

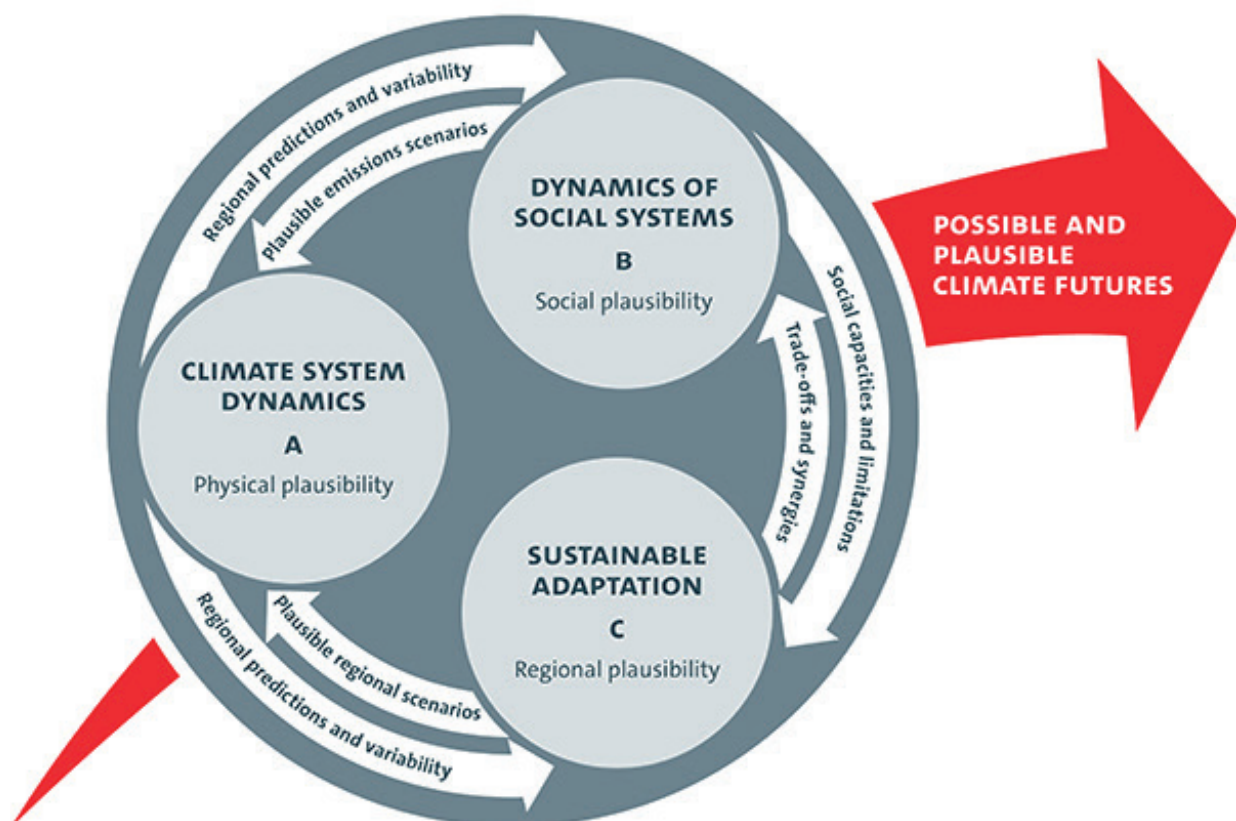
CLICCS – ein Exzellenzcluster für die Klimaforschung – Welche Klimazukünfte sind möglich und welche sind plausibel?

Das Pariser Klimaabkommen von 2015 hat anerkannt, dass sich die Welt erwärmt und vor allem der Mensch hierfür verantwortlich ist. Dies setzt neue entscheidende Impulse — nicht nur für die Klimapolitik, sondern auch für die Klimaforschung. So entstehen neue Fragen, die der Exzellenzcluster „Climate, Climatic Change, and Society“ (CLICCS) an der Universität Hamburg seit 2019 in einem langfristigen Forschungsprogramm bearbeitet. CLICCS spannt einen großen thematischen Bogen von der Grundlagenforschung zur Dynamik des Klimasystems und zu sozialen Dynamiken bis hin zur transdisziplinären Untersuchung der Wechselwirkungen von Menschen und Umwelt.

