes the EU Emissions Trading System: Evidence and Recommendations for a Rule-Based Cap Adjustment. – CESifo Forum, 22, 3, 41-46.
- Pradhan, P.**, Sapkota, T. B., **Kropp, J. P.** (2021): Why food systems transformation is crucial for achieving the SDGs. – Rural21, 55, 3, 10-12.
- Schellnhuber, H. J.** (2021): Paul Josef Crutzen: Ingeniousness and innocence [Retrospective]. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 118, 17, e2104891118. DOI: 10.1073/pnas.2104891118

# Bücher

(Autorenschaft und Herausgeberschaft)

**Rockström, J., Gaffney, O.** (2021): *Breaking Boundaries*, London : DK Publishing.

Terefenko, P., Lubczonek, J., **Paprotny, D.** (Eds.) (2021): *Remote Sensing Applications in Coastal Environment*, (Remote Sensing ; Special Issue), Basel : MDPI, 281 p. DOI: 10.3390/books978-3-0365-2612-6

Weith, T., Barkmann, T., **Gaasch, N.**, Rogga, S., Strauß, C., Zscheischler, J. (Eds.) (2021): *Sustainable Land Management in a European Context*, (Human-Environment Interactions ; 8), Cham : Springer, 347 p. DOI: 10.1007/978-3-030-50841-8

# Buchkapitel

Baum, S., **Conradt, T.**, Dechow, R., Elsasser, P., Englert, H., Ermisch, N., Gömann, H., Goetzke, R., **Gottschalk, P.**, **Gutsch, M.**, Henseler, M., Hoymann, J., Köthke, M., Kreins, P., **Lasch-Born, P.**, **Suckow, F.**, **Wechsung, F.** (2021): *Modellgestützte Wirkungsanalysen ausgewählter Maßnahmen und Strategien*. – In: Gömann, H., Fick, J. (Eds.), *Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel*, Wiesbaden : Springer, 143-297. DOI: 10.1007/978-3-658-18671-5\_4

Berner, R., Yanchuk, S., **Schöll, E.** (2021): *Modelling Power Grids as Pseudoadaptive Networks*. – In: Sultan, V., Veith, E. M. (Eds.), *ENERGY 2021: the Eleventh International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-aware Technologies: May 30th-June 3rd, 2021*, 24-30.

Boetius, A., **Edenhofer, O.**, Messner, D. (2021): *Weichenstellungen für den Klimaschutz in den nächsten zwei Legislaturperioden*. – In: Grimm, V., Lang, J., Messner, D., Meyer, D., Meyer, L., Nikutta, S., Schaible, S. (Eds.), *Deutschlands Neue Agenda: Die Transformation von Wirtschaft und Staat in eine klimaneutrale und digitale Gesellschaft*, Berlin : Econ-Verlag, 17-24.

**Edenhofer, O.** (2021): *Wachstum, Demokratie und internationale Kooperation*. – In: Ferber, M., Kaul, H. (Eds.), *Bekanntnisse zur Verantwortung für die Umwelt*, Reinbek : Lau-Verlag, 153-164.

**Edenhofer, O.** (2021): *Die Klimapolitik wird zum Stresstest für unsere Demokratie*. – In: Mirow, T. (Ed.), *Demokratie in Bedrängnis: Warum wir jetzt gefragt sind*, Hamburg : Murmann Publishers, 67-92.

**Edenhofer, O.** (2021): *Leading from behind: Die Kanzlerin und die hohe Kunst der Klimapolitik*. – In: Schavan, A. (Ed.), *Die hohe Kunst der Politik*, Freiburg : Verlag Herder, 195-206.

**Edenhofer, O., Pahle, M.** (2021): *Eine CO<sub>2</sub>-freie Produktion als Ziel einer nachhaltigen Industrie*. – In: Lemb, W. (Ed.), *Perspektiven eines Industriemodells der Zukunft*, Marburg : Metropolis-Verlag, 41-51.

