



POTSDAM-INSTITUT FÜR
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK)

Förderkennzeichen: 03IS219B

Vorhabensbezeichnung

PROGRESS

Potsdam Research Cluster for Georisk Analysis,
Environmental Change and Sustainability

Verbundprojekt: Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern

Teilprojekte

A3: Extremereignisse in Geoarchiven (TP Dr. Marwan)

B2: Automatisierte Datenanalyse (TP Prof. Dr. Kurths)

D1: Systemanalytische Ansätze in der Risikobewertung (TP Prof. Dr. Kropp/Prof. Dr. Held)

Bewilligungszeitraum: 01.11.2009-31.10.2014

Ausführende Stelle:

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK)

Projektkoordinator (PIK): Prof. Dr. Jürgen Kropp

Potsdam, Juni 2015 (Überarbeitet April 2016)

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzdarstellung	5
I.1	Aufgabenstellung	5
I.1.1	Teilprojekt A3	5
I.1.2	Teilprojekt B2	5
I.1.3	Teilprojekt D1	6
I.2	Voraussetzungen unter denen die Vorhaben durchgeführt wurden	6
I.2.1	Teilprojekt A3	6
I.2.2	Teilprojekt B2	7
I.2.3	Teilprojekt D1	7
I.3	Planung und Ablauf der Vorhaben	7
I.3.1	Teilprojekt A3	7
I.3.2	Teilprojekt B2	9
I.3.3	Teilprojekt D1	10
I.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	14
I.4.1	Teilprojekt A3	14
I.4.2	Teilprojekt B2	14
I.4.3	Teilprojekt D1	15
I.4.4	Referenzen	17
I.5	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	19
I.6	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste (Auswahl)	19
I.7	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	19
I.7.1	Teilprojekt A3	19
I.7.2	Teilprojekt B2	19
I.7.3	Teilprojekt D1	20
II.	Eingehende Darstellung	20
II.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	20
II.1.1	Teilprojekt A3	20
II.1.1.1.	Umgang mit Datierungsungenauigkeiten	20
II.1.1.2.	Methoden für nicht-äquidistant abgetasteten Zeitreihen	21
II.1.1.3.	Bivariate Rekurrenzanalysen	22
II.1.1.4.	Rekurrenz und Netzwerke	22
II.1.1.5.	Fortschritte in der Rekurrenzanalyse	22
II.1.1.6.	Raumzeitliche Analysen	23
II.1.1.7.	Weitere Arbeiten	23
II.1.2	Teilprojekt B2	24
II.1.2.1.	Integriertes System zur Nicht-linearen Datenanalyse	24
II.1.2.2.	Entwicklung und Anwendung von nicht-linearen Methoden zur Analyse raum-zeitlicher Daten	26
II.1.3	Teilprojekt D1: Stadtstrukturforschung, Unsicherheit und Eingrenzung von Geoinformationen, Problemorientiertes Wissensmanagement	27
II.1.3.1.	Entwicklung eines modularen Stadtmodells	27
II.1.3.2.	Ein Emulator zur Projektion urbaner Expansion (URBGRAV)	28
II.1.3.3.	Potentielle Lokale Nahrungsmittelversorgung im Umland der Städte (CIFO)	29
II.1.3.4.	Beziehung zwischen urbaner Form und Struktur und CO ₂ Emissionen	30
II.1.3.5.	Schadensfunktionen für urbane Agglomerationen (WINDAM)	31

II.1.3.6.	Technische und konzeptionelle Innovationen in der Klimapolitik	32
II.1.3.7.	Phase 0: Analysen auf konzeptioneller Ebene und mit einem numerischen Modell reduzierter Komplexität	33
II.1.3.8.	Phase 1 – Vorbereitung von REMIND für die Unsicherheitsanalyse	36
II.1.3.9.	Phase 2 – Anwendung von MIND-L-Elementen in REMIND.....	37
II.1.3.10.	Fallbeispiele für Analysen mit einem komplexen stochastischen Integrated Assessment- Modell 38	
II.1.3.11.	Entscheidungskalküle unter Unsicherheit/Nutzbedürfnisse.....	40
II.1.3.12.	Modellierung von Transformationsprozessen und Unsicherheit.....	41
II.1.3.13.	Informationsvermittlungsplattform	42
II.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	42
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	42
II.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes.....	43
II.4.1	Teilprojekt A3	43
II.4.2	Teilprojekt B2	43
II.4.3	Teilprojekt D1	43
II.5	Während der Durchführung der Vorhaben dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	45
II.5.1	Teilprojekt A3	45
II.5.2	Teilprojekt B2	45
II.5.3	Teilprojekt D1	45
II.6	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	45
II.6.1	Teilprojekt A3	45
II.6.2	Teilprojekt B2	47
II.6.3	Teilprojekt D1	48
II.6.4	Dissertationen	49
II.6.5	Sonstiges	49
III.	Anlage III: Liste von Vorträgen und Posterpräsentationen	51

I. Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

I.1.1 Teilprojekt A3

Im Teilprojekt A3 „Extremereignisse in Geoarchiven“ wird eine innovative Methodik zur Beschreibung von Extremereignissen, die aus Geoarchiven abgeleitet werden, entwickelt und Paläo-Extremereignisse für eine erste Risikoabschätzung untersucht. Im Unterschied zum Themenbereich B2 wird dazu der Einfluss verschiedener Instationaritäten, Datenlücken und Unsicherheiten bezüglich der Zeitskala auf die verschiedenen Parameter der Extremwertstatistik systematisch untersucht. Darüber hinaus wird ein neuer Ansatz zur Extremwertanalyse entwickelt, der die Vorteile einer lokalen Rekurrenzanalyse im Phasenraum (Berücksichtigung von Instationaritäten) mit einem Bayes'schen Ansatz zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Zeitskala sowie nicht-äquidistanter Zeitskalen vereint. Als Teilergebnis wird damit eine neue Methode zur Rekurrenzanalyse eingeführt, die statt einer binären Ausdrucksform für Wiederkehr nun Wahrscheinlichkeiten nutzt, deren Zeitauflösung nicht äquidistant sein muss. Entsprechende statistische Maße zur Charakterisierung der Wiederkehrstruktur der Extremereignisse werden auf diesen neuen Ansatz angepasst. Diese Methode wird in die Toolbox „Analyse“ des PROGRESS-Themenbereiches B2 einbezogen und steht somit dem gesamten Verbund zur Verfügung. Diese weiterentwickelte Analysemethode wird anhand von prototypischen Modellsystemen getestet und anschließend auf lange Zeitreihen von Paläo-Extremereignissen angewendet. Hierbei sind insbesondere die Identifikation langfristiger Trends, die Bestimmung von Erholungszeiten oder irreversiblen Zustandsänderungen des Gesamtsystems (Kippunkte) bzw. die Rückkehr in den ursprünglichen Zustand von besonderem Interesse. Auf dieser Basis sollen erste Schlussfolgerungen für Risikoabschätzungen gezogen werden. Durch den Vergleich der Ergebnisse mit Simulationsrechnungen für den asiatischen Monsun bzw. von Hochwasserereignissen in Zentraleuropa wird Themenbereich B1 bei der Validierung von Modellen unterstützt.

I.1.2 Teilprojekt B2

Es wird ein integriertes System zur Verwaltung, Transformation, Analyse und Visualisierung von i.a. multivariaten raum-zeitlichen Daten entwickelt und implementiert (B2.1.1). Dabei sollen moderne Methoden des Datenmanagements zum Einsatz kommen, die in einem Metasystem Inhalt, Struktur, Historie und Format der Daten beschreiben und die Daten selbst schnell abrufbar und persistent speichern. Zur Manipulation der heterogenen Datenbasis werden Homogenisierungs- und Transformationsverfahren u.a. aus der Geoinformatik so angepasst, dass sie als Präprozessoren für die nichtlinearen Analysemethoden aus Arbeitspaket B2.1.2 eingesetzt werden können. Die im Themenbereich C1 entwickelten Visualisierungswerkzeugen werden in das System integriert. Das System soll es den Fachwissenschaftlern ermöglichen, kombinierte prototypische Workflows aus Verfahren zur Transformation, nichtlinearen Analyse und Visualisierung von Datensätzen zu generieren und abzuarbeiten. Es wird untersucht, wie die Methoden strukturiert beschrieben werden müssen, um solche Workflows in Zukunft semi-automatisch erstellen zu können. Das System wird den kooperierenden Partnern zur Verfügung stehen und Ausgangsbasis für die Vernetzung mit den Themenbereichen A1, A3, B1 und D1 sein.

Ziel weiterhin ist neben der Implementierung von Methoden der nichtlinearen Datenanalyse, wie z.B. Finite Time Lyapunov Exponenten, Dimensionsdichteschätzungen und Transinformation, die Weiterentwicklung, Implementierung und Anwendung nichtlinearer Analysemethoden für die Identifikation (schwacher) zeitlich variierender Wechselwirkungen (z.B. Telekonnektionen) sowie die Rekonstruktion komplexer Netzwerke aus Daten, einschließlich Studien zur Signifikanz (B2.1.2). Auf der Basis von Wiederkehreigenschaften wird ein Verfahren zur robusten Analyse von Ereignis-Synchronisation und nichtlinearen Korrelationen entwickelt. Die Bestimmung von Kopplungsrichtungen in gekoppelten Systemen soll ebenfalls mittels Wiederkehreigenschaften sowie auf der Basis von probabilistischen Eigenschaften der Daten entwickelt werden. Erste Ansätze dazu

sind vielversprechend, hier wird aber insbesondere ein Schema erarbeitet, auch indirekte Kopplungen bestimmen zu können. Ein wesentlicher methodischer Aspekt wird die Einbindung dieser Verfahren in Komplexe Netzwerke sein, um raum-zeitliche Systeme zu studieren. Die nichtlinearen Analysemethoden werden in eine Toolbox integriert und zunächst auf rezente und Paläo-Klimadaten (Themenbereich A3) sowie hydrologische Modelldaten (B1) und Fernerkundungsdaten (A1) angewendet. Sie sollen aber auch zur Analyse von Daten aus der Stadt- und Regionalplanung (D1) genutzt werden. Dabei sollen die Analysen auf die konkreten Fragestellungen der kooperierenden Partner abgestimmt werden.

I.1.3 Teilprojekt D1

Das Teilprojekt D1 gliedert sich in drei Unterprojekte, deren gemeinsame Fragestellung die Untersuchung der Werthaltigkeit von Klimainformationen ist. Hierbei werden drei zentralen Gegenstandsbereichen im Klimakontext angesprochen: Anpassung, Minderung sowie eine maßgeschneiderte Informationsvermittlung. Im ersten Teilprojekt ist die Arbeitshypothese, dass die Stadtstrukturen und -funktionen (mit-)verantwortlich für den Ressourcenverbrauch und Emissionen sind. So ist bekannt, dass Städte für mehr als 70% aller Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Zudem sind Städte auch Attraktoren für Rohstoffe und Emittenten von Abfällen. Aufgrund der Komplexität einer Stadt, die sich u.a. durch ihre vielfältigen Funktionen ausdrückt, sind Analysekonzepte, welche Hinweise für eine zukünftige klimafreundliche Stadtplanung liefern können, allerdings eher rar. Aus diesem Grunde sollen Städte mit physikalischen Methoden untersucht, ihre Eigenschaften untersucht und Ansätze für eine Modellierung von Stadtsysteme gefunden, die die Beantwortung der Rolle von Städten im Klimakontext ermöglichen. Ein weiteres Ziel war es Methoden zu entwickeln, welche Untersuchungen nicht nur für einzelne Städte, sondern für ganze Stadtsysteme global und/oder regional ermöglichen. Der zweite Teil des Teilprojektes sollte sich dem Management der Klimafrage widmen. Für ein nachhaltiges Management von Georisiken kann es sich aus Kosteneffizienzgründen als zielführend erweisen, nach einer Priorisierung von Geoinformation zu fragen. Der entscheidungstheoretische Zweig der Volkswirtschaftslehre bietet hierfür das Konzept des „erwarteten Wohlfahrtsgewinns neuer Information“ an. Allerdings bezieht sich dieser auf einen Bezugsrahmen, in dem Klimaziele (wie etwa das 2°-Ziel) als harte Randbedingungen einer ökonomischen Rechnung nicht vorkommen. Die Antragssteller hielten es jedoch für erforderlich, einen Bezugsrahmen zu schaffen, in den Klimaziele integrierbar wären. In einem solchen Bezugsrahmen sollte dann die Rolle künftiger klimawissenschaftlicher Information exemplarisch ausgeleuchtet werden. Schlussendlich spielt die Informationsvermittlung von Klimainformationen eine zentrale Rolle. Gerade im Licht von Klimaskeptikern, ist es notwendig sowohl die Grundlagen des vorhandenen Wissens, aber auch die Interpretationsmöglichkeiten von wissenschaftlichen Resultaten klar zu umreißen. Während die Wissenschaft vornehmlich Zusammenhänge zu durchdringen und zu klären versucht, sind Entscheider an konkreten Maßnahmen, die durchzuführen sind, interessiert. Daher muss verstanden werden, wie sich Entscheidungsträger und Wissenschaftler Problemkomplexen nähern. So ist z.B. der explizite Umgang mit Unsicherheitskalkülen unter Stakeholdern und Politikern eher unüblich. Diese Fragen werden im dritten Teil des Projektes angesprochen. Es soll analysiert werden, wie Klimainformationen aufbereitet werden müssen, damit sie für Laien erfahrbar sind. Ziel ist die Entwicklung von Informationssystemen, welche in der Politikberatung genutzt werden können, sowie Instrumente zur Begleitung und Absicherung von Entscheidungen unter Unsicherheit zur Verfügung stellt.

I.2 Voraussetzungen unter denen die Vorhaben durchgeführt wurden

I.2.1 Teilprojekt A3

Das Teilprojekt PROGRESS A3.2 wurde am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Forschungsbereich IV, "Transdisziplinäre Konzepte und Methoden" durchgeführt. Es bestanden Kooperationen innerhalb der Forschungsgruppe von Jürgen Kurths (unabhängig von PROGRESS) und zu Teilprojekten von PROGRESS (B.2 Jürgen Kurths, A1.3 Dirk Scherler, C1 Mike Sips). Weiterer Austausch erfolgte mit Gruppen des Geoforschungszentrum Potsdam (Saskia Förster, Birgit Plessen),

der ETH Zürich (Sebastian Breitenbach) sowie des Instituts für Geowissenschaften der Universität Potsdam (Bodo Bookhagen).