Das Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) ist neben dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG) und dem Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) der wichtigste außeruniversitäre Partner.

Ziele und Forschung in CLICCS

CLICCS erforscht den Klimawandel in einzigartiger Breite: Wie ändert sich das Klima und mit ihm die Gesellschaft, die wiederum auf das Klima zurückwirkt? Indem die Forschenden diese Veränderungen verstehen — einschließlich der gesellschaftlichen Anpassungen — lassen sich vorstellbare Klimazukünfte fundiert bewerten. Die übergeordnete Frage dabei lautet: Welche Klimazukünfte sind möglich — und welche sind plausibel?



CLICCS-Themen und Austausch des Wissens (Abb.: Universität Hamburg)

Das Ziel ist, Einschätzungen zu dieser übergeordneten Frage zu entwickeln, indem Klimaveränderungen und soziale Dynamiken in Abhängigkeit voneinander verstanden werden. Es sollen die sozialen Voraussetzungen für eine tiefgreifende Dekarbonisierung, also die Abkehr der Gesellschaft von der Nutzung kohlenstoffhaltiger Energieträger, identifiziert werden, die nötig ist, um die Pariser Klimaziele zu erreichen. In CLICCS sollen in sich konsistente Szenarien des zukünftigen Klimas entwickelt werden, die das neueste prozessbasierte Wissen über natürliche Klimaschwankungen wie auch über soziale Dynamiken berücksichtigen, und es werden Fallstudien zu nachhaltigen Anpassungsszenarien erstellt. CLICCS wird ermitteln, wie sich Extremereignisse und nicht reduzierbare (zufällige) Unsicherheiten, die sich aus internen Klimaschwankungen ergeben, auf Entscheidungsprozesse und klima-/sozioökonomische Wechselwirkungen auswirken. Ein zentrales Syntheseprojekt wird die Ergebnisse zu möglichen und plausiblen Klimazukünften zu einem jährlichen ‚Hamburg Climate Futures Outlook‘ zusammenfassen. Hierfür werden auch die Ergebnisse anderer Institutionen verwendet werden. Die Ergebnisse helfen zu beurteilen, welche künftigen Ko-Entwicklungen von Klimawandel und Gesellschaft möglich und plausibel sind.

Beispiele aus der CLICCS-Forschung am MPI-M

Prof. Jochem Marotzke, Direktor am MPI-M, ist Mitglied des Vorstands und Stellvertretender Sprecher von CLICCS. Er leitet gemeinsam mit Prof. Inga Hense von der Universität Hamburg den Themenbereich A „Klimasensitivität und Variabilität im Klimasystem“. Die Gruppenleiter*innen Prof. Victor Brovkin, Dr. Peter Korn und Dr. Tatiana Ilyina sowie die Direktoren Prof. Bjorn Stevens und Prof. Martin Claußen sind führend in CLICCS-Arbeitsbereichen beteiligt. Das MPI-M ist in den Themenbereichen A und B (Klimabezogene Dynamiken sozialer Systeme) beteiligt. Themenbereich A stellt die naturwissenschaftlichen Grundlagen bereit, um Dynamiken des Klimasystems zu verstehen, seine räumlichen und zeitlichen Schwankungen, Klimaextreme sowie den sich abzeichnenden beziehungsweise den noch zu erwartenden Klimawandel. Themenbereich B erforscht die Dynamiken in sozialen Systemen, die mit dem Klima im Zusammenhang stehen beziehungsweise durch den Klimawandel angetrieben werden. Dieser Themenbereich schafft die sozialwissenschaftlichen Grundlagen für die Konstruktion plausibler Klimaszenarien.

Exemplarisch werden im Folgenden die Arbeiten von Dr. Ann Kristin Naumann (Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“) sowie Dr. Chao Li und Dr. Dian Putrasahan (Abteilung „Ozean im Erdsystem“) näher beschrieben.