**Edenhofer, O., Pahle, M.** (2021): *Ein umfassender CO<sub>2</sub>-Preis als Leitinstrument für die europäische Klimapolitik*. – In: Russwurm, S., Lang, J. (Eds.), *Die europäische Alternative*, Freiburg : Verlag Herder, 117-131.

**Hoffmann, R.** (2021): *Umwelt, Klima und Bevölkerung*. – In: Budliger, H. (Ed.), *Demografischer Wandel und Wirtschaft*, (Demografie und Wirtschaft), Berlin : Springer Gabler, 131-148. DOI: 10.1007/978-3-658-31521-4\_9

**Rockström, J., Beringer, A.**, Crona, B., **Gaffney, O.**, **Klingensfeld, D.** (2021): *Planetary Boundaries: A Compass for Investing for the Common Good*. – In: Bril, H., Kell, G., Rasche, A. (Eds.), *Sustainable Investing*, London : Routledge, 109-128.

**Rybski, D., Li, Y.** (2021): *Comparing power laws and exponentials in simulations of gravitational growth*. – In: Reggiani, A., Schintler, L. A., Czamanski, D. A., Patuelli, R. (Eds.), *Handbook on Entropy, Complexity and Spatial Dynamics*, Cheltenham : Edward Elgar, 474-485. DOI: 10.4337/9781839100598.00037

**Sprinz, D. F.** (2021): *Effectiveness*. – In: Morin, J.-F., Orsini, A. (Eds.), *Essential Concepts of Global Environmental Governance*, Abingdon : Routledge, Second Edition, 80-83.

von Loeben, S., **Murken, L.**, Lombardi, N., Baas, S. (2021): *Evaluating Costs and Benefits of Farm-Level Disaster and Climate Risk Management Good Practices*. – In: Leal Filho, W., Luetz, J., Ayal, D. (Eds.), *Handbook of Climate Change Management*, Cham : Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-22759-3\_299-1

Weith, T., Barkmann, T., **Gaasch, N.**, Rogga, S., Strauß, C., Zscheischler, J. (2021): *Conclusions and Research Perspectives*. – In: Weith, T., Barkmann, T., **Gaasch, N.**, Rogga, S., Strauß, C., Zscheischler, J. (Eds.), *Sustainable Land Management in a European Context: Human-Environment Interactions*, (Human-Environment Interactions ; 8), Cham : Springer International Publishing, 339-347. DOI: 10.1007/978-3-030-50841-8\_18

Weith, T., Barkmann, T., **Gaasch, N.**, Rogga, S., Strauß, C., Zscheischler, J. (2021): *A Knowledge-Based European Perspective on Sustainable Land Management: Conceptual Approach and Overview of Chapters*. – In: Weith, T., Barkmann, T., **Gaasch, N.**, Rogga,

S., Strauß, C., Zscheischler, J. (Eds.), *Sustainable Land Management in a European Context*, (Human-Environment Interactions ; 8), Cham : Springer International Publishing, 1-13. DOI: 10.1007/978-3-030-50841-8\_1

# Reports

**Aschenbrenner, P., Chemura, A.**, Jarawura, F., **Habtemariam, L. T.**, **Lüttringhaus, A. S.**, **Murken, L.**, **Röhrig, F.**, **Tomalka, J.**, **Gornott, C.** (2021): *Climate Risk Analysis for Identifying and Weighing Adaptation Strategies for the Agricultural Sector in Northern Ghana – A Study at District Level in the Upper West Region*, A report prepared by the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) for the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH on behalf of the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), 118 p. DOI: 10.48485/pik.2021.001

**Bergmann, J., Vinke, K., Fernandez Palomino, C. A., Gornott, C., Gleixner, S., Laudien, R., Lobanova, A., Ludescher, J., Schellnhuber, H. J.** (2021): *Too much, too little water: Addressing climate risks, no-analog threats and migration in Peru*, (Migration, Environment and Climate Change: Policy Brief Series ; 6, Iss. 1), Geneva : International Organization for Migration, 16 p.