I.2.2 Teilprojekt B2

Das Teilprojekt PROGRESS B2.1 wurde am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Forschungsbereich IV, "Transdisziplinäre Konzepte und Methoden" durchgeführt. Es bestanden Kooperationen innerhalb der Forschungsgruppe von Jürgen Kurths (unabhängig von PROGRESS) und zu Teilprojekten von PROGRESS (A3, Norbert Marwan; D1, Gruppe Jürgen Kropp). Weiterer Austausch erfolgte mit Gruppen des Geoforschungszentrum Potsdam (PROGRESS C1, verantwortlich Mike Sips) und dem Hasso-Plattner Institut (PROGRESS C1, Gruppe Döllner).

I.2.3 Teilprojekt D1

Das Teilprojekt D1.1/3 war organisatorisch in den Forschungsbereich II: Klimawirkung und Vulnerabilität (Projektleiter Prof. Dr. J. Kropp) und Forschungsbereich III: „Nachhaltige Lösungsstrategien“ des PIK eingebunden (Prof. Dr. Hermann Held, TP D1.2). Die Projektgruppe bestand aus insgesamt 4 Mitarbeitern, (Dr. A. Garcia Cantu Ros, Dr. D. Reusser, H. Lorenz, M. Schmidt). Ferner wurden die Arbeitspakete durch diverse studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte während der Projektlaufzeit unterstützt. Das Teilprojekt (D1.2) konnte auf Vorgängerarbeiten in GEOBENE zur Entscheidungstheorie, sowie auf zahllose Projekte zum Aufbau der gekoppelten Ökonomie-Energie-Klima-Modellsuite MIND/REMIND am PIK aufbauen. Die Teilprojekte D1.1/3 konnten vor allem auf die Erfahrungen folgender vorheriger Projekte zurückgreifen: MEDIATION - Methodology for Effective Decision-making on Impacts and Adaptation (Mediation EU FP7), Sustainable Megacity Hyderabad (BMBF Megacity Programm), Climate Impacts: Global & Regional Adaptation Support Platform (BMU Internationale Klimaschutzinitiative). Eine intensive Zusammenarbeit bestand vor allem mit dem Themenbereich D2 (GFZ: AG Lauterjung/Zschau, D3 (AG Jann Uni Potsdam) sowie B2. Aufgrund der Annahme eines Rufes von Prof. Dr. H. Held an die Universität Hamburg während des laufenden Teilprojektes wurde hier ebenfalls eine enge Kooperation etabliert. Um den Bezug zur Wissenskommunikation sicherzustellen, erfolgte ebenfalls eine enge Kooperation mit der Hochschule für Film und Fernsehen Konrad Wolf (heute: Filmuniversität Potsdam) (Teilprojekt C2).

I.3 Planung und Ablauf der Vorhaben

I.3.1 Teilprojekt A3

Die Untersuchung von Extremereignissen gewinnt immer mehr an Bedeutung. In den letzten Jahren wurde erkannt, dass sich ohne eine Berücksichtigung von Extremereignissen in vielen Bereichen, wie Umweltwissenschaften, Soziologie oder Finanzwirtschaft, keine realistischen Aussagen oder Vorhersagen ableiten lassen. Hinzu kommt, dass Extremereignisse eine übergeordnete Rolle spielen, da sie einen wesentlichen wirtschaftlichen und gesamtgesellschaftlichen Faktor ausmachen. Bei der Untersuchung von Extremereignissen sind langfristige Trends, Erholungszeiten, Kippunkte oder Anpassungsfähigkeiten des Gesamtsystems von besonderem Interesse.

Nichtstationarität in der Datenanalyse wurde bisher bei der Untersuchung extremer Ereignisse kaum berücksichtigt, hat jedoch einen wesentlichen Einfluss auf die Schlussfolgerungen zu statistischen Eigenschaften von Extremereignissen (Häufigkeit, Magnitude, Dauer). Eine besondere Herausforderung sind Lücken in Daten, Unsicherheiten in der Datierung oder nichtäquidistante Zeitskalen. Die Arbeitsgruppe verfolgte daher das Ziel, Methoden zur Beschreibung extremer Ereignisse unter veränderlichen Bedingungen sowie von Daten mit unsicheren und nicht-äquidistanten Zeitskalen weiterzuentwickeln. Mit dieser Methodik sollten langfristige Trends in Paläo-Extremereignissen, Erholungszeiten und Kippunkte (z. B. Abbruch der Monsun-Zirkulation) untersucht und bewertet werden. Die entwickelten Methoden sollten zur statistischen Analyse von Paläo-Datensätze in der Größenordnung von 10.000 Jahren verwendet werden, um Aussagen darüber abzuleiten, inwieweit sich Änderungen in extremen Klimaereignissen aufgrund des Klimawandels von natürlichen Variabilitäten unterscheiden.

Das Teilprojekt A3.2 ist in den wesentlichen Punkten durchgeführt wurden wie geplant. Die Meilensteine wurden erreicht, und wesentliche Arbeitsergebnisse wurden in wissenschaftlichen Fachjournalen publiziert beziehungsweise in Form von Software-Toolboxen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Zeitpunkt	Meilenstein	Durchgeführte Arbeiten
Dez 2010	M2: - Einfluss von Instationaritäten, Datenlücken und Unsicherheiten in der Zeitskala auf die Extremwertstatistik systematisch untersucht und in die Methodik eingearbeitet - Abschluss der Implementierung der Rekurrenzanalyse für nicht-äquidistante Zeitreihen sowie Nachweis der theoretischen Anwendbarkeit der entwickelten statistischen Analyseverfahren anhand prototypischer Modelle	Auf der Basis von Taylor-Regression wurde ein neuer Ansatz entwickelt, wie künftig extreme Ereignisse anhand von Beobachtungsdaten modelliert werden könnten. Aufgrund neuer Ideen und Ansätze wurden und werden die Arbeiten zur Rekurrenzanalyse für nicht-äquidistante Zeitreihen fortgeführt und haben 2014 zu zwei verschiedenen Richtungen geführt. Einerseits wurde die Taylor-Regression mit Rekurrenzanalysen kombiniert (Publikation in Vorbereitung) und andererseits das Konzept einer Transformationszeitreihe eingeführt, die nicht-äquidistante Zeitreihen anhand einer Kostenfunktion auf eine äquidistante Zeitreihen überführt (Ozken et al 2015).
Juni 2011	M3: Nachweis der praktischen Anwendbarkeit der entwickelten statistischen Analyseverfahren anhand der erhobenen Daten sowie Publikation der rekurrenzbasierten Extremwertanalyse	Eine Methode zur Behandlung von Datierungsunsicherheiten wurde getestet und implementiert. Die Rekurrenzanalyse und zugehörige Methoden (Recurrence Quantification, Netzwerkanalyse) wurde an verschiedenen Testszenarien getestet. Grundlegende und theoretische Arbeiten zu diesen Methoden wurden durchgeführt. Die Methodik wurde an ausgewählten Paläoklimadaten getestet. Die Literaturrecherchen Bayes'scher Datenanalyse, Rekurrenzplots und komplexe Netzwerke werden fortgeführt und durch die Teilnahme an internationalen Tagungen ergänzt.
Dez 2011	M4; Extremwert-Analyse von Paläo-Hochwasserereignissen aus den im Vorhaben entwickelten Zeitreihen sowie von Baumringdaten abgeschlossen	Durch die Verfügbarkeit von zeitlich hochaufgelösten Paläoklimazeiteihen aus Stalagmiten lag der Fokus auf dieser neuen Art von Proxy-records. Es wurden zahlreiche paläoklimatische Untersuchungen mittels der neuen Methoden durchgeführt, neben Stalagmiten-Daten auch Seesedimente.
Juni 2012	M5: - Abschluss der Optimierung und Dokumentation der statistischen Verfahren sowie volle Integration in die Analyse-Toolbox aus B2 - Publikation der	Erweiterung der rekurrenzbasierten Verfahren um das Konzept der "Fluctuation of similarity". Datierungsunsicherheiten in Paläoklimadaten können inzwischen mit zwei Ansätzen behandelt werden. Die beiden Verfahren sind

	Forschungsergebnisse	implementiert und wurden getestet bzw. an verschiedenen Paläoklimadaten angewendet. Ein generelles Framework wurde entwickelt, veröffentlicht und wird noch weiter verbessert. Die Rekurrenzanalyse und zugehörige Methoden (Recurrence Quantification, Netzwerkanalyse) wurde an verschiedenen Testszenarien getestet. Grundlegende und theoretische Arbeiten zu diesen Methoden wurden und werden weiterhin durchgeführt. Die Methodik wurde an ausgewählten Paläoklimadaten getestet.
--	----------------------	--

I.3.2 Teilprojekt B2

Ziel des Teilprojektes B2.1 war die Entwicklung, Implementierung und Anwendung von integrierten Workflows unter Entwicklung einer Vielzahl von Einzelkomponenten (Datenimport, -export, Datentransformation, Analyse- und Visualisierungskomponenten). Dafür wurde die technische Basis untersucht und systematisiert (Workflow-Managementsysteme, Metadatenstandards), verschiedenste Module entwickelt und als Workflows umgesetzt. Als Anwendungen wurden nicht-lineare Analysemethoden sowie die Visualisierung von Klimanetzwerken, die visuelle Analyse von Ensemble-Klimasimulationen und ein Workflow für die Datengenerierung für das Web-Portal KlimafolgenOnline.com identifiziert und erfolgreich umgesetzt. Das Teilprojekt ist in wesentlichen Punkten wie geplant durchgeführt worden, jedoch ergab sich wegen der Unabhängigkeit der Einzelanwendungen keine Notwendigkeit für eine vollständige Integration aller Teilkomponenten in einem einzelnen System. Die Meilensteine wurden erreicht, und wesentliche Arbeitsergebnisse wurden in wissenschaftlichen Fachjournals publiziert und das Portal KlimafolgenOnline.com der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Ziel des Teilprojektes war die Entwicklung, Implementierung und Anwendung nichtlinearer Analysemethoden für die Identifikation zeitlich variierender Wechselwirkungen, und die Rekonstruktion komplexer Netzwerke aus Daten. Die im Fokus der Arbeiten stehenden Paläo-Klimadaten stellen methodische Herausforderungen, die die herkömmlicher Klimadaten aus meteorologischen Stationen übersteigen. Die zeitlichen Klimainformationen, die aus Bäumen, marinen Sedimenten, Stalagmiten, Eis oder Seesedimenten gewonnen wurden, sind gekennzeichnet durch Heterogenität in Raum, Zeit und Signalcharakteristiken. Auf der Basis bekannter Verfahren sollte eine robuste Analyse von Ereignis-Synchronisation sowie nichtlinearer Korrelation für solche Datensätze entwickelt werden und von einzelnen Analysen auf die gleichzeitige Analyse und Bewertung von Zusammenhängen zwischen mehreren Datensätzen ausgedehnt werden, die als komplexe Netzwerke verstanden werden können. Neben Paläo-Klimadaten war die Analyse von hydrologischen Datensätzen, sowie Fernerkundungsdaten und Daten aus der Stadt- und Regionalplanung vorgesehen. Weiterhin sollten diese Analysemethoden in eine Toolbox integriert und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Das Teilprojekt ist in den wesentlichen Punkten wie geplant durchgeführt worden. Die Meilensteine wurden erreicht, und wesentliche Arbeitsergebnisse wurden in wissenschaftlichen Fachjournals publiziert beziehungsweise in Form von Software-Toolboxen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Zeitpunkt	Meilenstein	Durchgeführte Arbeiten
30/09/2011	M1: Bereitstellung neuer nichtlinearer Analysemethoden (Schema für Kopplungsrichtungen und indirekte Kopplung,	Erste Publikation zu Vergleichstests von linearen Schätzern für Kopplungsstärken zwischen unregelmäßigen Zeitreihen in Kollaboration mit PROGRESS Teilprojekt A3 (Rehfeld, Heitzig, Marwan, Kurths, 2011). Im Verlauf des Projektes wurde weiterhin ein systematischer Test der Schätzer bei unsicherer und irregulär verteilter Datenlage durchgeführt (publiziert in: Rehfeld & Kurths, 2014). Verfahren für die

	Rekurrenz-basiertes sowie probabilistisches Verfahren zur Bestimmung und Analyse von Ereignissynchronisation)	nichtlineare Analyse von Paläoklimazeitreihen mittels Wahrscheinlichkeitsdichten sowie Ereignissynchronisation wurden weiterentwickelt und publiziert (Rehfeld, Marwan, Breitenbach & Kurths, 2013; Rehfeld & Kurths, 2014). Diese Verfahren wurden für die Rekonstruktion komplexer Netzwerke im Asiatischen Monsunsystem eingesetzt (Rehfeld, Marwan, Breitenbach & Kurths, 2013; Rehfeld, Molkenhuth & Kurths, 2014), und durch Anwendung auf Scharen von Zeit-Modellen für Paläoklimadaten konnte die Zeit-unsicherheit zusätzlich berücksichtigt werden. Die Verfahren zur Bestimmung von Zeit-Wachstums-Kurven für Paläo-Klimadaten wurden gemeinsam mit PROGRESS A3 und Kollaborationspartnern (Bedartha Goswami, Sebastian Breitenbach) entwickelt und 2012 als COPRA toolbox für Matlab und Octave veröffentlicht: http://tocsy.pik-potsdam.de/copra.php
31/03/2012	M3: Basisdienste des Daten-Informationssystems (Daten- und Metadatendienste) und Prototyp der Toolbox zur Datentransformation ³	Entwurf von Einzelkomponenten für die Analyse von Klimazeitreihen und –netzwerken, Umsetzung von Visual Analytics – Methoden für Klimanetzwerke (Nocke et al. 2015), Erweiterung eines Klimadaten-Visualisierung-Wizards für die Anforderungen allgemeiner Klimametadaten (Nocke 2015, in prep), Umsetzung eines komplexen Workflows von Klimadaten auf dem Webportal www.klimafolgenonline.com , Transformationsmodule
31/10/2012	M6: In das Gesamtsystem integrierbare Toolbox zu nichtlinearen Methoden und deren Anwendung auf geophysikalische und Regional-/ Stadtplanungs-Daten der Partner	Die NEST toolbox (englisch für Non-Equally Sampled Time Series toolbox) enthält lineare und nichtlineare Analysemethoden für Matlab und die Open-Source Sprache Octave: http://tocsy.pik-potsdam.de/nest.php . Eine Anwendung der Methoden auf Daten aus Regional- und Stadtplanung erfolgte nicht. Die Methoden wurden insbesondere angewandt auf Daten aus chinesischen Seesedimenten (Zusammenarbeit mit M. Stebich), aus dem Indischen Ozean (Zusammenarbeit mit B. Konecky).
31/12/2013	M10: Prototyp des integrierten Gesamtsystems mit Methoden-Informationssystem und Methoden zur semi-automatischen Generierung von Metadaten-Informationen	Umsetzung / Erweiterung von Workflow-Prototypen für Datentransformation & visuelle Klimanetzwerkanalyse (Nocke et al. 2015) Visuelle Ensembleanalysen raum-zeitlicher Klimadaten Webportaldaten- und –farbskalengenerierung unter Integration einer Vielzahl von Teilkomponenten (Netzwerktransformation & -filterung, Avizo-, Paraview- und Klimanetzwerk-Visualisierungskomponenten, Analysezielmodul & zielgesteuerte Visualisierungsansteuerung, zeitliche Aggregationen und räumliche Interpolation, Ansteuerung von Impaktmodellen)

I.3.3 Teilprojekt D1

Das Teilprojekt D1 ist in großen Teilen plangemäß durchgeführt worden; dies gilt für die Teilprojekte D1.1 (Stadtstrukturen) sowie D1.3 (Wissensmanagement). Für alle Komponenten ergaben sich zeitliche Verschiebungen, weil vor allem die Datenbeschaffung und Aufbereitung z.T. sehr viel mehr Zeit in Anspruch nahm als geplant. Allerdings wurden die meisten Ziele erreicht. Meist werden weitergehende Fragen in Folgeprojekten weiter bearbeitet.

