

## Forschungsschwerpunkte – Sebastian Sippel

Extreme Wetter- und Klimaereignisse (hier zusammengefasst als „Klimaextreme“) sind ein zentraler Aspekt klimatischer Variabilität, die jedoch häufig negative Auswirkungen auf sozio-ökonomische und ökologische Systeme haben. Beispielsweise können Hitzewellen in Verbindung mit Trockenheit die Funktionsweise terrestrischer Ökosysteme nachhaltig beeinträchtigen und in einigen Fällen sogar die Netto-Kohlenstoffaufnahme einiger Jahre zunichtemachen, wie es im Sommer 2003 in Mitteleuropa der Fall war. In den letzten Jahren und Jahrzehnten wurden Veränderungen in der Intensität wie auch Häufigkeit von Klimaextremen, wie beispielsweise Hitze- oder Kältewellen und Starkniederschläge, festgestellt. Diese Veränderungen werden sich voraussichtlich im 21. Jahrhundert weiterentwickeln, wobei unklar ist, ob und in welcher Weise unsere ökologischen und sozioökonomischen Systeme diese Ereignisse in Zukunft bewältigen können.

Das wissenschaftliche Verständnis von Klimaextremen und den Prozessen, die Auswirkungen in ökologischen und sozioökonomischen Systemen verursachen, ist derzeit unvollständig. Die Auswirkungen von Klimaextremen variieren stark je nach Art und räumlich-zeitlicher Struktur des jeweiligen Ereignisses und werden außerdem durch die Vulnerabilität und Exposition des jeweiligen Systems beeinflusst. Deshalb ist die Quantifizierung von Klimaextremen und deren Auswirkungen wie auch die Zuordnung zu deren jeweiligen Ursachen oft nicht eindeutig und im Allgemeinen unsicher. Diese Thematik stellt somit ein Forschungsgebiet mit hoher gesellschaftlicher Relevanz dar.

Meine Interessen- und Forschungsschwerpunkte liegen auf methodisch-analytischen Fragestellungen zur Analyse von Klimaextremen und deren Auswirkungen auf terrestrische Ökosysteme, um ein verbessertes wissenschaftliches Verständnis dieser Thematik zu erzielen. Im Einzelnen untersuche ich innerhalb meiner Dissertation (1) statistisch-methodische Fragestellungen zur Quantifizierung von Klimaextremen, (2) Ansätze, die verbesserte prozessorientierte Modellsimulationen mithilfe beobachtungsbasierter Eigenschaften des Klimasystems ermöglichen, um (3) eine umfassende Zuordnung der Ökosystemauswirkungen von Klimaextremen zu deren Ursachen vorzunehmen.

### *1. Statistische Quantifizierung von Extremen in beobachteten und simulierten Datensätzen*

Die Analyse und Quantifizierung von Extremen in räumlich-zeitlichen Datensätzen erfordert robuste statistische Methoden. Daher untersucht diese Dissertation sowohl empirisch als auch analytisch die statistische Methodik, um in Beobachtungsdatensätzen Veränderungen in Temperatur- und Niederschlagsextremen zu diagnostizieren. Diese Analysen zeigen, dass konventionelle statistische Methoden, denen eine Standardisierung auf Basis einer Referenzperiode zugrunde liegt, erhebliche Fehler in räumlich aggregierten Schätzungen von Extremereignissen hervorrufen können. Zum Beispiel würde die Auftretenswahrscheinlichkeit von Extremen, die in standardisierten Daten zwei Standardabweichungen überschreiten (also etwa 2,3 Prozent der Gesamt ereignisse), um 48,2 Prozent außerhalb eines gegebenen 30-jährigen Referenzzeitraums in unabhängigen und identisch normalverteilten Daten überschätzt werden. Eine analytische Korrektur dieses statistischen Artefakts wird in der Dissertation hergeleitet.