**Bergmann, J., Vinke, K., Fernandez Palomino, C. A., Gornott, C., Gleixner, S., Laudien, R., Lobanova, A., Ludescher, J., Schellnhuber, H. J.** (2021): *Assessing the Evidence: Climate Change and Migration in Peru*, Potsdam / Geneva : Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), and International Organization for Migration (IOM), 238 p.

**Blocher, J., Bergmann, J., Upadhyay, H., Vinke, K.** (2021): *Hot, wet, and deserted: Climate Change and Internal Displacement in India, Peru, and Tanzania*, (Background Paper), Geneva : Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC), 18 p.

**Blocher, J., Vinke, K., Schellnhuber, H. J., Gleixner, S., Gornott, C., George, N. B., Kileli Leyani, E., Laudien, R., Lobanova, A., Ludescher, J., Weisz, H.** (2021): *Assessing the Evidence: Climate Change and Migration in the United Republic of Tanzania*, Geneva : International Organization for Migration, 158 p.

Boetius, A., **Edenhofer, O.**, **Gabrysch, S.**, Gruber, N., Haug, G., Klingensfeld, D., **Rahmstorf, S.**, Reichstein, M., Stocker, T., **Winkelmann, R.** (2021): *Klimawandel: Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten*, (Factsheet), Halle (Saale) : Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V., 31 p.