Für das Teilprojekt D1.2 ergaben sich mehrfach Verschiebungen, die während der Projektlaufzeit zu Mittelumwidmungen sowie Veränderungen in der Projektbeschreibung nötig machten. Zusammenfassend war das Teilprojekt durch eine starke Personalfuktuation sowie die Annahme eines Rufes die Teilprojektleiters Prof. Dr. Hermann Held auf eine Professur an der Universität Hamburg beeinflusst. Am PIK übernahm darauf hin Dr. Elmar Kriegler die Teilprojektkoordination. Insbesondere durch den Weggang von Prof. Held sind die geplanten Arbeiten umstrukturiert worden. In Absprache mit dem Projektträger hat Prof. Held den CCS/messnetzbasierten Teil messnetzbasierten Teil seiner Projektideen mit an die Universität Hamburg genommen. Im Gegenzug entstand Spielraum, die auf der Schadensseite erfolgreiche Strategie der Regionalisierung auf den Energiesektor auszudehnen. Dies erlaubt es, die Modellszenarien-Strategie noch politikrelevanter anzulegen und auch die Stärken der am PIK verbliebenen Restgruppe von PROGRESS abzuwerten. Seitdem wird das technisch ehrgeizige Ziel verfolgt, das komplexe, führende Energie-Ökonomie-Modell REMIND im Hinblick auf Unsicherheit und Lernen nachzurüsten und dabei moderat in Sachen Technologieauflösung zu verschlanken. Dieses wäre dann auch das ideale Modell, um den Nutzen von CCS-Messnetzen zu ermitteln.

Dieses technisch sehr ehrgeizige Ziel konnte in der Tat zum Ende von PROGRESS erreicht werden. Es ist nun möglich, Entscheidung unter antizipiertem Lernen zu modellieren und damit auch den Wert künftiger Information in einem der global führenden Modelle dieses Typs zu bestimmen. Dazu musste das Modell modularisiert und parallelisiert werden. Zudem gelang es, Nash-Lösungen zu erzielen.

PROGRESS hat eine Dreifachinnovation ermöglicht: ein klimaökonomisches Hybrid-Entscheidungsmodell, dass möglicherweise den Klimaziel-Diskurs künftig dominieren könnte, die Bedeutung von Heterogenität bzw. Versicherungslösungen zur Bewertung des Klimawandels sowie die Erzeugung eines state-of-the-art Energiesystemmodells, das Lernen abbilden kann. Die ursprünglich formulierten Ziele mussten durch unerwarteten Bedarf an Grundlagenforschung aufgeschoben werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass diese demnächst eingelöst werden und hier soll dann auch die Vorarbeit durch PROGRESS entsprechend gewürdigt werden.

Arbeitspaket	Name	Durchgeführte Arbeiten (Planzeit)
Arbeitspaket 1	Urbane Strukturen und Netzwerke	<i>M1: Strukturaufklärung (Dez. 2010)</i> In diesem Bereich wurden eingehende Untersuchungen zur Sturmschadensdynamik in Deutschland, zur Hitzeinselbelastung in Europa vorgenommen sowie zur urbanen Landnutzungsdynamik unternommen (siehe u.a. Rybski et al. 2013, Phys Rev. E, Rybski et al. 2015, under review, Prahl et al. 2013, 2015, Zhou et al. 2013) <i>M2: Netzwerkdynamik (Dez. 2011)</i> Die Thematik der Netzwerkdynamik konnte nicht in der erforderlichen Tiefe untersucht werden, weil die erforderlichen Daten nicht in der notwendigen Menge und zeitlichen und räumlichen Auflösung vorlagen, oder nur kostenpflichtig zu erwerben waren. Alternativ erfolgte die Verwendung von existierenden remote sensing Daten, wie MODIS, GlobCover. Vorliegende Paper (Fluschnik et al. 2014, arxiv.org/abs/1404.0353, Garcia Cantu Ros et al. 2015 Phys Rev. X) bedürfen einer Überarbeitung Die Thematik, wird jedoch in Folgeprojekten weiter bearbeitet. Hier werden "offene Quellen" wie z.B. open Street Map verwendet. <i>M3: Formfaktoren (Sept. 2012)</i> Formfaktoren und deren Einfluss auf CO₂ Emissionen wurden für urbane Agglomerationen in Nordamerika

			vorgenommen. Hierbei konnte eine Korrelation zwischen Dichte und Emissionen sowie lokaler Klimatologie festgestellt werden. Ein erstes Paper ist hierzu in der Begutachtung (Gudipudi et al. 2015, Energy Policy. siehe auch II.1.3.9) <i>M4: Verwundbarkeit und Planungsgrundsätze (Juni 2013)</i> Auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen konnten umfangreiche Hinweise zur Verwundbarkeit von Städten geliefert werden (u.a. Prahl et al. 2012, 2015 - Vulnerability Map Sturmschäden Deutschland, Zhou et al. 2013 Heat island vulnerability - mehr als 100,000 Siedlungen in Europa und MENA wurden untersucht; Kriewald et al. 2015, Food-Self-Sufficiency of Cities). Aus diesen Untersuchungen ließen sich Planungshinweise ableiten, wie z.B. für Anpassung von Gebäuden, Städten/Nahrungsproduktion sowie zur Reduktion von Hitzebelastung von Städten.
Arbeitspaket 2	Geoinformationen für Klimaprojektionen		<i>M1: Konkurrierende ökonomische Metriken/Kosten-Nutzen Ansatz, Schadensfunktionen (Juni 2010)</i> Aufbereitung der konkurrierenden Metriken termingerecht erfolgt; jedoch deutlich aufwändiger als geplant – Ergebnisse von fundamentaler umweltpolitischer Bedeutung erzielt, die weit über PROGRESS hinausweisen (s.a. Schmidt et al. 2011, Lorenz et al. 2012a,b) <i>M2: Ex-post Ökonomie von Klimasensitivitätsanalysen (Mai 2011)</i> Mitnahme des Themas an die Universität Hamburg <i>M3: Satellitenmessungen/Aerosolkontext (Mai 2012)</i> Mitnahme des Themas an die Universität Hamburg <i>M4: Weitere Geoinformationskanäle (Sept. 2012)</i> Meilenstein erreicht durch Brückenergebnis vom sozialen Planer-Modus zum Multi-Akteurs-Modus durch Abfassung der Publikation zu heterogenen Klimaschäden (Schmidt et al., 2013, Golub et al. 2014) <i>M5: Dissertation (Nov. 2011)</i> Dissertation wurde abgeschlossen 1.7.2011
Arbeitspaket 3	Geoinformationen für Carbon Capturing and Sequestration (CCS)		<i>M1: Analyse CCS-Bond Schemata (Okt. 2012)</i> Mitnahme des Themas an die Universität Hamburg <i>M2: Rolle von Atmosphärenmessungen (Jun. 2011)</i> Mitnahme des Themas an die Universität Hamburg <i>M3: Kompilierung von Untertage Messsystemen (Jan. 2012)</i> Mitnahme des Themas an die Universität Hamburg <i>M4: Volkswirtschaftliche Optimierung von Messnetzen (Okt. 2012)</i> Mitnahme des Themas an die Universität Hamburg <i>M5: Dissertation (Dez. 2012)</i>

		Abfassung der Dissertation Dezember 2011
Arbeitspaket 4	Lösungsorientiertes Wissensmanagement	M1: Sampling, Aufbereitung und Assimilation wichtiger geo- und klimarelevanter Klimadaten Ist erfolgt, wenn auch mit zeitlicher Verzögerung. Allerdings wurden Geodaten nicht berücksichtigt, weil dies eine Duplizierung von Aktivitäten bedeutet hätte (s.a. TP B3, C1, D2) M2: Destillation und Beschreibung von entscheidungsrelevanten Prozessen Entscheidungsprozesse im Rahmen von Anpassungsfragen wurden mit formalen Methoden wie der Data Envelopment Method untersucht (Förster et al. 2011), zudem erfolgte eine Analyse der Rolle von Modellen (vgl. Halbe et al. 2014). Eine Onlinebefragung zu Nutzerpräferenzen in Bezug auf Informationsvermittlung wurde 2011 durchgeführt. M3: Entwicklung von Methoden und Instrumenten zur Entscheidungsanalyse unter Unsicherheit In diesem Zusammenhang wurden Analysen zur Kommunikation von Transition Pathways durchgeführt. Insbesondere wurde die adäquate Repräsentation von Unsicherheit untersucht (vg. Lissner et al. 2014, Kornhuber 2015). Weitergehende Untersuchungen haben ergeben, dass eine zu große Unsicherheiten in einem Entscheidungskalkül beinahe beliebige Entscheidungen ergeben können. Was dies in Bezug auf Klimaunsicherheit bedeutet muss noch weiter untersucht werden. M4: Erweiterung auf weitere entscheidungsrelevante Prozesse aus dem PROGRESS Netzwerk Um die Mechanismen von politischen Entscheidungsprozessen detaillierter zu verstehen, erfolgte die Organisation regelmässiger Workshops innerhalb der D2 Säule von PROGRESS. Eine Formalisierung und Generalisierung ist bisher in den Anfängen verharret. Allerdings wurde im Rahmen des MPM Programm (D3) jungen Studenten, die Unsicherheitsproblematik im Klimakontext und deren Einfluss auf Entscheidungsprozesse nahe gebracht. <i>M5: Bereitstellung der interaktive Webplattform unter Einbindung erster Prototypen/Finalisierung</i> Integration von Stadtmodulen und Tools zur Klimaaanalyse in die ci:grasp Web-Plattform (www.cigrasp.org). Wie Unsicherheit adequat in solchen Informationssystemen dargestellt werden kann wurde untersucht und in der Informationsaufbereitung berücksichtigte (vgl. Reusser et al. 2011, Vitolo et al. 2015)

Wie sich aus o.g. Tabelle ergibt sind seit Mitte des Jahres 2011 die global-konzeptionell zu modellierenden Anteile des Teilprojekts „Volkswirtschaftlicher Nutzen von Geowissenschaftlichen Informationen“ im Wesentlichen abgeschlossen, zeitgleich mit den ungewöhnlich zügig eingereichten beiden Dissertationen von Lorenz und Schmidt.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

I.4.1 Teilprojekt A3

Die Untersuchung von Extremereignissen ist für den Bevölkerungsschutz von zentraler Bedeutung. Im Falle ihres Auftretens und unzureichender Schutzmaßnahmen machen die entsprechenden Schäden einen erheblichen wirtschaftlichen Faktor aus. Bei der Untersuchung von Extremereignissen sind langfristige Trends, Häufigkeiten, Erholungszeiten, Kippunkte oder Anpassungsfähigkeiten des jeweils betrachteten Systems von besonderem Interesse. Dennoch stehen Messdaten oft nur für einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung, was methodische Herausforderungen impliziert. Zur Analyse und Charakterisierung von Extremereignissen stehen eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, angefangen von rein statistischen Methoden (Diaz & Murnane, 2008; Embrechts et al, 1999) bis hin zu Methoden, die den deterministischen Charakter der zugrundeliegenden Dynamik mit berücksichtigen (Nicolis et al, 2007). Ein aktuelles Forschungsthema ist die Verallgemeinerung der Extremwertanalyse auch auf raumzeitliche Daten. Hier ist man nicht nur am Zeitpunkt des Eintretens eines Extremereignisses interessiert, sondern auch an dem genauen Ort bzw. an der räumlichen Ausbreitung des Ereignisses (Rust, 2009). Das besondere Problem von stark instationären und kurzen Daten oder von Zeitreihen mit großen Unsicherheiten in der Zeitachse, wie es bei Daten aus geologischen Archiven oft der Fall ist, wurde bisher kaum behandelt. Für die Berücksichtigung von Unsicherheiten der Zeitskalen wurden verschiedene Methoden vorgeschlagen, die teilweise auf Bayes'schen Verfahren, linearen Regressions- oder Markov-Modellen beruhen (Heegaard et al., 2005; Mudelsee, 2009). Methoden, die auf Recurrence Plots basieren, wurden erfolgreich für die Analyse von instationären und kurzen Daten verwendet (Marwan et al, 2007a, b). Mit Hilfe von Rekurrenzzzeiten, die aus Recurrence Plots abgeleitet werden, lassen sich verschiedene Typen einer Dynamik beschreiben und dynamische Übergänge finden (Gao & Zheng, 1994; Ngamga et al, 2008). Diese Methode wurde bisher noch nicht zur Analyse von Extremereignissen verwendet. Ihre Erweiterung auf unsichere Zeitskalen ist ein sehr anspruchsvolles Vorhaben. Parallel zu diesem statistischen Ansatz werden erstmals jahresgeschichtete Geoarchive bearbeitet, mit denen es möglich wird, die Unsicherheiten der Zeitskalen durch eine detaillierte Auszählung von Jahreslagen unter dem Mikroskop deutlich zu reduzieren.

I.4.2 Teilprojekt B2

Startpunkt des Teilprojektes B2 ist Erkenntnis, dass dynamische Prozesse im System Erde weisen ein komplexes Verhalten und viele Freiheitsgrade auf. Zu deren Untersuchung und Beschreibung werden Methoden aus der Theorie der nichtlinearen Dynamik und komplexen Systeme benötigt (Kantz & Schreiber, 1997). Die ursprüngliche Hoffnung, solche Systeme durch wenige dominante Moden oder mit der Schätzung von Dimensionen oder Lyapunov Exponenten zu beschreiben, hat sich nicht erfüllen können (siehe z. B. Eckmann & Ruelle, 1985, Ott et al., 1994, Maraun et al. 2007).