Gemeinsame CLICCS Arbeitsgruppe „Antriebe tropischer Zirkulation“ (Ann Kristin Naumann) – Projekt A2 (Wolken und Zirkulation in den Tropen)

Die gemeinsame CLICCS-Arbeitsgruppe zu den Antrieben tropischer Zirkulation, geleitet von Dr. Ann Kristin Naumann, untersucht den tropischen Wärmehaushalt, dessen Verbindung zum Zirkulationssystem und wie beide auf die Klimaerwärmung reagieren. Dabei konzentriert sich die Gruppe auf das Prozessverständnis und die Wechselwirkungen zwischen der tropischen Zirkulation und ihren verschiedenen diabatischen Antrieben wie Strahlung, Mikrophysik und Bodenflüsse. Sie untersucht in Zusammenarbeit mit dem Meteorologischen Institut der Universität Hamburg das Klimasystem mit Modellen im Kilometermaßstab und die herausfordernde Frage, inwieweit mikrophysikalische Prozesse den Energiehaushalt der Tropen und seine Empfindlichkeit gegenüber Störungen beeinflussen. Selbst auf Hektometerskalen werden diese Prozesse nur grob dargestellt. Das wirft die Frage auf, ob die grobe Darstellung der Prozesse im Modell eine entscheidende Rolle spielt, und wenn ja, inwieweit die Darstellung mithilfe von Beobachtungen verbessert werden kann.

Globale konvektionsauflösende Modelle gehen mit methodischen Herausforderungen einher: wegen der hohen Kosten für die Simulationen werden neue Methoden zur Erforschung der Empfindlichkeiten mit nur sehr kurzen Läufen benötigt. Um Modelle und Daten zusammenzuführen, verfeinerte die Gruppe um Naumann eine Methode, die auf einer statistischen Darstellung der Feuchtigkeitsverteilung basiert, um Simulationen im Kilometermaßstab und Beobachtungen aus der Luft fair miteinander vergleichen zu können (Naumann und Kiemle, 2020). In einem laufenden Projekt wird diese Methode angewendet, um die Verteilung der Feuchtigkeit in der oberen Troposphäre und deren Einfluss auf den Energiehaushalt in verschiedenen globalen konvektionsauflösenden Modellen zu vergleichen, die auf einmonatigen Simulationen basieren.

Zusätzlich zu dem Versuch, Modelle mit Beobachtungen zu verknüpfen, haben die Gruppenmitglieder auch Erfahrung in der Entwicklung konzeptueller Modelle zur Interpretation komplexerer Zusammenhänge. Durch die Entwicklung und Anwendung eines konzeptionellen Modells für eine flache, konvektive Grenzschicht konnten sie zeigen, dass räumliche Unterschiede in den Erwärmungsraten in der unteren Atmosphäre flache Zirkulationen antreiben, die zur Organisation flacher Konvektion auf der Mesoskala beitragen (Naumann et al., 2019). Aufbauend auf der Kombination von konvektionsauflösenden Modellen mit Beobachtungen und konzeptionellen Ansätzen versucht die Gruppe besser zu verstehen, wie viel des Wärmebudgets der Tropen durch Zirkulation und Dynamik im Vergleich zu mikrophysikalischen Prozessen gesteuert wird.