# Veröffentlichungen 2021

- Buchmann, N., Falkai, P., Foroutan, N., Haddadin, S., Harhoff, D., Jürgens, K., Klie, T., **Lotze-Campen, H.**, Milewski, N., Schallbruch, M., Stokman, A. (2021): Niedersachsen 2030 – Potenziale und Perspektiven. Gutachten der Kommission Niedersachsen 2030, Hannover : Niedersächsische Staatskanzlei, 147 p.
- Donges, J. F., Heitzig, J.** (Eds.) (2021): World Earth Dynamics in the Anthropocene: A Copan Reader 2013 – 2021, Potsdam : Potsdam Institute for Climate Impact Research, 510 p. DOI: 10.48485/pik.2021.004
- Edenhofer, O.**, Eggers, J., Fuss, S., Kalkuhl, M., **Merfort, A.**, Minx, J. C., **Strefler, J.** (2021): Wissensstand zu CO<sub>2</sub>-Entnahmen, Berlin : Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH, 36 p.
- Edenhofer, O., Kosch, M., Pahle, M.**, Zachmann, G. (2021): A whole-economy carbon price for Europe and how to get there, (Policy Contribution ; 06/21), Brussels : Bruegel Think Tank, 13 p.
- Edenhofer, O., Lessmann, K., Tahri, I.** (2021): Asset Pricing and the Carbon Beta of Externalities, (CESifo Working Paper ; 9269), Munich : CESifo GmbH, 44 p.
- Flachsland, C., aus dem Moore, N., Müller, T., Kemmerzell, J., Edmondson, D., Görlach, B., Kalkuhl, M., Knodt, M., Knopf, B., Levi, S., **Luderer, G., Pahle, M.** (2021): Wie die Governance der deutschen Klimapolitik gestärkt werden kann, (ARIADNE Kurzdossier), Potsdam : Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 21 p.
- Fragkos, P., **Pietzcker, R. C., Dias Bleasby Rodrigues, R.** (2021): Decarbonisation Pathways, (Policy Brief), [s. l.] : INNOPATHS Consortium, 9 p.
- Hänsel, M. C., Franks, R. M., Kalkuhl, M., Edenhofer, O.** (2021): Optimal Carbon Taxation and Horizontal Equity: A Welfare-Theoretic Approach with Application to German Household Data, (CESifo Working Paper ; 8931), Munich : CESifo, 51 p.
- Hänsel, M. C., Franks, R. M., Kalkuhl, M., Edenhofer, O.** (2021): Optimal carbon taxation and horizontal equity: A welfare-theoretic approach with application to German household data, (CEPA Discussion Paper ; 28), Potsdam : Universität Potsdam, 51 p. DOI: 10.25932/publishup-49812
- Hennenberg, K., Böttcher, H., Reise, J., Herold, A., Bohn, F., **Gutsch, M., Reyer, C. P. O.** (2021): Interpretation des Klimaschutzgesetzes für die Waldbewirtschaftung verlangt adäquate Datenbasis – Reaktion auf die Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik beim BMEL (vom 22.06.2021), (Working Paper ; 3), Freiburg : Öko-Institut e.V., 28 p.
- Hornberg, C., Kemfert, C., Dornack, C., Köck, W., **Lucht, W.**, Settele, J., Töller, A. E. (2021): Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse, (Stellungnahme), Berlin : Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU), 100 p.
- Hughes, N., **Pietzcker, R. C.** (2021): Decarbonising Electricity, (Policy Brief), [s. l.] : INNOPATHS Consortium, 10 p.
- Kalkuhl, M., Roofls, C., **Edenhofer, O.**, Haywood, L., Heinemann, M., Bekk, A., Flachsland, C., George, J., Held, A., aus dem Moore, N., **Luderer, G.**, Koch, N., Nikodinoska, D., **Pahle, M.**, Schill, W.-P., Amberg, M., Bergmann, T., Meyer, H. (2021): Reformoptionen für ein nachhaltiges Steuer- und Abgabensystem, (ARIADNE Kurzdossier), Potsdam : Potsdam Institute for Climate Impact Research, 23 p.
- Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D.** (Eds.) (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 – Szenarien und Pfade im Modellvergleich, (Ariadne-Report), Potsdam : Potsdam Institute for Climate Impact Research, 359 p. DOI: 10.48485/pik.2021.006
- Mirzabaev, A., Olsson, L., Bezner Kerr, R., **Pradhan, P.**, Guadalupe, M., Ferre, R., **Lotze-Campen, H.** (2021): Climate Change and Food Systems, (Food Systems Summit Brief), [s. l.] : Scientific Group of the UN Food Systems Summit, 18 p.
- Noleppa, S., **Gornott, C., Lüttringhaus, A. S., Hackenberg, I., Gleixner, S.** (2021): El cambio climático y sus efectos en la producción de banano en Colombia, Costa Rica, República Dominicana y Ecuador, (HFFA Research Paper), Bonn : HFFA Research, 200 p.
- Pietzcker, R. C.**, Feuerhahn, J., Haywood, L., Knopf, B., Leukhardt, F., **Luderer, G., Osorio, S., Pahle, M., Dias Bleasby Rodrigues, R., Edenhofer, O.** (2021): Notwendige CO<sub>2</sub>-Preise zum Erreichen des europäischen Klimaziels 2030, (Ariadne-Hintergrund), Potsdam : Potsdam Institute for Climate Impact Research, 20 p. DOI: 10.48485/pik.2021.007
- Pittel, K., Schlacke, S., Bassen, A., Drewes, J., Fischer, M., **Gabrysch, S.**, Hornidge, A.-K., Pörtner, H.-O., Weidenkaff, A. (2021): Über Klimaneutralität hinausdenken, (Politikpapier ; 12), Berlin : Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU).
- Teune, S., Rump, M., Küpper, B., Schatzschneider, J., **Reußwig, F., Lass, W.** (2021): Energiewende? – ja! Aber : Kritik und Konflikte um die Energiewende im Spiegel einer Bevölkerungsbefragung, (DEMOKON – Research Paper ; 2), Potsdam und Mönchengladbach : Potsdam Institute for Climate Impact Research, 23 p. DOI: 10.48485/pik.2021.005
- Tomalka, J.**, Birner, J., Dieye, A. M., **Gleixner, S.**, Harper, A., **Hauf, Y., Hippe, F., Jansen, L., Lange, S., Laudien, R., Rheinbay, J., Vinke, K., von Loeben, S. C., Wesch, S., Zvoltsky, A., Gornott, C.** (2021): Climate Risk Profile: Sahel. A joint publication by the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) and the United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR) under the Predictive Analytics project in support of the United Nations Integrated Strategy for the Sahel (UNISS), Potsdam : Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) and the United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR).
- Upadhyay, H., Vinke, K., Bhardwaj, S., Becker, M. A., Irfan, M., George, N. B., Biella, R., Arumugam, P., Muriki, S. K., Paoletti, E.** (2021): Locked Houses, Fallow Lands: Climate Change and Migration in Uttarakhand, India, Potsdam and New Delhi : Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) and The Energy and Resources Institute (Teri), 106 p.
- Vinke, K., Dröge, S., Gießmann, H.-J., Hamm, C., Kroll, S., Rheinbay, J., Wesch, S.** (2021): Klimawandel und Konflikte. Herausforderungen für die deutsche Außen- und Sicherheitspolitik, Berlin : Beirat der Bundesregierung Zivile Krisenprävention und Friedensförderung, 48 p.
- Troeltzsch, J., McGlade, K., Tarpey, J., Lincke, D., Hinkel, J., Botzen, W., Kuik, O., Ignjacevic, P., Tesselaar, M., van Ginkel, K., Jeuken, A., Bosello, F., Parrado, R., Standardi, G., Bachner, G., Bednar-Friedl, B., Borsky, S., Hennighausen, H., Knittel, N., Preinfalk, E., Raich, J., **Bodirsky, B. L., Stevanović, M.**, Hoff, A., van Vuuren, D., van der Wijst, K.-I. (2021): The Economic Cost of Climate Change in Europe: Report on Policy Results, (COACCH Project Policy Brief ; 5), Lecce : Fondazione Centro Euro-Mediterraneo Sui Cambiamenti Climatici, 20 p.