Stattdessen stellen kurze Zeitreihen und Instationaritäten große Anforderungen an Datenanalysewerkzeuge, im Besonderen für das Studium von Interrelationen und Synchronisation. Neuartige Zugänge, wie z. B. Charakteristiken des Vorhersagbarkeitsverhaltens (Kostelich & Schreiber, 1993), komplexe Netzwerke (Boccaletti et al., 2006) oder Wiederkehranalysen mit Recurrence Plots (Marwan et al., 2007) wurden in den letzten Jahren für diese Anforderungen entwickelt. Für die Untersuchung von Ereignis-Synchronisationen wurden in letzten Jahren verschiedene Techniken vorgeschlagen, u.a. eine Methode, die die Nachbarschaftsumgebung auf der Phasenraumtrajektorie auswertet (Quian-Quiroga et al., 2002). Eine analoge Umsetzung auf der Basis von Recurrence Plots erscheint hier eine naheliegende Fortsetzung (Marwan et al., 2007). Diese Methode hat sich vielseitig bewährt zur Analyse instationärer und kurzer Datenreihen. Sie können u. a. zum Auffinden von Übergängen in dynamischen Systemen oder von Synchronisation und Kopplungen zwischen verschiedenen Systemen benutzt werden und bilden eine Möglichkeit, fortgeschrittene statistische Tests mit Twin-Surrogaten durchzuführen (Romano et al., 2005, Marwan et al., 2003, Thiel et al., 2006, Zolotova & Ponyavin, 2006). Die Bestimmung der Richtung von Kopplungen ist eine sehr schwierige Aufgabe. Es besteht leicht die Möglichkeit, falsche Schlüsse zu

ziehen (Palus & Vejmelka, 2007). Diese Schwierigkeit stellte für die Bestimmung von indirekten Kopplungen bisher eine große Herausforderung dar. Ein vielversprechender neuer Ansatz ist der Vergleich von gemeinsamen und unterschiedlichen Wiederkehrereigenschaften (Romano et al., 2007). Die Untersuchung versteckter raum-zeitlicher Zusammenhänge im Klimasystem mit komplexen Netzwerken ist momentan ein aktuelles Forschungsthema. Mit diesem neuartigen Ansatz können z. B. Telekonnektionen und Energieflüsse im Klimasystem studiert und Klimamodelle validiert werden (Tsonis et al., 2008, Donges et al., 2009).

Zur Verwaltung und standardisierten Beschreibung von Geodaten werden immer häufiger Katalogsysteme eingesetzt (Kindermann et al., 2007). Die Verknüpfung einer raum-zeitlichen Datenbasis mit nichtlinearen Analysemethoden und Visualisierungstechniken und darauf aufsetzend die Generierung von Workflows ist in den Geowissenschaften bisher noch nicht erfolgt und soll im Rahmen dieses Projektes umgesetzt werden.

I.4.3 Teilprojekt D1

Bereits im Projektantrag haben wir deutlich gemacht, dass die globale Urbanisierung ein Prozess ist, welcher mit überproportionalen Emissionen und Ressourcenverbrauch verbunden ist. Gleichwohl lässt sich bisher schwierig abschätzen wie groß die Inanspruchnahme von urbanen Siedlungsräumen tatsächlich ist. Diese Abschätzungen erfolgen meist auf Satellitenmessungen und variieren stark. So gehen Potere und Schneider (2007), Seto et al. (2011) davon aus dass ca. 0.2 - 2.4% der Landfläche urban sind. Trotz dieser scheinbaren geringen Fläche, werden Städte werden oft als nicht nachhaltig bezeichnet, weil durch die Konzentration von Menschen, Industrie und Dienstleistungen der „Metabolismus“ solcher Systeme sehr ausgeprägt ist (vgl. Satterthwaite 2008). Sie sind eine überproportional relevante Quelle von Treibhausgasen (~75%) und tragen damit auch erheblich zur globalen Erwärmung bei. Allerdings sind sie gegenüber den Folgen des Klimawandels oft auch besonders verwundbar (IPCC 2007, Hunt et al. 2007). Satterthwaite (2008) schätzte dagegen, dass Städte nur für ca. 30-40% der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Unabhängig davon, welche Zahl zutrifft, zeigte Doodman (2009), dass die Emissionen stark variieren (18 - 240% der jeweils nationalen THG Emissionen pro Kopf) und nicht nur der Entität selbst zugeordnet werden dürfen sondern es müssen Import/Exportmechanismen mit berücksichtigt werden. Mehr physikalische Analyseansätze propagiert daher das Emergy Konzept zum Vergleich von urbanen Agglomerationen (Zhang et al. 2009) oder es wird die Stadtgröße und -form mit dem Energieverbrauch assoziiert (Shim et al. 2006, Shimoda et al. 2007). Es ist offensichtlich, dass Städte effizienter und resilienter gestaltet werden können, doch was sind die Determinanten hierfür? Sind es die physischen Randbedingungen (lokales Klima, Orographie, Charakteristik der Landnutzung, Design interner oder internationaler Netzwerke) oder sind es typische Lebensstile? Fragen dieser Art sind weitgehend unbeantwortet, obwohl Forschungsansätze zur Strukturbildung existieren. Ansätze aus der Physik gehen davon aus, dass bezogen auf den Existenzhorizont von Städten deren Genese weitgehend selbstorganisiert verläuft. Dadurch inspiriert wurden Ende der neunziger Jahre Methoden aus der theoretischen Physik angewandt, um die Evolution urbane Strukturen zu beschreiben (z.B. Chen & Lin 2009, Batty 2005, Rozenfeld 2008). Andere Beispiele nutzten neuronale Netzwerke oder Fuzzy Ansätze, um mechanistische Zusammenhänge in Städten zu beschreiben (Kropp 1998, Kropp et al. 2001, Ju et al. 2006), bzw. versuchten, die Stadtdynamik selbst mit zellulären Automaten nachzubilden (z.B. Batty 2008). Weitere Konzepte versuchten, den Stadtmetabolismus zu untersuchen; ein Ansatz, der auch heute wieder prominent ist (Duvigneaud und Denayer de Smet 1977, Baccini & Brunner 1991, Kennedy et al. 2007, Schiller 2009). Ein weiterer Ansatz ist der des „urban footprint“, mit dem man im Vergleich zu ruralen Regionen den Verbrauch an Land und Ressourcen zu schätzen versucht. Girardet (1998) bestimmte so z.B. für London 1995, dass der Flächenbedarf ca. 125-mal größer ist, als die von der Agglomeration tatsächlich genutzte Fläche. Eine erneute Analyse im neuen Jahrtausend zeigte, dass er sich diese Zahl nunmehr auf das 293-fache erhöht hat (Wood 2007). Aus der Erfahrung dieser Ansätze lassen sich mehrere Dinge festhalten: Zum einen gibt es offensichtlich einen Zusammenhang zwischen Lebensstil und Verbrauch, dieser ist jedoch nicht allein für die Treibhausgasrelevanz verantwortlich, sondern auch

strukturelle Eigenschaften spielen eine wesentliche Rolle. Eine wesentliche Frage dahinter ist jedoch weitgehend ungeklärt. Wieso läuft ein Entwicklungspfad in der einen oder anderen Richtung ab? Evident ist auch ein deutlicher Unterschied zwischen der Entwicklung von urbanen Agglomerationen in Entwicklungs- und Industrieländern. Diesen Fragen hat sich das Teilprojekt D1.1 umfänglich gestellt.

Die relative Bedeutung dieser auf den Bereich der Stadtentwicklung bezogenen Effekte folgt zu einem großen Teil aus ihrer Einbettung in den Diskurs über die gesellschaftlich zu vereinbarenden Emissionsminderungs-Ziele. Dieser Aushandlungsprozess ist nach wie vor unklar (Folge des bereits 2012 ausgelaufenen Kyoto-Protokolls) und wird hoffentlich Ende 2015 zu einem Ende kommen. Dennoch sind momentan noch wissenschaftliche Fragen offen. Die Minderungsziele werden wesentlich beeinflusst durch (i) die sozioökonomisch konstatierte Leichtigkeit, Emissionsminderung technoökonomisch umsetzen zu können (zum Teil eben durch Stadtentwicklung bestimmt), als auch durch die (ii) projizierte Temperaturantwort im Klimasystem auf einen CO₂-Antrieb über die nächsten Jahrzehnte bis Jahrtausende und (iii) natürlich auch durch den sich daraus ergebenden Folgen. Die Temperaturantwort ist ihrerseits durch die sogenannte Klimasensitivität bestimmt, die als die langfristige Temperaturantwort auf CO₂-Antrieb interpretiert werden kann sowie die Reaktions-Zeitskalen des Klimas und den Strahlungseffekt weiterer anthropogener Agenten, etwa kühlender Schwefelaerosole. Seit mehr zehn Jahren bemüht sich die Klimaforschung intensiv um eine Eingrenzung dieser Größen, weil sämtliche Einflussfaktoren noch durch eine begrenzte Modellauflösung mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Neben einer ständig verbesserten Modellauflösung und –Physik werden zusätzlich Beobachtungsdaten des 20. Jahrhunderts genutzt, um den Unsicherheitsbereich weiter einzuschränken. Eine Kompilierung dieser Bemühungen (Meinshausen et al., 2009) zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, das 2°-Ziel der EU einzuhalten, gegeben die emittierte CO₂-Menge, um bis zu eine Größenordnung schwanken kann, je nach befragtem Klimamodell. Ein konkurrierender Ansatz, der nicht in diese Kompilierung eingegangen ist (Schneider von Deimling et al., 2006), absorbierte Geo-Daten aus einem zusätzlichen Informations-Kanal, der letzten Eiszeit. Die Autoren konnten das große Potenzial dieses neuen Ansatzes demonstrieren: Danach könnte sich die Breite des 5-95%-Quantils der Klimasensitivität um einen Faktor 2 reduzieren. Ein analoger Ansatz setzte die Klimaantwort-Zeitskalen mit dem 8k-Event in Verbindung (Lorenz et al., in press). Wiederum konnte ein Unsicherheits-Minderungspotenzial um einen entsprechenden Faktor ausgewiesen werden. Dies belegt, dass ein gezieltes Öffnen neuer Geo-Informationskanäle Klimaprojektionen verschärfen könnte. Keller et al. (2007) haben am Beispiel der thermohalinen Zirkulation des Nordatlantiks die Möglichkeit demonstriert, wie in einen klimawissenschaftlichen Kontext neuen Datenströmen ein volkswirtschaftlicher Wert zugewiesen werden kann. Für die Debatte über globale Emissionsminderung ist dabei besonders zu betonen, dass hierbei die Größenordnung des Potenzials volkswirtschaftlichen Nutzens im %-GDP-Bereich (d.h. bei US\$ ½ Billion/Jahr) liegt: Dies ist die Größenordnung der Vermeidungskosten von Minderungszielen, die dem 2°-Ziel der EU eine signifikante Wahrscheinlichkeit belassen (Edenhofer et al., 2006, Edenhofer et al. 2005).

Um in Anbetracht der globalen Herausforderungen eine gesellschaftliche Transformation zu erzielen müssen Wissenschaft und Politik eng zusammenarbeiten. Unterschiedliche Sichtweisen macht eine problemgeleitete Kommunikation zwischen Anwendern und Wissenschaft oft schwierig und bildet daher einen hemmenden Faktor für notwendige Maßnahmen (Jasanoff 1990, Jahnke 2006). Daten z.B. zum Klimawandel müssen geeignet aufbereitet und verknüpft werden. Auch Expertenaussagen müssen geeignet aufbereitet werden, um für Entscheidungsträger von Relevanz zu sein. (vergl. A. Keith 1996). Deshalb kann das Teilen und Verfügbarmachen von Expertise - gerade im Klima- und Geokontext erhebliche Such- und Entwicklungskosten auf der Seite von Entscheidungsträgern sparen. Geeignete Tools können helfen, Unsicherheit zu bewerten und damit eine validere Grundlage für klimarelevante Entscheidungen bilden (Couso et al. 2000, Kosine & Krymsky 2003). Seit den 1990er Jahren wurden Expertensysteme als eine Möglichkeit gesehen, die Lücke zwischen Wissenschaft und Entscheidungsträgern zu überwinden. Für die Klima- und Geoforschung ist es

jedoch notwendig, über klassische Expertensystem hinauszugehen und Klimawirkungen und Problemlösungsoptionen miteinander zu verknüpfen sowie Bewertungsinstrumente zu entwickeln und diese Komponenten integriert bereit zu stellen (z.B. Heisig & Orth 2005, Dessler & Parson 2006). Ziel darf dabei nicht nur sein eine Lösung zu ermitteln, sondern den möglichen Handlungsraum zu identifizieren und zu bewerten. Solche Ansätze existieren bisher nur sehr bedingt und sollen hier weiterentwickelt werden.