Ausblick: In globalen Modellen, die die Konvektion explizit auflösen anstatt sie zu parametrisieren, sind die mikrophysikalischen Prozesse nun grundlegend mit ihren steuernden Faktoren, zum Beispiel der Zirkulation, verbunden. Während in konventionellen Klimamodellen die konvektive Parametrisierung eine der Hauptquellen von Unsicherheiten ist (und ein beliebter Parameter für Nachregelungen — Tuning — ist), könnte dies in globalen konvektionsauflösenden Modellen für die mikrophysikalische Parametrisierung gelten. Zurzeit untersucht die Gruppe von Naumann, wie sich Darstellung der mikrophysikalischen Prozesse auf die Albedo, die Strahlungsflüsse und den Wärmehaushalt im Allgemeinen auswirken. Wie sehr verfälschen wir den tropischen Wärmehaushalt mit einer (zu groben) Darstellung der Mikrophysik? Wie viel können wir gewinnen, wenn wir eine ausgefeiltere (und damit auch teurere) Darstellung der Mikrophysik verwenden? Darüber hinaus stellt die Gruppe Modellergebnisse Beobachtungsdaten gegenüber, zunehmend aus der EUREC4A-Messkampagne, die im Januar/Februar 2020 auf und um Barbados stattgefunden hat. Hier konzentrieren sich die Forschenden auf Niederschlag aus flachen Passatwolken und darauf, wie Regenverteilung und -intensität mit der räumlichen Anordnung, der Größe und dem Lebenszyklus von Niederschlagsobjekten sowohl in Beobachtungen als auch in Modellen zusammenhängen.

Identifikation plausibler Projektionen aus modernsten Klimamodellen (Dian Putrasahan) – Projekt A6 (Variabilität und Vorhersagbarkeit im Klimawandel)

Nur in Ansätzen ist bisher bekannt, wie sich die Variabilität des Klimas und seine Vorhersagbarkeit durch die globale Erwärmung ändern werden. Doch ohne dieses Wissen können die Forschenden auch das Maß der letztlich bleibenden Unsicherheit nicht abschätzen, die sich stets aus natürlichen Klimaschwankungen ergeben wird. Entscheidend ist, welche Rolle die Wechselwirkungen zwischen Prozessen auf kleinen und großen Skalen für die Variabilität, für die Vorhersehbarkeit und das Auftreten von Extremen spielen. Alle diese Aspekte beeinflussen stark die Beziehung zwischen Menschen und Umwelt sowie soziale Dynamiken.

Geleitet von der übergreifenden Frage „Welche Klimazukünfte sind möglich und welche sind plausibel?“, arbeitet Dr. Dian Putrasahan am MPI-M daran, plausible Projektionen aus den verfügbaren möglichen Projektionen der modernsten Klimamodelle zu identifizieren. Dies geschieht durch die Auflösung der relevanten

kleinskaligen Prozesse, nämlich Ozeanwirbel und Konvektion, die zur Modellunsicherheit von Klimaprojektionen beitragen. Die Schwierigkeit besteht darin, die plausiblen physikalischen Mechanismen zu identifizieren, über die diese kleinskaligen Prozesse die Klimaprojektionen beeinflussen. Kleinskalige Prozesse können die Klimareaktion und -variabilität in einem transienten Klima durch Skalenwechselwirkungen beeinflussen. Beispiele sind die Wärme- und Kohlenstoffaufnahme durch Ozeanwirbel oder die Veränderung des diabatischen Erwärmungsprofils durch im Modell aufgelöste Konvektion. Bisherige Klimamodelle lösen die genannten Prozesse nicht auf, sie sind vielmehr parametrisiert. Daher erfassen sie möglicherweise die Klimareaktion oder Variabilitätsänderungen nicht angemessen, die hochauflösende Modelle erfassen würden. Um die plausiblen physikalischen Mechanismen zu identifizieren, die mit diesen kleinskaligen Prozessen zusammenhängen, setzt Putrasahan sowohl Klimaänderungssimulationen der Erdsystemmodelle MPI-ESM und ICON-ESM mit einem wirbelauflösenden Ozean als auch in zeitlichen Abschnitten konvektionsauflösende ICON-A-Läufe ein.

In dieser frühen Phase von CLICCS werden derzeit neue Konfigurationen des ICON-ESM vorbereitet, mit der Absicht, jahrhundertelange Läufe durchzuführen, um die Reaktion des Klimas zu verstehen, wenn Prozesse in kleinerem Maßstab aufgelöst werden. Zu diesem Zweck wird auch die vertikale Auflösung des Ozeans erhöht, um die Rolle der vertikalen Prozesse auf die Klimavariabilität zu untersuchen. Parallel werden Simulationen mit dem Atmosphärenmodell von ICON (ICON-A) mit unterschiedlichen Auflösungen durchgeführt, um die Rolle der aufgelösten Konvektion auf das diabatische Erwärmungsprofil der Atmosphäre in einer sich erwärmenden Welt zu untersuchen. Das übergreifende Hauptziel ist die Quantifizierung bzw. das Verständnis des Einflusses von aufgelösten gegenüber parametrisierten Prozessen auf die Klimavariabilität/Reaktion in einer sich vorübergehend erwärmenden Welt zu erlangen.