## Kapitel in Reports

Koller, F., Winkler, C., Liedtke, G., Österle, I., Mocanu, T., Seibert, D., Deniz, Ö., Matteis, T., Bergfeld, M., Sehn, V., Kattelmann, F., Haun, M., **Dirnaichner, A.** (2021): Verkehr. – In: **Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D.** (Eds.), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, (ARIADNE Report), Potsdam : Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 61-86.

Kost, C., Senkpiel, C., Heilig, J., Berneiser, J., **Krekeler, R.**, Blesl, M., Burkhardt, A. (2021): Wärmewende. – In: **Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D.** (Eds.), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, (ARIADNE Report), Potsdam : Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 87-110.

**Luderer, G., Günther, C., Sörgel, D.**, Kost, C., Blesl, M., Haun, M., Kattelmann, F., **Pietzcker, R. C., Rottoli, M., Schreyer, F.**, Sehn, V., Sievers, L. (2021): Gesamtsystemtransformation und Emissionspfade zur Klimaneutralität. – In: **Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D.** (Eds.), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, (ARIADNE Report), Potsdam : Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 17-60.

Pflüger, B., **Ueckerdt, F., Odenweller, A.** (2021): Wasserstoff & E-Fuels. – In: **Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D.** (Eds.), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, (ARIADNE Report), Potsdam : Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 175-198.

**Rauner, S., Siala, K.**, Schlichenmaier, S., **Dirnaichner, A.**, Bauer, C., von Laar, T., Matthias, V., Naegler, T. (2021): Umweltwirkungen. – In: **Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D.** (Eds.), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, (ARIADNE Report), Potsdam : Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 251-278.

**Reyer, C. P. O.** (2021): Climate Change. – In: Clark, D. (Ed.), Forest Sector Outlook Study, 2020-2040, Geneva : United Nations Economic Commission for Europe, Forestry and Timber Section, 27-47.

**Strefler, J., Merfort, A.**, Fuss, S., Kalkuhl, M., Gruner, F. (2021): CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre. – In: **Luderer, G., Kost, C., Sörgel, D.** (Eds.), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, (ARIADNE Report), Potsdam : Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 222-250.