## 2. Verbesserung von Modellsimulationen zur Analyse von Klimaextremen und Ökosystemauswirkungen durch beobachtungsbasierte Filter<sup>1</sup>

Klimaextreme treten definitionsgemäß in zeitlich und räumlich begrenzten Beobachtungsdatensätzen selten auf. Deshalb stellen ensemblebasierte Modellsimulationen (also eine „Schar“ von Modellläufen mit leicht veränderten Bedingungen) ein wichtiges komplementäres Instrument dar, um Klimaextreme aus statistischer Perspektive zu untersuchen. Allerdings zeigen Modellsimulationen häufig systematische Fehler in simulierten Klimavariablen, die eine direkte Anwendung zur Quantifizierung und ursächlichen Zuordnung von Klimaextremen und deren Ökosystemauswirkungen erschweren. Deshalb entwickle und evaluiere ich in der Dissertation Methoden, die eine Filterung von Ensemblesimulationen mithilfe beobachtungsbasierter Diagnostiken (zum Beispiel Diagnostiken von Ökosystem-Atmosphäre-Interaktionen), ermöglichen. Die Anwendung dieser Filter reduziert systematische Fehler in mehreren Variablen und eröffnet so eine neue Möglichkeit zur systematischen Fehlerkorrektur für Simulationen von Klimafolgen oder Analysen von Klimaextremen.

## 3. Extremereignisse in terrestrischen Ökosystemen: Ursachen und Zuordnung

Die Zuordnung von Extremereignissen in der Funktionsweise terrestrischer Ökosysteme zu klimatischen Ursachen ist oft nicht direkt möglich, da sich solche Analysen häufig auf kleine Stichprobengrößen oder sogar einzelne Ereignisse in Beobachtungen stützen. Deshalb generiere ich in der Dissertation Ensemblesimulationen des Klima-Ökosystem-Wirkungsgefüges mithilfe eines Ökosystemmodells, die (a) zur systematischen Untersuchung von Veränderungen in Intensität und Häufigkeit von simulierten Extremen der Ökosystemproduktivität (EÖP), und zur Zuordnung der jeweiligen Ursachen verwendet werden können und die (b) Rückschlüsse über das zeitliche und saisonale Zusammenwirken von EÖP in der terrestrischen Biosphäre zulassen. Somit wird eine auf die Ökosystemauswirkungen von Klimaextremen fokussierte Perspektive eingenommen. Eine Analyse dieser Simulationen weist auf saisonal gegenläufige Trends in der Intensität von simulierten EÖP in Europa hin, das heißt, EÖP im Frühjahr zeigen robuste Trends hin zu erhöhter Ökosystemkohlenstoffaufnahme, während EÖP im Sommer überwiegend negative (das heißt höhere Netto-Kohlenstofffreisetzung unter Trockenheit und Hitze im Sommer) oder neutrale Trends aufweisen. Diese Analysen illustrieren außerdem, dass Ökosysteminteraktionen zwischen Frühling und Sommer, und somit der Zeitpunkt des Auftretens von Klimaextremen, eine wichtige Rolle für EÖP in Europa einnehmen. Diese Wechselwirkungen beinhalten sowohl die Teilkompensation von dürre- oder hitzeinduzierten Kohlenstoffverlusten im Sommer aufgrund einer erhöhten Kohlenstoffaufnahme durch höhere Temperaturen im vorangegangenen Frühling als auch den gegensätzlichen Effekt, dass eine aus Bedingungen im Frühling resultierende reduzierte Bodenfeuchtigkeit die Ökosystemkohlenstoffverluste im Sommer verschärfen kann.

Insgesamt legt die Dissertation einen umfassenden methodischen Ansatz für die systematische Quantifizierung und ursächliche Zuordnung von Klimaextremen und deren Auswirkungen auf Ökosystem-Atmosphäre-Interaktionen vor, der auf einer Analyse und Integration von Beobachtungen und Ensemblesimulationen basiert. Im Hauptergebnis zeigt die Dissertation, dass eine umfangreiche Untersuchung von (1) statistischen Methoden zur Quantifizierung von Klimaextremen und (2) die Anwendung von beobachtungsbasierten Diagnostiken als Filter für

---

<sup>1</sup> Hier: „Observation-based Constraints“ aus dem Englischen sinngemäß als „Filter“ übersetzt

Ensemblesimulationen entscheidend zu einem besseren Verständnis sowie zur Quantifizierung von Klimaextremen und deren Ökosystemauswirkungen beitragen kann. Weiterhin eröffnet die systematische Interpretation von Klima-Ökosystem-Ensemblesimulationen neue Perspektiven auf Prozesse und Wechselwirkungen in der Funktionsweise terrestrischer Ökosysteme unter Klimaextremen.