Untersuchung plausibler Minderungsszenarien (Chao Li) – Projekt B5 (Mit Unsicherheiten und Schwankungen im Klimasystem umgehen)

Der Klimawandel erfolgt über längere Zeiträume. Dadurch können gesellschaftliche Akteure, zum Beispiel aus Politik und Wirtschaft, häufig nicht direkt auf tatsächliche Erfahrungen mit Klimaereignissen zurückgreifen und darauf reagieren. Sie müssen sich auf wissenschaftliche Prognosen verlassen, welche Veränderungen im Klimawandel wahrscheinlich sind. Nicht nur das globale Klimasystem variiert räumlich und zeitlich stark, auch die Sozialsysteme, die wiederum von anderen Politikfeldern beeinflusst werden, unterscheiden sich. So sind jeweils unterschiedliche gesellschaftliche Reaktionen auf Schwankungen und Unsicherheiten im Klima und in den sozialen Systemen möglich. Um eine empirisch fundierte Grundlage dafür zu schaffen, welche Klimazukünfte plausibel sind, müssen diese Prozesse untersucht werden. Die Aufgabe des MPI-M-Wissenschaftlers Dr. Chao Li und seiner Mitforschenden besteht darin, zu untersuchen, wie Unsicherheiten und Schwankungen in natürlichen und sozialen Prozessen zusammenwirken. Hierfür entwickeln sie prototypisch plausiblere Szenarien der Klimazukunft.

Die Entscheidungsfindung im Klimawandel war bisher durch große Unsicherheiten in zukünftigen Klimaprojektionen belastet. Die Unsicherheiten der zukünftigen Klimaprojektionen ergeben sich aus reduzierbaren Unsicherheiten des externen Antriebs und der Klimasensitivität sowie aus nicht reduzierbaren Unsicherheiten der internen Klimavariabilität im physikalischen Teil und in der Kohlenstoffaufnahme im Erdsystem. Die reduzierbaren Unsicherheiten werden in integrierten Bewertungsmodellen für den Vorschlag von Minderungsszenarien berücksichtigt, nicht aber die irreduziblen Unsicherheiten. Die räumliche und zeitliche Variabilität innerhalb des Klimasystems wird von der Variabilität innerhalb des Sozialsystems begleitet, die sich aus der Dynamik in anderen Politikfeldern ergibt.

Die Forschenden werden untersuchen, wie klimarelevante Variabilität und Unsicherheit in wirtschaftlichen Schäden sichtbar wird. Die Zukunftsszenarien zur Minderung von Kohlenstoffemissionen, wie z. B. repräsentative Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways - RCPs), werden in der Regel mit Hilfe eines integrierten Bewertungsmodellrahmens entwickelt, wobei nach dem effizientesten und kostengünstigsten Weg zur Emissionsminderung gesucht wird. Die wirtschaftlichen Schäden, die mit dem Klimawandel in Zusammenhang stehen, sind in den Entwicklungsprozessen der zukünftigen Minderungsszenarien bislang kaum berücksichtigt worden. Li und Mitforschende werden den integrierten Bewertungsrahmen durch die Einbeziehung dieser klimabedingten wirtschaftlichen Schäden weiterentwickeln. Der neue Rahmen wird es ermöglichen, zu untersuchen, wie die zugehörigen politischen Entscheidungen von der wahrgenommenen und erfahrenen Variabilität und weiteren Unsicherheiten des Klimasystems abhängen. Die Forschenden werden prototypische Klimaszenarien konstruieren und untersuchen, die explizit die soziale Dynamik einbeziehen und damit sowohl für die Gesellschaft informativ sind als auch mit unserem Verständnis von sozialen und natürlichen Prozessen übereinstimmen.