## Datenpublikationen

**Brugger, J., Feulner, G., Hofmann, M., Petri, S.** (2021): Model data for simulations of ocean biogeochemistry after the Chicxulub impact. DOI: 10.5880/PIK.2020.008

**Brugger, J., Feulner, G., Petri, S.** (2021): Model output for aerosol-induced cooling after the Chicxulub impact. DOI: 10.5880/PIK.2021.002

**Drüke, M.** (2021): Output data for the GMD publication gmd-2020-436. DOI: 10.5281/zenodo.4683086

**Fernandez Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, W., Aybar, C., Bronstert, A.** (2021): Rain for Peru and Ecuador (RAIN4PE). V. 1.0. DOI: 10.5880/pik.2020.010

Karger, D. N., **Lange, S.**, Hari, C., **Reyer, C. P. O.**, Zimmermann, N. E. (2021): CHELSA-W5E5 v1.0: W5E5 v1.0 downscaled with CHELSA v2.0. DOI: 10.48364/ISIMIP.836809

**Landwehrs, J. P., Feulner, G., Petri, S.**, Sames, B., Wagreich, M. (2021): Data from Climate Model Ensemble Simulations for the Mesozoic Climate Evolution. V. 2021-02-04. DOI: 10.5880/PIK.2020.009

**Lange, S., Büchner, M.** (2021): ISIMIP3b bias-adjusted atmospheric climate input data (v1.1). DOI: 10.48364/ISIMIP.842396.1

**Lange, S., Menz, C., Gleixner, S.**, Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Schmied, H. M., Hersbach, H., Buontempo, C., Cagnazzo, C. (2021): WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5 v2.0). DOI: 10.48364/ISIMIP.342217

**Luderer, G., Madeddu, S., Merfort, L., Ueckerdt, F., Pehl, M., Pietzcker, R. C., Rottoli, M., Schreyer, F., Baumstark, L.** (2021): Impact of declining renewable energy costs on electrification in low emission scenarios – Scenario Data. DOI: 10.5281/zenodo.5546598

**Pflüger, M., Gütschow, J.** (2021): UNFCCC country-submitted greenhouse gas emissions data until 2021-12-03. DOI: 10.5281/zenodo.5752337

**Pflüger, M., Gütschow, J.** (2021): UNFCCC country-submitted greenhouse gas emissions data until 2021-06-28. DOI: 10.5281/zenodo.5042165

## Softwarepublikationen

**Drüke, M., Petri, S., von Bloh, W., Schaphoff, S.** (2021): Model code for the GMD publication gmd-2020-436 (1.0), Genf : CERN / Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.4700270

**Pflüger, M., Gieseke, R., Gütschow, J.** (2021): pik-primap/climate\_categories: climate\_categories Version 0.6.3, Geneva : CERN / zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.5649245

**Pflüger, M., Gütschow, J.** (2021): pik-primap/primap2: PRIMAP2 Version 0.7.1, Geneva : CERN / Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.5139583

# Impressum

**Herausgeber**

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK) · Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft  
Postfach 60 12 03 · 14412 Potsdam · Deutschland  
Tel +49 331 288-2500 · Fax +49 331 288-2600 · [www.pik-potsdam.de](http://www.pik-potsdam.de)

**Redaktion** Ina Baum, Ingo Bräuer, Alison Schlums, Jonas Viering

**Gestaltung** Dirk Biermann

**Druck** K+L PrintMedia Berlin · Klimaneutral gedruckt



QR-Codes wie dieser enthalten Links zu Internetseiten mit weiteren Informationen. Diese Codes lassen sich mit Smartphones oder Tablet-PCs über kostenlose Apps (Barcode Scanner) lesen. Wie das funktioniert? Installieren und starten Sie eine solche App, richten Sie dann die Kamera Ihres Gerätes auf den abgebildeten QR-Code. Sobald der Code erkannt wird, zeigt Ihnen die App den entsprechenden Inhalt an – etwa eine Webseite oder Videos. In der Digitalversion des Sachberichtes (als PDF) sind die QR-Codes auch direkt per Mausclick aktivierbar.



**Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e.V.**  
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

**Besucheradresse** Telegrafenberg A 31 · 14473 Potsdam

**Postadresse** Postfach 60 12 03 · 14473 Potsdam

**Telefon** +49 331 288 2500

**E-Mail** [presse@pik-potsdam.de](mailto:presse@pik-potsdam.de)

**Internet** [www.pik-potsdam.de](http://www.pik-potsdam.de)