I.4.4 Referenzen

- Baccini P., Brunner, P.H. (1991) *Metabolism of the Anthroposphere*, Verlag Springer Berlin.
- Batty, M. (2008) *Hierarchy, Scale, and Complexity in Urban Design*, in T. Haas (Editor) *New Urbanism and Beyond: Contemporary and Future Trends in Urban Design*, Rizzoli, New York,
- Batty, M. (2005) *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. The MIT Press, Cambridge
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M. and Hwang, D.U. (2006). *Complex networks: Structure and dynamics*. *Physics Reports*, 424(4-5): 175-308
- Chen, Y., Lin, J. (2009): *Modelling the self-affine structure and optimization of city systems using the idea from fractals*, *Chaos, Solitons and Fractals*, 41 (2), p.615-629
- Diaz, H. F., Murnane, R. J.: *Climate Extremes and Society*, Cambridge University Press, 2008
- Donges, J.F., You, Z., Marwan, N., Kurths, J. (2009). *Complex networks in climate dynamics*, *EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS ST*, 174,157-179.
- Duvigneaud, P., Denayer de Smet, S. (1977) *L'écosystème urbain - Application à l'agglomération bruxellois*. SCOPE: Trav. Sect. Belge Progr. Biol. Intern.; Bruxelles.
- Dessler A, Parson E (2006); *The Science and Politics of Global Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge
- Dodman, D. (2009) "Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emission inventories." *Environ. Urban*. 21(1), 185-201
- Eckmann, J.P. and Ruelle, D. (1985). *Ergodic theory of chaos and strange attractors*. *Reviews of Modern Physics*, 57(3): 617-656.
- Edenhofer, O., Bauer, N. and Kriegler E.(2005), *The Impact of Technological Change on Climate Protection and Welfare: Insights from the Model MIND*, *Ecological Economics*, 54 (2-3): 277-292.
- Edenhofer, O., Carraro, C., Köhler J. and Grubb M. (Guest eds.), (2006), *Energy Journal: Special Issue (27) 'Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization'*.
- Embrechts, P., Klüppelberg, C., Mikosch, T.: *Modelling extremal events for insurance and finance*, Springer, 1997
- McGranahan, Balk D, Anderson B (2007). "The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones." *Environment and Urbanization* 19: 17 - 37.
- Gao, J. and Zheng, Z., 1994. *Direct dynamical test for deterministic chaos and optimal embedding of a chaotic time series*. *Physical Review E*, 49, 3807-3814.
- Girardet, H. (1998) *Sustainable cities: a contradiction in its terms?* In Fernandes, editor, *Environmental Strategies for Sustainable Development in Urban Areas: Lessons from Africa and Latin America*, Ashgate, Aldershot.
- Heegaard, E., Birks, H.J.B. and Telford, R.J., 2005. *Relationships between calibrated ages and depth in stratigraphical sequences: an estimation procedure by mixed-effect regression*. *Holocene*, 15(4): 612-618.
- Heisig P & Orth R (2005): *Wissensmanagement Frameworks aus Forschung und Praxis. Eine inhaltliche Analyse*. eureka, Berlin
- Hunt, J.C.R., Maslin, M., Killeen, T., Backlund, P., Schellnhuber, H.J. (2007): "Climate change and urban areas: research dialogue in a policy framework." *Phil Trans. T. Soc. A*, 2615-2629
- IPCC (2007): *Climate change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. WG II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press
- Jahnke I (2006): *Dynamik sozialer Rollen beim Wissensmanagement. Soziotechnische Anforderungen an Communities und Organisationen*. DUV Verlag, Wiesbaden
- Ju W, Lam N.S.N, Chen J (2006) *Application of Kohonen self-organising map for urban structure analysis*. In *Granular Computing*, p. 188-122, IEEE International Conference, IEEE Service Center Piscataway.
- Keller, K., C. Deutsch, M. G. Hall and D. F. Bradford (2007): *Early detection of changes in the North Atlantic meridional overturning circulation: Implications for the design of ocean observation systems*, *Journal of Climate*, 20, 145-157.

- Kennedy, C.A., J. Cuddihy, and J. Engel Yan (2007). The changing metabolism of cities, *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59
- Kindermann, S., Stockhause, M., Ronneberger, K. (2007). Intelligent Data Networking for the Earth System Science Community. German E-Science Conference GES'2007.
- Kostelich, E.J. and Schreiber, T. (1993). Noise-Reduction in Chaotic Time-Series Data - a Survey of Common Methods. *Physical Review E*, 48(3): 1752-1763.
- Kropp J.P. (1998) A neural network approach to the analysis of city systems. *Applied Geography*, 18(1): 83-96
- Kropp J.P., Lüdeke M.K.B. & Reusswig F (2001): Global Analysis and Distribution of Unbalanced Urbanization Processes: The Favela Syndrome. *GAIA*, 10(2), 109-12
- Lorenz, H. Held, E. Bauer, T. Schneider von Deimling (2009), Constraining ocean diffusivity from the 8.2 ka event, *Climate Dynamics*, (in press).
- Maraun, D., Kurths, J. and Holschneider, M. (2007). Nonstationary Gaussian processes in wavelet domain: Synthesis, estimation, and significance testing. *Physical Review E*, 75(1): 016707.
- Marwan, N., Trauth, M.H., Vuille, M., Kurths, J. (2003). Comparing modern and Pleistocene ENSO-like influences in NW Argentina using nonlinear time series analysis methods, *CLIMATE DYNAMICS*, 21, 317-326.
- Marwan, N., Romano, M.C., Thiel, M. and Kurths, J., (2007a). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports-Review Section of Physics Letters*, 438(5-6): 237-329.
- Marwan, N., Kurths, J. and Saparin, P., (2007b). Generalised Recurrence Plot Analysis for Spatial Data. *Physics Letters A*, 360(4-5): 545-551.
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., William Hare, Sarah C. B. Raper, Katja Frieler, Reto Knutti, David J. Frame, Myles R. Allen (2009), Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2°C, *Nature*, 458, 1158-1162
- Mudelsee, M., 2009. Break Function Regression, *European Journal of Physics ST*, 174, 49-63.
- Ngamga, E.J. et al., 2007. Recurrence analysis of strange nonchaotic dynamics. *Physical Review E*, 75(3): 036222
- Nicolis, C., Balakrishnan, V. and Nicolis, G., 2006. Extreme events in deterministic dynamical systems. *Physical Review Letters*, 97(21): 210602
- Ott, E., Sauer, T. and Yorke, J.A. (1994). *Coping with Chaos*. Wiley Series in Nonlinear Science. John Wiley & Sons, New York.
- Palus, M., Vejmelka, M. (2007). Directionality of coupling from bivariate time series: How to avoid false causalities and missed connections, *Physical Review E*, 75, 056211.
- Quiñero, R., Kreuz, T., Grassberger, P. (2002). Event synchronization: A simple and fast method to measure synchronicity and time delay patterns, *Physical Review E*, 66, 041904
- Romano, M.C., Thiel, M., Kurths, J., Kiss, I.Z. and Hudson, J.L. (2005). Detection of synchronization for non-phase-coherent and non-stationary data. *Europhysics Letters*, 71(3): 466-472.
- Romano, M.C., Thiel, M., Kurths, J., Grebogi, C. (2007). Estimation of the direction of the coupling by conditional probabilities of recurrence, *Physical Review E*, 76, 036211.
- Rust, H. W., 2009. The effect of long-range dependence on modelling extremes with the generalised extreme value distribution, *European Journal of Physics ST*, 174, 91-97.
- Rozenfeld H, Diego Rybski, José S. Andrade, Michael Batty, H. Eugene Stanley, & Hernán A. Makse (2008) : Laws of Population growth, *PNAS* 105(48): 18702 ,
- Satterthwaite, D. (2008): Cities' contribution to global warming. *Environ. Urban*. 20(2), 539-549
- Schneider von Deimling, T., Held, H., Ganopolski, A. and Rahmstorf, S. (2006), Climate sensitivity estimated from ensemble simulations of glacial climates, *Climate Dynamics* 27, 149–163.
- Schiller, F. (2009) Linking material and energy flow and social theory, *Ecological Economics*, 68 (6), p.1676-1686
- Shim, G.-E., Rhee, S.-M., Ahn, K.-H., Chung, S.-B. (2006) The relationship between the characteristics of transportation energy consumption and urban form *Ann. Reg. Sci.* 40, 351-367.
- Seto KC, Fragkias M, Güneralp B, Reilly MK (2011) A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. *PLoS ONE* 6(8): e23777
- Shimoda, Y., Asahi, T., Taniguchi, A., Mizuno, M. (2007) Evaluation of city scale impacts of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model *Energy*, 32 (9), p.1617-1633
- Thiel, M., Romano, M.C., Kurths, J., Rolf, M. and Kiegl, R. (2006). Twin surrogates to test for complex synchronisation. *Europhysics Letters*, 75(4): 535-541.
- Tsonis, A.A. and Swanson, K.L. (2008). Topology and Predictability of El Niño and La Niña Networks. *Physical Review Letters*, 100(22).
- Wood J. (2007) Synergy city; planning for high density, super-symbiotic society. *Landscape and Urban Planning* 83, 77-83.

Zhang LX, Chen B, Yang ZF, Chen GQ, Jiang MM, Liu GY (2009): Comparison of typical megacities in China using emergy synthesis. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14 (6), p.2827-2836
Zolotova, N.V. and Ponyavin, D.I. (2006). Phase asynchrony of the north-south sunspot activity. *Astronomy & Astrophysics*, 449(1): L1-L4.

I.5 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Die entwickelten Toolboxes stehen der Öffentlichkeit als openSource bzw. unter einer GPL zur Verfügung. Publikationen oder sonstige Produkte innerhalb der Teilprojekte wurden, wenn immer möglich, unter Creative Commons oder GNU Public Licence verfügbar gemacht. Im Rahmen der Arbeiten zum Thema Wissenskommunikation (Teilprojekt C2.1) wurde beim Deutschen Patentamt München der Eintrag einer Wort-Bild-Marke "Climate Media Factory" beantragt und bewilligt (Gemeinschaftsprojekt PIK/HFF). Alle aus dem Kontext erfolgten Beiträge zum Thema Klima und Geoinformationen erfolgen unter diesem Logo.

I.6 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste (Auswahl)

Die Forschungen in den Teilprojekten basierten auf wissenschaftlichen Zeitschriften, insbesondere auf abonnierten Recherche-Diensten der Bibliothek des Wissenschaftsparks (z.B. Web-of-Science), und auf allgemeinen Internet-Recherchen. Für einzelne Themen bestanden Probleme entsprechende Literatur zu identifizieren. Dies galt z.B. Modellierungstechniken zur Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen und Entscheidungen unter Unsicherheit vorangetrieben. Die Recherchen haben gezeigt, dass insbesondere im Rahmen der Darstellung von Ergebnissen mit einer räumlich variablen Unsicherheit nach wie vor ein großes Wissensdefizit besteht. So wurden Teile der Informationsrecherchen durch öffentliche Gruppen auf Mendeley einer breiteren wissenschaftlichen Öffentlichkeit verfügbar gemacht, um Diskussionen zu stimulieren. Insbesondere für die Themen „Entscheidungen unter Unsicherheit“¹ und zu Transformationsprozessen² sowie für die stadtbezogene Literatur ist dies erfolgt.

I.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

I.7.1 Teilprojekt A3

Im Laufe des Teilprojektes A3.2 ergaben sich neben den Progress-internen Kooperationen (A3.1, B2, C1, D) auch außerhalb von PROGRESS eine intensive Zusammenarbeit, z. B. mit dem GFZ Potsdam (Saskia Förster, Birgit Plessen, Tobias Rawald), der ETH Zürich (Sebastian Breitenbach), der Akademie der Wissenschaften Prag (Milan Paluš), dem Instituts für Geowissenschaften der Universität Potsdam (Bodo Bookhagen), dem ZMAW Hamburg (Philip Menzel), sowie dem Senckenberg Forschungsinstitut, Forschungsstelle Weimar (Martina Stebich, Nils Riedl).

Ebenso ergab sich die Zusammenarbeit mit mehreren Personen innerhalb des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Michael Flechsig, Thomas Nocke (beide PROGRESS B 2), Bedartha Goswami (DFG-Projekt HIMPAC), Nora Molkenhain (DFG Graduiertenkolleg "Sichtbarkeit und Sichtbarmachung"), Veronika Stolbova, Liubov Tupikina (Marie Curie ITN "LINC"), Deniz Eroglu (WGL project), Niklas Boers (DFG IRTG 1740), Aljoscha Rheinwald (DFG project).

I.7.2 Teilprojekt B2

Im Laufe des Teilprojektes B2.1.1 ergaben sich neben den PROGRESS-internen Kooperationen (A3, C1, D) auch außerhalb von Progress eine intensive Zusammenarbeit mit dem Visualisierungs-Lehrstuhl der Universität Rostock (Prof. Schumann) und der philosophischen Fakultät der Universität Potsdam (DFG Graduiertenkolleg 1539, Sichtbarkeit & Sichtbarmachung, Dieter Mersch & Birgit

¹<http://www.mendeley.com/groups/2161903/decision-under-uncertainty/>

²<http://www.mendeley.com/groups/1472313/sustainability-transitions/>

Schneider). Im Laufe des Teilprojektes B2.1.2 ergab sich die Zusammenarbeit mit mehreren Wissenschaftlern innerhalb des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Jobst Heitzig, Norbert Marwan (beide PROGRESS A3), sowie Bedartha Goswami (DFG-Projekt HIMPAC), Nora Molkenhuth (DFG Graduiertenkolleg "Sichtbarkeit und Sichtbarmachung") und Liubov Tupikina (Marie Curie ITN "LINC"). Über PROGRESS und das Forschungsinstitut hinaus wurden die innerhalb von PROGRESS entwickelten Methoden in der Zusammenarbeit mit Martina Stebich, Senckenberg Forschungsinstitut, Forschungsstelle Weimar (DFG-Projekt HIMPAC), Sebastian F.M. Breitenbach, ETH Zürich (DFG-Projekt HIMPAC) sowie Bronwen Konecky, University of Colorado, Boulder/ Oregon State University angewandt. Die publizierten Ergebnisse aus diesen Kollaborationen werden in Abschnitt II.5.2 aufgeführt.

I.7.3 Teilprojekt D1

Während der Projektlaufzeit wurde eine Kooperation mit Dr. Jose Lizardi, Universidad Nacional Autónoma de México, Institute of Physics zum Thema Urbane Klimamodellierung etabliert, die sich auch in einem Personalaustausch manifestiert hat. Zudem bestehen enge Kontakte zu Prof. Batty University College London. Außerdem erfolgte eine Kooperation zum Lehrstuhl für Service- und Software-Engineering (Lehrstuhlvertretung Dr. Herber) am Institut für Informatik, Universität Potsdam aufgebaut, um ein System zu entwickeln, welches Datenauswertungsprozesse im Sinne von Climate Information Services über das Internet verfügbar macht und damit eine nutzerspezifische Analyse zu ermöglichen.

Wegen der strukturellen Veränderung des inhaltlichen Profils, welche sich aus der hohen Personalfuktuation ergab (ungewöhnlich zügiges Einreichen von Dissertationen; Ruf von Hermann Held an U Hamburg) wurde auch die Evaluierung spezifischer Messprogramme an die U Hamburg verlagert. Dadurch entfielen geplante Kooperationen mit ESA und DLR. Stattdessen wurde zusätzlich ins Programm aufgenommen, die Sozialer-Planer-Ergebnisse des Schadensteils im Hinblick auf reale Akteure interpretierbar zu machen. Dazu wurde im Hinblick auf Klimaschäden ein stilisiert disaggregiertes Schadensmodell erstellt, in dem die Wohlfahrtskonsequenzen heterogener Schäden mit und ohne Versicherungslösung studiert werden konnten. Ferner wurde ein räumlich aufgelöstes gekoppeltes Energie-Ökonomie-Klimamodell erstellt, das es erlaubt, die Folgen unsicherer Klimapolitik in den Regionen zu studieren.

Eine intensive Zusammenarbeit bestand vor allem mit dem Themenbereich D2 (GFZ: AG Lauterjung/Zschau, Entscheidungsunterstützungssysteme), D3 (AG Jann Uni Potsdam, Politikmechanismen) sowie B2 (Datenanalyse/Visualisierung). Um den Bezug zur Wissenskommunikation sicherzustellen, erfolgte ebenfalls eine enge Kooperation mit der Hochschule für Film und Fernsehen Konrad Wolf (heute: Filmuniversität Potsdam) (Teilprojekt C2).

II. Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.1.1 Teilprojekt A3

Zur Erfüllung der gesetzten Ziele wurden die folgenden Aktivitäten während der Projektlaufzeit betrieben.

II.1.1.1. Umgang mit Datierungsungenauigkeiten

Es wurde eine neuartige allgemeine Regressions-Methode (MOTABAR) entwickelt zum Umgang mit Messfehlern und -ungenauigkeiten, die bei Daten aus Geoarchiven vorkommen (Heitzig, SIAM J Sci Comput, 2013). Die Methode ermöglicht eine Rekonstruktion des zeitlichen Verlaufs einer Messgröße auf Basis von unsicheren Proxymessungen und Datierungen, deren Fehler auch korreliert sein können (wie etwa bei Zählchronologien). Ein Bayes'sches Updatingverfahren erlaubt es dabei, etwaiges Expertenwissen (z.B. über Randbedingungen oder die geschätzte Variabilität) in Form von a-

priori-Verteilungen zu berücksichtigen, während die resultierende a-posteriori-Verteilung Aufschluss über den prinzipiell nicht reduzierbaren verbleibenden Grad an Unsicherheit nach der Rekonstruktion gibt. Die Methode wurde prototypisch implementiert und verfügbar gemacht (<http://www.pik-potsdam.de/members/heitzig/motabar>). Auf ihrer Basis wurde eine Bayes'sche Methode zur Rekonstruktion von Proxyzeitreihen unter Dating-Unsicherheiten entwickelt und anhand von ersten Paläoklimadaten getestet (Goswami et al, NPG 2014).

Parallel dazu wurde ein Monte-Carlo-basiertes Framework zur Konstruktion von Proxidenten-Altersmodellen entwickelt und für Matlab und Octave implementiert (CONstructing Proxy-Record Age models – COPRA). Es erlaubt die Vorbehandlung von Datierungsdaten (Ausreißer, Alters-Reversals, Hiaten) sowie die Integration von Zählchronologien. Aktuell ist eine Monte-Carlo-Unsicherheitsabschätzung implementiert, die künftig durch die MOTABAR Regressions-Methode ausgetauscht werden soll. Dieses Framework wurde 2012 publiziert (Breitenbach et al, ClimPast, 2012) und ist über unsere Webseite frei zugänglich (<http://tocsy.pik-potsdam.de/copra.php>). Unter Matlab kann dieses Framework auch mit einer graphischen Benutzeroberfläche komfortabel bedient werden. COPRA wurde bereits in mehreren Projekten außerhalb von PROGRESS erfolgreich angewendet, z. B. in den Studien:

Kennett et al.: Development and Disintegration of Maya Political Systems in Response to Climate Change, *Science*, 338(6108), 788–791 (2012).

H. E. Ridley et al: Aerosol forcing of the position of the intertropical convergence zone since ad 1550, *Nature Geoscience*, 8, 195–200 (2015).

P. Menzel et al: Linking Holocene drying trends from Lonar Lake in monsoonal central India to North Atlantic cooling events, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 410, 164–178 (2014).

Die vielversprechende Entwicklung des MOTABAR-Ansatzes wurde als Ausgangspunkt genutzt, die Rekurrenzanalysen mit diesem Ansatz zu kombinieren. Die Arbeiten konnten zwar innerhalb der Laufzeit von PROGRESS nicht mehr abgeschlossen werden, werden jedoch von unserer Gruppe aktuell zu einer Publikation vorbereitet.

Gemeinsam mit dem Themenbereich C1.1 (Gruppe Dransch) wurde ein Visual Analytics-Ansatz entwickelt, der Unsicherheitsdarstellung mit Korrelationsanalysen und interaktiven Aspekten kombiniert. Ausgangspunkt sind ebenfalls die prozessierten Daten aus MOTABAR oder COPRA. Mit diesem neuen Tool konnte erstmalig der Grad der Replizierbarkeit von Paläoklima-Proxys statistisch untersucht werden. Eine Publikation der Arbeit ist für die EuroVis 2015 in Paris angenommen (Köthür et al, EuroVis 2015).

II.1.1.2. Methoden für nicht-äquidistant abgetasteten Zeitreihen

Gemeinsam mit Projekt B2 wurden verschiedene Ansätze zur Analyse nicht-äquidistanter Zeitreihen, die ebenfalls in Geoarchiven häufig sind, implementiert und auf Proxy-Daten zum asiatischen Monsunsystem angewendet. Dabei wurde herausgefunden, dass es deutliche Unterschiede in der räumlichen Struktur des Monsunsystems während der Kleinen Eiszeit und des Mittelalter-Klimaoptimums gibt (Rehfeld et al, NPG, 2011). Die Implementierung der Methodik ist als Toolbox (NESTool) für Matlab und Python frei verfügbar (<http://tocsy.pik-potsdam.de/nest.php>). Das Verfahren fand inzwischen Anwendungen in verschiedenen Fragestellungen, u. a., zur Abschätzung von Korrelationen zwischen verschiedenen Speleothem-d18O-Daten von Belize, Schottland, Mitteleuropa und Marokko (Ridley et al, Nat Geo, 2015) sowie zwischen Speleothem-d18O- und Baumring-Daten in Asien (Rehfeld et al, Clim Dyn, 2013).

Ein alternativer Ansatz hat sich erst zum Ende von PROGRESS ergeben, bei dem eine nicht-äquidistante Zeitreihen anhand einer Kostenfunktion auf eine äquidistante Zeitreihen überführt wird und anschließend untersucht werden kann. Die Arbeiten wurden im Anschluss an PROGRESS abgeschlossen und zur Publikation eingereicht (Ozken et al. subm).

II.1.1.3. Bivariate Rekurrenzanalysen

Im Rahmen unserer Arbeiten innerhalb von PROGRESS wurde deutlich, dass bivariate Analysen ebenfalls sehr wichtig sind die Arbeiten von A3 und B2 auf diesem Gebiet sehr gut ergänzen. Die Zusammenarbeit mit Projekt B2 zur Analyse von ähnlichen Variationen und Dynamiken zwischen verschiedenen Geoarchiven beinhaltete einerseits die Weiterentwicklung von Ähnlichkeits- und Kopplungsmaßen (basierend auf Wiederkehrstrukturen und informationstheoretischen Ansätzen) sowie andererseits die Anwendung von Methoden aus der Theorie Komplexer Netzwerke (Feldhoff et al, PLA, 2012, Goswami, PhysA, 2012, Runge et al, PRL, 2012, Runge et al, PRE, 2012). Hervorzuheben ist hier eine Erweiterung, die aus der Kombination von joint recurrences und komplexen Netzwerken besteht (Feldhoff et al, EPL, 2013). Die Ansätze wurden wieder auf Proxy-Daten zum asiatischen Monsunsystem angewendet (Feldhoff et al, EPL, 2013). Dabei wurden unsere früheren Ergebnisse, dass es deutliche Unterschiede in der räumlichen Struktur des Monsunsystems während der Kleinen Eiszeit und des Mittelalter-Klimaoptimums gibt, bestätigt (Rehfeld et al, ClimDyn, 2012).

Ausgehend vom Konzept bedingter Wiederkehrwahrscheinlichkeiten wurde ein Verfahren zur Identifikation von indirekten Kopplungen entwickelt (Zou, IJBC, 2011). Dieser Ansatz wurde weiterentwickelt und konnte komplexe Zusammenhänge zwischen globaler Erwärmung, atmosphärischen Aerosolen, Sonnenaktivität und anthropogenen Emissionen aufzeigen (Goswami et al, EPJST, 2013). Die generelle Anwendbarkeit der Methode auf ähnliche Fragestellungen in verschiedensten Disziplinen wurde durch deren Anwendung auf kardiorespiratorische Daten beispielhaft belegt (Marwan et al, Phil Trans Roy Soc A, 2013).

II.1.1.4. Rekurrenz und Netzwerke

Die Idee der graphentheoretischen Auswertung von Rekurrenzplots (Recurrence Networks) wurde aufgegriffen und weiterentwickelt. Dabei konnten grundlegende und neue theoretische Erkenntnisse gefunden werden (Donges et al, PRE, 2012). Auf dieser Grundlage haben wir ein neues Dimensionsmaß zur Beschreibung der Topologie des Phasenraumattraktors entwickelt, welches sich deutlich einfacher berechnen lässt als durch die bisherigen Berechnungsmethoden (Zou et al, EPL, 2012). Die Ergebnisse der Arbeiten sind in zahlreichen Veröffentlichungen erschienen sowie wurden in Fachbeiträgen auf mehreren internationalen Konferenzen vorgestellt.

II.1.1.5. Fortschritte in der Rekurrenzanalyse

Für die Berechnung von Maßen aus recurrence plots wurde ein Signifikanztest entwickelt und publiziert (Marwan et al, EPL, 2013). Mit dessen Hilfe wurden Klimaübergänge anhand eines Paläo-Oberflächenwassertemperatur-Datensatzes für die letzten 3 Mio. Jahre identifiziert.

Die Methode der Rekurrenzplots wurde um eine neue Definition von Rekurrenz (Wiederkehr) erweitert, bei der die Umkehrpunkte lokaler Distanzen im Phasenraum betrachtet werden (Schultz, IJBC, 2011). Ausgehend vom Konzept der Rekurrenzplots wurde ein Verfahren zur Analyse von Wiederkehrzeiten entwickelt (Ngamga et al, PRE, 2012).

Ausgehend von Rekurrenzen wurde das Konzept der Fluctuation of similarity eingeführt (Malik et al, PRE 2014). Dieser neue Ansatz könnte künftig ebenfalls für die Bewertung von kritischen Übergängen oder extremen Klimaereignissen eine wichtige Rolle spielen. Eine ähnliche Zielstellung verfolgte die Untersuchung, ob man mit der relativ einfachen Bestimmung der Einbettungsdimension die zeitliche Veränderung der Dynamik beobachten kann (Neuman et al, PloS One, 2014).

Schließlich wurden in einer Grundsatzarbeit die Schwierigkeiten und Fallstricke der Rekurrenzplot-Methodik erarbeitet und dokumentiert (Marwan, IJBC, 2011).

Für eine multiskalen recurrence plot Analyse wurden ersten Untersuchungen begonnen, jedoch noch nicht zum Abschluss gebracht. Hierzu wurden jedoch wichtige Kontakte zu internationalen Experten geknüpft (Hui Yang, University of South Florida).

Die Gruppe um Doris Dransch (Themenbereich C1.1) hat die Neuimplementierung von recurrence plot basierten Analysen auf Basis einer hocheffizienten GPU-Implementierung übernommen (Rawald et al 2014). Dadurch konnten für lange Zeitreihen Laufzeitverbesserungen um den Faktor 70 erreicht werden (bei einer Zeitreihe mit ungefähre Länge von 1 Mio. Punkten Laufzeitverbesserung von über 6 Stunden auf etwa 5 Minuten). Diese Optimierung ist essentiell für weitere Untersuchungen von sehr langen Zeitreihen.

Während der Arbeiten in PROGRESS konnten Kooperationen aufgebaut werden, die weiter genutzt werden. So wurde z. B. mit dem GFZ (S. Foerster) gemeinsam ein Ansatz zur raumzeitlichen Rekurrenzanalyse von Satellitenbasierten Daten erarbeitet (Marwan et al, Phys Lett A, 2015), der für die allgemeine Zielstellungen des Gesamtvorhabens nutzbar gemacht werden soll.

II.1.1.6. Raumzeitliche Analysen

Durch die Arbeiten mit komplexen Netzwerken ergaben sich weitere interessante neue Ideen und Konzepte, um komplexe Strukturen in raumzeitlichen Daten (z. B. in räumlichen Niederschlagsverteilungen) zu analysieren. Die Entwicklung von Ähnlichkeits- und Kopplungsmaßen (siehe oben) bilden die Grundlage für die Rekonstruktion von komplexen Netzwerken aus raumzeitlichen Daten. Allerdings beinhalten räumlich eingebettete Netzwerke typische Probleme, wie Randeffekte und unterschiedliche Knotendichten durch das benutzte Koordinatennetz. Hier haben wir Ansätze entwickelt, um diese Schwierigkeiten zu lösen. Randeffekte können mit speziellen Netzwerkmodellen abgeschätzt und zur Korrektur herangezogen werden (Rheinwalt et al, EPL, 2012); der Einfluss unterschiedlicher Knotendichten kann durch ein bestimmtes Gewichtungsverfahren der Netzwerkmaße reduziert werden (Heitzig et al, Europ J Phys B, 2012). Das Potential dieser Korrekturen wurde anhand von Niederschlagsdaten bzw. klimatologischen Daten dargestellt. Z. B. wurde es zur raumzeitlichen Analyse und zur Entwicklung eines Vorhersagemodells von extremen Niederschlägen in Deutschland und Südamerika angewendet (Rheinwalt et al. subm, Boers et al, Nat Comm, 2014).

Für die netzwerkbasierende Datenanalyse, im speziellen für die interagierenden Netzwerke, wurden neue Maße zur quantitativen strukturellen Beschreibung entwickelt und auf Klimadaten angewendet (Donges et al, EPJB, 2011). Ziel ist, mit dieser Methode ausgezeichnete Wetterlagen, die zu Wetterextremen führen können (z. B. Vb-Großwetterlage in Mitteleuropa, oder Flut in Pakistan und Waldbrände in Russland 2010), zu identifizieren.

Dieser netzwerkbasierende Ansatz zur Analyse raumzeitlicher Daten wurde auch durch theoretische Überlegungen zur Interpretierbarkeit deutlich vorangebracht (Molkenthin et al., Sc Rep, 2014).

II.1.1.7. Weitere Arbeiten

Darüber hinaus wurde ein Durchbruch beim PROGRESS-Fokusthema „Governance-Strukturen“ erreicht: Es konnte gezeigt werden, dass entgegen bisherigen Annahmen einerseits eine speziell entwickelte Kompensationsstrategie die Durchsetzung von internationalen Klimaverträgen erleichtern kann (Heitzig et al, PNAS, 2011) und andererseits eine hierarchische Koalitionsbildung langfristig zu globaler Kooperation führen sollte, wenn die Akteure hinreichend rational agieren (SSRN International Institutions eJournal, 2011). Ein weiterer Beitrag zu diesem Thema hat gezeigt, dass durch Kombination moderner spieltheoretischer Konzepte mit der Theorie komplexer dynamischer Systeme ein Modell zur weitsichtigen strategischen Koalitionsbildung entwickelt und auf Kosten/Nutzenstrukturen aus gängigen Integrated-Assessment-Modellen angewendet werden kann (Heitzig, Climate Change Law & Policy eJournal, 2012).