Li und seine Mitforschenden überprüfen und bewerten auch die Plausibilität der Szenarien mit extrem niedrigen Emissionen des 1,5°C-Ziel-Szenarios und untersuchen plausiblere zukünftige Minderungsszenarien, um das im Pariser Abkommen vereinbarte 1,5°C-Ziel zu erreichen. Aus den meisten früheren Studien wurden negative Emissionstechnologien abgeleitet, um das vereinbarte 1,5°C-Ziel zu erreichen. Die Durchführbarkeit der Forderung nach Technologien mit negativen Emissionen steht jedoch im Konflikt mit dem Schutz der biologischen Vielfalt in der Landnutzung und wird daher stark diskutiert. Darüber hinaus ist eine Verdoppelung der Minderungskosten erforderlich, wenn das Ziel von 2°C auf ein 1,5°C-Ziel verschärft wird. Angesichts dieser früheren Erkenntnisse ist es kaum plausibel, dass die globale Jahrestemperatur die 1,5°C Erwärmung nie übersteigen wird. Li und seine Co-Autoren haben kürzlich eine Option für ein optimales Temperaturüberschreitungsprofil gefunden, indem sie die Begrenzung des globalen Meeresspiegelanstiegs als kostengünstigeres Klimaziel beschreiben (Li et al., 2020). Sie finden heraus, dass ein globales Ziel für den Meeresspiegelanstieg eine nachhaltigere und kosteneffizientere Lösung ist, um sowohl den kurz- als auch den langfristigen Klimawandel zu begrenzen. Dies ist vor allem für Interessengruppen relevant, denen der Meeresspiegelanstieg unter allen Wirkungskategorien der globalen Erwärmung am wichtigsten ist, im Vergleich zu einem Temperaturziel mit dem gleichen Meeresspiegelanstieg bis 2200. Sie finden auch heraus, dass ein Begrenzungsziel für den Meeresspiegelanstieg eine rationale Rechtfertigung für eine bestimmte Temperaturüberschreitung durch eine physikalische Beschränkung liefert, anstatt eine willkürlich definierte Überschreitung des Temperaturbereichs als akzeptabel zu betrachten.

Publikationen:

Li, C., Held, H., Hokamp, S. & Marotzke, J. (2020) Optimal temperature overshoot profile found by limiting global sea level rise as a lower-cost climate target. *Science Advances*, 6: eaaw9490. [doi:10.1126/sciadv.aaw9490](https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw9490)

Naumann, A. K., & Kiemle, C. (2020) The vertical structure and spatial variability of lower tropospheric water vapor and clouds in the trades. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 6129–6145. [doi:10.5194/acp-20-6129-2020](https://doi.org/10.5194/acp-20-6129-2020).

Naumann, A. K., Stevens, B., and Hohenegger, C. (2019) A moist conceptual model for the boundary layer structure and radiatively driven shallow circulations in the trades, *J. Atmos. Sci.*, 76, 1289–1306, [doi.10.1175/JAS-D-18-0226.1](https://doi.org/10.1175/JAS-D-18-0226.1).

Mehr Informationen:

Quelle: CLICCS-Webseite der Universität Hamburg: <https://www.cliccs.uni-hamburg.de/de/about-cliccs.html>

Gemeinsame CLICCS-Arbeitsgruppe „Antriebe tropischer Zirkulation“: <https://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/atmosphaere-im-erdsystem/arbeitsgruppen/antriebe-tropischer-zirkulation/>

Kontakte:

Dr. Chao Li
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Tel.: 040 41173 458
E-Mail: chao.li@mpimet.mpg.de

Dr. Ann Kristin Naumann
Max-Planck-Institut für Meteorologie und Universität Hamburg
Tel.: 040 41173 239
E-Mail: ann-kristin.naumann@mpimet.mpg.de

Dr. Dian Putrasahan
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Tel.: 040 41173 468
E-Mail: dian.putrasahan@mpimet.mpg.de