Mit A1.3 (Scherler) wurde eine Pilotstudie zur Bewertung von Schneehöhen-Veränderungen aufgrund von Klimaveränderungen durchgeführt. Die Idee ist, aus Fernerkundungsdaten neuartige Daten zu gewinnen und für die Quantifizierung von Umweltveränderungen heranzuziehen.

Neben der stark methodisch orientierten Arbeit hat sich die Möglichkeit ergeben, das probabilistische Model STARS auf historische Daten aus Mitteleuropa anzuwenden und damit einen

zeitlich extrem hochaufgelösten Paläoklima-Datensatz für Deutschland für den Zeitraum 1500 bis 1999 zu produzieren. Die Parameter des Datensatzes entsprechen denen heutiger Wetterstationen (z. B. Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchte, Wind, Luftdruck, Wasserdampfdruck, Sonnenscheindauer, Bewölkung, etc.) und erlauben damit den direkten Vergleich mit heutigen Wetterdaten. Die weitere Analyse dieser Daten ist jedoch noch nicht abgeschlossen. Die Daten stehen jedoch weiterhin für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung.

II.1.2 Teilprojekt B2

In diesem Teilprojekt wurden vor allem Fragestellungen bearbeitet, von denen ein wesentlicher methodisch übergreifender Beitrag zu den Zielen des PROGRESS-Verbundes zu erwartet war.

Weiterentwicklung und Implementierung von *nichtlinearen Methoden* zur Analyse raum-zeitlicher Daten: Insbesondere wurde hier Wert auf das Synchronisations- und Rekurrenzverhalten in Datensätzen aus dem Projektverbund gelegt. Viele Prozesse in der Natur, wie z. B. Telekonnektionen, sind gekoppelt. Diese Kopplungen sind jedoch keinesfalls linear und unterliegen zufälligen Schwankungen und Unsicherheiten. Lineare Verfahren versagen hier oft bei der Bestimmung solcher Kopplungen. Die Analyse von Wiederkehrereigenschaften und von Komplexen Netzwerken verspricht hier in Zukunft einen deutlichen Erkenntniszuwachs. Dabei spielen die Bestimmung von Ereignis-Synchronisationen und indirekten Kopplungen durch moderne Verfahren (wie Recurrence Plots) eine besondere Rolle.

Aufbau eines integrierten Systems zur nichtlinearen Datenanalyse mit einfachem Zugriff auf Daten und Analysemethoden: Die Entwicklung neuartiger Messsysteme und die fortschreitende Entwicklung in der digitalen Rechentechnik haben auch in den Geowissenschaften zu einer Revolution bei der Datenerhebung und Datenspeicherung geführt. Die prinzipielle Verfügbarkeit derart massiver Datensätze stellt eine Chance dar, neue Datenanalyse-Methoden zu erproben und weiterzuentwickeln, um zu dem gewünschten Verständnis der die Daten generierenden Prozesse zu erlangen. Gleichzeitig stellen massive raum-zeitlich dynamische Datensätze durch ihre Komplexität und Heterogenität (Datenquellen, -strukturen und -formate) eine Herausforderung an die systematische Aufarbeitung, die Methoden für einen einfachen Zugriff (Suche), die Verknüpfung mit Metadaten, die Schnittstellen zur Datenanalyse und die Einbeziehung von Expertenwissen dar.

Visualisierung von raum-zeitlicher Datensätzen und Modellsimulationen: Die Auswertung raum-zeitlicher Ensemblesimulationen ist essentiell für das Verstehen von geophysikalischen Modellen, deren Validierung und deren Weiterentwicklung. Insbesondere die dabei auftretenden hochdimensionalen Räume erschweren die Auswertung von Unsicherheits- und Sensitivitätsstudien auf solchen Modellen. Hier ergibt sich ein hohes Potential für den Einsatz von state-of-the-art Methoden aus dem Bereich des Visual Analytics. Insbesondere die Skalierbarkeit für die großen Datenmengen erfordern neue, effiziente Ansätze aus dem Gebiet der Visualisierungsforschung.

II.1.2.1. Integriertes System zur Nicht-linearen Datenanalyse

Über einem Literaturstudium und der Weiterbildung auch auf internationalen Konferenzen erfolgte eine Einarbeitung in das Gebiet des Workflow-Managements. Basierend darauf wurde ein Grobkonzept entworfen (AP2). Relevante Bausteinklassen (Datenimport, Datentransformation, Datenvorverarbeitung, nichtlineare Analyse, Visualisierung) wurden identifiziert. Grundlegende Schemata für Workflows für nichtlineare Analysen von Geodaten mit anschließender Visualisierung wurden entworfen, und das allgemeine Bausteinkonzept konkretisiert. Mehrere Workflow-Management-Systeme wurden erfolgreich installiert und getestet (Keppler, Taverna, Wings/Pegasus) (AP8). Insbesondere wurden in diesen Systemen Workflows im Bereich Visual Analytics umgesetzt und getestet.

Nach intensiven Abstimmungen hat sich die Zusammenarbeit insbesondere mit dem Arbeitspaket B2.1.2 und den Themenbereichen C1 – Informationsintegration und Visualisierung – und A3 – Extremereignisse in Geoarchiven - sowie außerhalb von PROGRESS mit der Regionalklima-Gruppe des PIK (Prof. Gerstengarbe, PIK-Forschungsfeld 2) als fruchtbar für die Anwendung von Workflows

erwiesen. Daraus ergaben sich drei Anwendungsbereiche von Workflows, mit einem starken Bezug zu Visual Analytics (Themenbereich C1) bzw. zur Wissenschaftskommunikation:

Innerhalb des PROGRESS-Forschungsverbundes:

I. Visual Analytics von Klimanetzwerken und -zeitreihen (Nocke et al., 2015):

Analyseketten von Klimadaten mit nichtlinearen Methoden wurden in enger Abstimmung mit B2.1.2 und B2.2 umgesetzt und für eine Visuelle Analyse aufbereitet (zusammen mit C1, Gruppe Döllner sowie in Kooperation mit der Universität Rostock) ([Tominski, Donges & Nocke 2011](#), Nocke et al. 2015). Visualisierungssysteme wurden für die Bedürfnisse von Klima-Netzwerken erweitert (z.B. 3D-Netzwerke, Edge-Bundling).

II. Webbasierte, interaktive Visualisierung von Gletscherbewegungen (in Kooperation mit Dirk Scherler A1.3)

III. Visuelle Analyse von langen Zeitreihen mit Hilfe eines Entropieansatzes (in Kooperation mit Mike Sips, PROGRESS C1)

IV. Visuelle Darstellung von Unsicherheiten in Geo- und Klimadaten (PROGRESS D1, Reusser et al., 2011)

V. Beim BMBF-Verbundforschungsvorhaben C3Grid-INAD – „Towards an infrastructure for general access to climate data“ – (FKZ BMBF-01LG1004G):

Visual Analytics von Ensemble-Läufen von raum-zeitliche Klimadaten (Schulz et. al, 2013, Nocke, 2014), für den Einsatz in einem Klima-Community-Grid wurde das System SimEnvVis (Nocke, 2007) zur Analyse von Ensemble-Klimadaten an die Bedürfnisse der dortigen Metadatencharakteristika angepasst und für Workflow-Anwendungen in C3Grid modifiziert. Visual Analytics-Techniken wurden für dieses Szenario angepasst und neu eingebunden.

Beim EIT/Climate KIC-Projekt CIES (Climate Impact Expert System)

Visuelle Präsentation von regionalen Klimainformationen für Deutschland (www.klimafolgenonline.de): In Zusammenarbeit mit den Kollegen aus der Regionalklima-Gruppe des PIK (PIK-Forschungsfeld 2) wurde ein komplexer Workflow inkl. einer Vielzahl an Simulations- und Datentransformationsmodulen entworfen und umgesetzt, der den Workflow von globalen Klimamodellausgaben über regionalisierte Klima- und Klimaimpaket-Simulationen bis zur Aufbereitung der Daten für die Visualisierung beinhaltet. Weiterhin wurde für die webbasierte Darstellung von Klimainformationen ein GUI-Design mitentworfen sowie Komponenten zur semi-automatischen Farbskalengenerierung umgesetzt.

Bei der Umsetzung der Workflows für diese einzelnen Module haben wir eine starke Heterogenität der einzelnen Workflow-Anwendungsbereiche identifiziert. So wurden z.B. python-basierte Netzwerk-Format-Konverter und Netzwerk-Filter-Komponenten integriert (AP4), die sich jedoch nicht für raum-zeitliche Ensemble-Klimadaten oder die visuelle Präsentation von Klimainformationen einsetzen lassen. Aus diesen sehr heterogenen Anforderungen an die Metainformationen haben wir uns für separate, bottom-up-Entwicklungen auf einer geringen bis mittleren Integrationsstufe entschieden (AP7), wobei sich der Integrationsgrad von den pragmatischen Vorgaben der jeweiligen Anwendungen ableitete. Für jedes einzelne Problem wurden effiziente Teillösungen mit einer Vielzahl von Einzelkomponenten angepasst bzw. umgesetzt (Transformations-, Extraktions- und Filteringkomponenten auf NetCDF-Daten, ASCII-Regionalklimasimulationsdaten und Klimanetzwerken). Diese werden noch heute erfolgreich angewendet (z.B. aktuelle Updates von KlimafolgenOnline, Klimanetzwerkanalysen und -visualisierung, Ensemblestudien auf Klimamodellen).

Es wurde eine allgemeine Metadatenpezifikation für Visual Analytics und eine Konkretisierung für Klimametadaten unter Einbeziehung entsprechender ISO-Standards (AP3) (Schulz et al., in Vorbereitung), eine Spezifikation von Zielen für die Visualisierung (Schulz et al., 2013) sowie eine Spezifikation von Datenschnittstellen für alle drei Anwendungsbereiche (z.B. Format-Leser für die

Konvertierung von regionalen Klimamodellläufen) umgesetzt. Zu einer vollständigen Integration in ein „Metamodell für Methoden“ (AP5) und „ein integriertes System“ (AP7) ist es wegen der Heterogenität der Anwendungsbeispiele nur in Ansätzen gekommen.

Nach Anregungen aus der Themengruppe D (Gruppe Kropp) haben wir ferner einen starken Bedarf an Forschung zu Klimabildern im gesamtgesellschaftlichen Kontext identifiziert. Deswegen wurde eine Kooperation mit der Universität Potsdam (Philosophische Fakultät, Birgit Schneider) initiiert, aus der eine Konferenz („Image Politics: Pictur(e)ing Climate – Visualizations, Imaginations, Documentations“) und ein Buchprojekt zu Klimabildern und deren gesellschaftlichen Implikationen hervorgegangen sind (Schneider & Nocke 2014). Dafür wurden insbesondere ein Übersichtsartikel zur Visualisierung von Klimadaten (Nocke, 2014) und ein Artikel zum Bildgebrauch im klimaskeptischen Spektrum (Schneider, Nocke, Feulner, 2014) veröffentlicht.

II.1.2.2. Entwicklung und Anwendung von nicht-linearen Methoden zur Analyse raum-zeitlicher Daten

Nach einem ausführlichen Literaturstudium und Einarbeitung in lineare und nichtlineare Analysemethoden und ihre Anwendung sowie Anwendbarkeit in den Geowissenschaften (AP1) hat sie adaptierte lineare sowie nichtlineare Ähnlichkeitsmaße (basierend auf linearer Korrelation bzw. Mutual Information) für unregelmäßige Zeitreihen entwickelt, teilweise modifiziert sowie weiterentwickelt und einem extensiven Benchmark-Test unterzogen. Um die Fähigkeiten der Maße einzuordnen, wurde der vergleichende Test verschiedener Analysemethoden unter dem Gesichtspunkt unregelmäßiger Zeitreihen aus Geoarchiven entworfen. Eine Anwendung erfolgte auf Daten aus den Geowissenschaften (u.a. Asiatisches Monsunsystem), wobei die ersten Schritte in Richtung Komplexer Netzwerke aus Paläo-Klimadaten unternommen wurden. Die in AP2 und AP3 entwickelten und getesteten Datenanalysemethoden wurden anlässlich zweier Konferenzen (EGU Wien, MEP Jena) vorgestellt und mit dem Fachpublikum diskutiert. Weitere Kooperationen entwickelten sich mit A3.2 und C1.1. Eine Studentin der Mathematik (Katharina Schmid, FU Berlin) beschäftigte sich im Rahmen eines Praktikums mit entropie-basierten Ähnlichkeitsmaßen.

2011 wurden die Arbeiten, fokussierend auf die Automatisierung von Datenanalysen, planmäßig fortgesetzt. Verfahren zur Bestimmung von Ähnlichkeiten auf komplexen, weil heterogen über der Zeit aufgelösten, Daten wurden weiter getestet, auf Konferenzen vorgestellt und diskutiert, sowie veröffentlicht (mit PROGRESS A3, N. Marwan und J. Heitzig). Das Konzept der Benchmarktests um effiziente Schätzer für Zeitreihen- bzw. Prozesseigenschaften ist neu und wurde vom Fachpublikum gut aufgenommen.

In Zusammenarbeit mit B2.1.1 wurde ein Schema für den Workflow einer entstehenden Software zur Integration, Analyse sowie Visualisierung von Paläodaten entwickelt. Das Konzept der Paläonetzwerke wurde entworfen. Im Kontext der Paläoklimaanalyse verspricht die Automatisierung durch die Konstruktion und Analyse von Paläonetzwerken, basierend auf (nicht)linearen Ähnlichkeiten, eine verbesserte Objektivität und Vergleichbarkeit für räumlich-zeitliche Schlussfolgerungen zu Klimavariabilität und -dynamik im Vergleich zu den bislang verwendeten Methoden.

Mit PROGRESS A3 wurde die Software auf die speziellen Bedürfnisse von aus natürlichen Archiven, z.B. Stalagmiten, marinen Sedimenten oder Eisbohrkernen, angepasst.

2012 stand die Zusammenarbeit mit PROGRESS A3 in der Aufbereitung roher Paläoklimadaten für die Datenanalyse im Fokus. Dazu wurde ein Framework zur Rekonstruktion von Alters-Tiefenbeziehungen und Altersmodellen entwickelt und für Matlab sowie in der OpenSource Software Octave implementiert und veröffentlicht (Softwarepaket COPRA, sowie Veröffentlichung Breitenbach *et al.*, ClimPast, 2012) und eine komplementäre Bayes'sche Methode für die Schätzung von Proxizeitreihen weiterentwickelt.

Die Arbeit an Ähnlichkeitsmaßen für unregelmäßig aufgelöste Zeitreihen, wie sie insbesondere im geowissenschaftlichen Kontext, aber auch in der Medizin, Ökologie oder Astronomie, auftreten

wurde fortgesetzt. Insbesondere wurde dazu die Schätzung für ein nichtlineares Maß aus der Informationstheorie weiterentwickelt, das zusammen mit dem bereits 2011 publizierten Kernel-basierten Schätzer für Pearson-Korrelation die Grundlage für die Paläoklimanetzwerke bildet.

Paläoklimanetzwerke als Grundlage für die Raum-zeitliche Analyse von Paläoklimadaten wurden etabliert und in der systematischen Untersuchung von Variationen im Asiatischen Monsunsystem angewandt. Dabei zeigte es sich, dass die Dynamik innerhalb des Monsunsystems innerhalb der letzten 1000 Jahre starke Veränderungen durchlaufen hat, die möglicherweise im Zusammenhang mit globalen Temperaturänderungen stehen (Rehfeld *et al.*, ClimDyn, 2012).

II.1.3 Teilprojekt D1: Stadtstrukturforschung, Unsicherheit und Eingrenzung von Geoinformationen, Problemorientiertes Wissensmanagement

Gegenstandsbereich des Teilprojektes D1.1 war die Entwicklung eines Stadtmodells unter der Annahme das für die Abschätzung der Klimawirkung von Städten und der Analyse von Impakten auf das Stadtsystem nicht in allen Fällen detaillierte Analysen notwendig sind (model of intermediate complexity)

II.1.3.1. Entwicklung eines modularen Stadtmodells

Innerhalb von Teilprojekt D1.3 wurde zur Entwicklung eines Stadtmodells ein modularer Ansatz verfolgt. Zusätzlich wurde darauf Wert gelegt, sowohl theoretische Ansätze als auch den anwendungsorientierte Fragen verfolgen zu können. Aufgrund der ausgeprägten Komplexität jeder urbanen Siedlung wurde so sichergestellt, dass die Problematik von Städten in Teilaspekte zerlegt werden kann (siehe Abb. 1). Die unterschiedlichen Module nutzen, je nach Fragestellung, sowohl systemdynamische als auch statistische Ansätze.

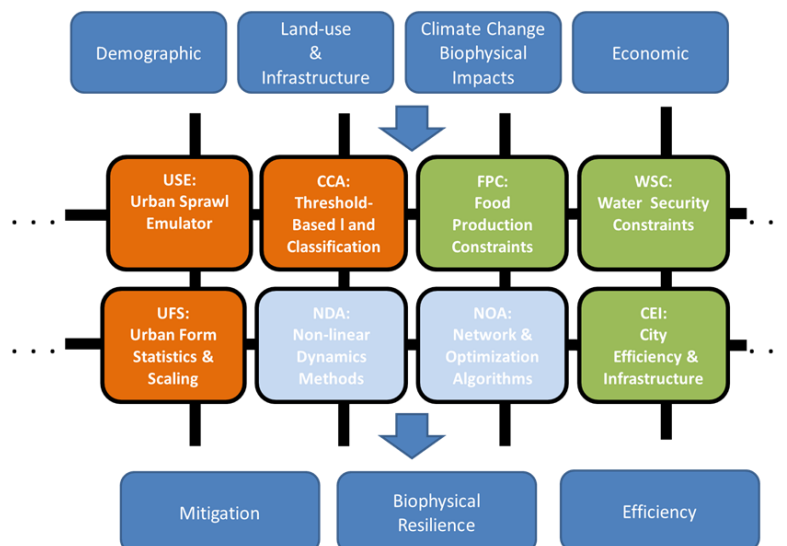


Abbildung 1: Darstellung der unterschiedlichen Module des Stadtmodells "CityOptions". Die Farbgebung korrespondiert zu den jeweiligen Forschungsfragen: Braun: urbane Formfaktoren, bio-physikalische Nachhaltigkeit (grün) sowie Optimierung und Dynamische Ansätze (hellblau).

Bisher wurden folgende Komponenten entwickelt: SEADAM (Damage approach for coastal cities), WINDAM (Damage approach for wind threats in cities), HEATDAM (Damage Approach for urban heat island), URBGRAV (Gravitational City Growth Model) sowie CIFO (City Food Production). Nicht alle Module konnten innerhalb von PROGRESS zur finalen Reife entwickelt werden und werden hier im folgenden detailliert diskutiert. Allerdings konnten basierend auf den PROGRESS Resultaten von der EU zusätzliche Mittel im Umfang von insgesamt 5 Mio. € eingeworben werden, so dass die Fortführung dieser Arbeiten gewährleistet ist (siehe Abschnitt II.3.3).

Die Modellphilosophie innerhalb des Teilprojektes D1.3 unterscheidet sich von bisherigen Ansätzen, weil sie Stadt explizit eine Wechselwirkungseinheit zwischen urbanem Zentrum und Hinterland ansieht. Darauf aufbauend wird das "System Stadt" nicht auf der Basis von z.B. administrativen

Grenzen definiert. Zudem sollte der gewählte Modellansatz nicht nur auf einzelne Agglomerationen anwendbar, sondern zumindest auf kontinentaler Ebene in der Lage sein, charakteristische Stadtmerkmale abzubilden. Aus diesem Grunde wurde auf eine Ansatz von Rozenfeld et al. (2008) zurückgegriffen, welcher Stadt auf der Basis zusammenhängende Cluster gleicher Merkmale (z.B. Bebauung, Bevölkerungsdichte, etc.) definiert. Zu diesem Zweck ist ein ausreichend trennscharfes Landnutzungsmodell notwendig. Des Weiteren muss eine minimale Clusterdistanz definiert werden, damit Städte separiert werden können. Auf diese Weise können Städte schnell und auf globaler Skala identifiziert werden. Ein Beispiel ist in Abb. 2 dargestellt. Der Ansatz wurde im Teilprojekt D1.3 wesentlich erweitert, indem nun auch Polarkoordinaten verwendet werden können, was eine Anwendung auf planetarer Ebene beschleunigt (vgl. Kriewald et al. 2015). Zudem ermöglicht die Erweiterung auch die trennscharfe Detektion und Zuordnung des urbanen Hinterlandes, was für die o.a. Modellkomponenten zwingend erforderlich ist.

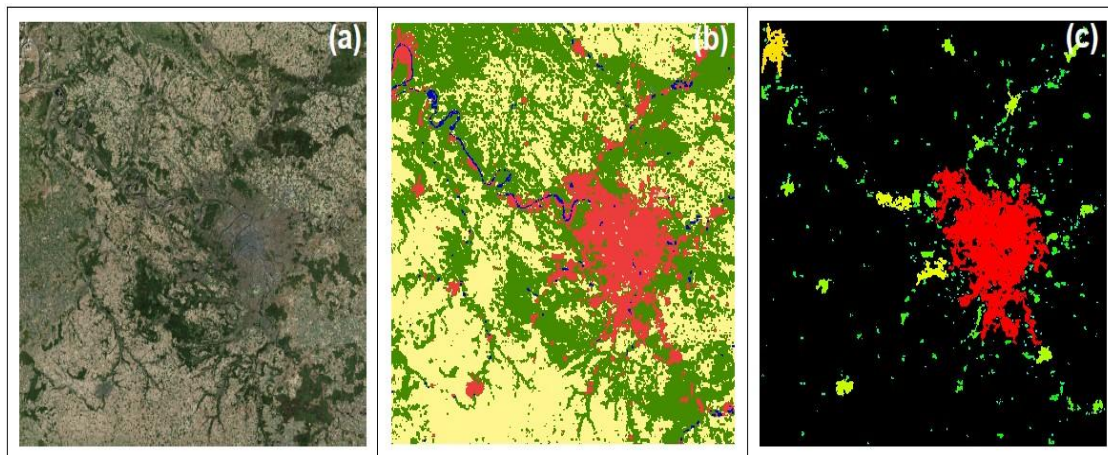


Abbildung 2: Anwendung der CCA Methodologie auf Paris. a) Remote sensing Aufnahme, b) urbane Landnutzung (rot) wie in dem Landnutzungsmodell GlobCover 2009 definiert sowie c) die tatsächliche Ausdehnung von Paris auf der Basis einer minimalen Clusterdistanz von 4km. Es wird deutlich, dass Vorstädte und weiter entfernt liegende urbane Siedlungen klar von Paris abgetrennt werden.

II.1.3.2. Ein Emulator zur Projektion urbaner Expansion (URBGRAV)

Wie in diesem Teilprojekt auch, sind Fragen der zukünftigen Ausdehnung von Städten von zentraler Bedeutung für die Belastbarkeit von Prognosen. Unterschiedliche Modellansätze propagieren perkolations-theoretische, Reaktions-Diffusionsmodelle, oder zelluläre Automaten für das Stadtwachstum. In dem hier verwendeten Ansatz wurde "Tobler's first law of geography: Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things" gefolgt.

Zu diesem Zweck wurde ein 2D Gitter $N \times N$ definiert, dessen Zellen w_j , mit den Koordinaten $j \in \{(1 \dots N, 1 \dots N)\}$ entweder besetzt oder leer sein können (vgl. Rybski et al. 2013). Man startet z.B. mit einem leeren Gitter ($w_j = 0$ für alle j) und einem Nukleationskeim ($w_j = 1, j = (N/2, N/2)$ für alle $N, j = ((N+1)/2, (N+1)/2)$ für ungerade N). Die Wahrscheinlichkeit dass eine Zelle besetzt wird lautet dann:

$$q_j = C \frac{\sum_{k \neq j} w_k d_{j,k}^\gamma}{\sum_{k \neq j} d_{j,k}^\gamma}$$

Wobei $d_{i,k}$ die euklidische Distanz zwischen j und k darstellt. Die Proportionalitätskonstante C ist durch Normalisierung bestimmt, also $C = 1/\max(q_j)$, so dass die Wahrscheinlichkeit 1 ergibt. Der Parameter $\gamma > 0$ ist frei wählbar. Er bestimmt die Stärke des Einflusses besetzter Zellen in Abhängigkeit von der Distanz. Dieser Ansatz liefert sinnvolle Stadtmuster, bei gleichzeitig notwendiger Einfachheit (siehe Abb. 3). Vor allem sind die simulierten Muster konsistent mit dem Zipf'schen Gesetz.

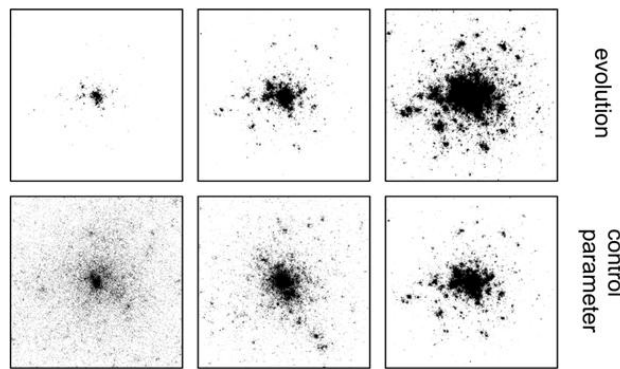


Abbildung 3: Zeitliche Dynamik urbaner Landnutzungs-Entwicklung bei Veränderung der des Parameters γ

Dieser "Ein-Parameter-Emulator" liefert wertvolle Erkenntnisse wie sich Städte zukünftig ausbreiten. In Kombination mit dem CCA Ansatz wurden erste Untersuchungen für die Stadt Paris unternommen. Es ist die Hoffnung, dass dieser Ansatz mit den folgenden Fragen kombiniert werden können und so die zukünftige Stadtdynamik und ihre Konsequenzen global abgebildet werden können.

II.1.3.3. Potentielle Lokale Nahrungsmittelversorgung im Umland der Städte (CIFO)

Urbane Zentren können als Attraktoren für vielfältige Rohstoffe verstanden werden. Der Verbrauch (z.B. Nahrungsmittel) oder deren Umwandlung (z.B. durch Produktion) ist ein Grund für de überproportionale Wohlfahrtslevel in Städten. Vielfach werden diese Rohstoffe von sehr weiter heran transportiert. Innerhalb des Teilprojektes lag daher die Frage nahe, in wieweit z.B. Nahrungsmittel auf der bestehenden Landnutzung so produzierte werden können, so dass die Einwohner einer Stadt dadurch versorgt werden können und Transport, Lagerung, etc. mithin entfällt. Hierzu wurde das CIFO Modul entwickelt (Kriewald et al. 2015), welches den optimalen Ertrag unterschiedlicher landwirtschaftliche Produkte ("food groups") berechnet und mit dem regionalen Kalorienverbrauch abgleicht (linear programming problem). Um die entsprechende lokale "Carrying Capacity" für die urbane Agglomeration zu berechnen wird zudem eine notwendige landwirtschaftliche Fläche von 0.1ha/cap yr angenommen. Die Identifikation der entsprechenden Landnutzung um eine Stadt und die Stadt selbst erfolgt dabei mit dem City Clustering Algorithmus (siehe auch oben, Abb. 4).

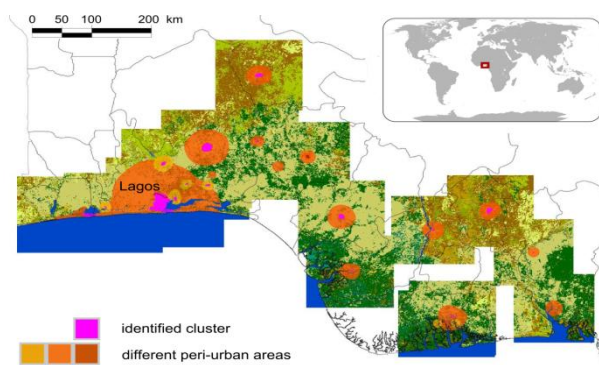


Abbildung 4: Identifikation der urbanen Cluster und der stadtnahen Umgebung durch CCA. Der Algorithmus ist trennscharf und ordnet die entsprechenden Gebiete automatisch den jeweiligen Städten zu.

Die Resultate zeigen, dass für ein minimales Ertragsszenario mehr als 400 Mio. Einwohner, im Falle eines maximalen Ertragsszenarios mehr als ca. 2 Milliarden. Einwohner (ca. 70% der urbanen Weltbevölkerung) mit lokal produzierten Nahrungsmitteln versorgt werden könnten (siehe Abb. 5). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Landnutzung konstant gehalten wird. Dies ist insbesondere in Nordamerika relevant. Hier könnte der Naturraum (Wald) zwar in landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelt werden, allerdings mit einer Reihe von negativen Effekten (Verminderung der CO₂ Bindungskapazität der Forsten, zusätzliche Emissionen aus dem Boden) zu rechnen.

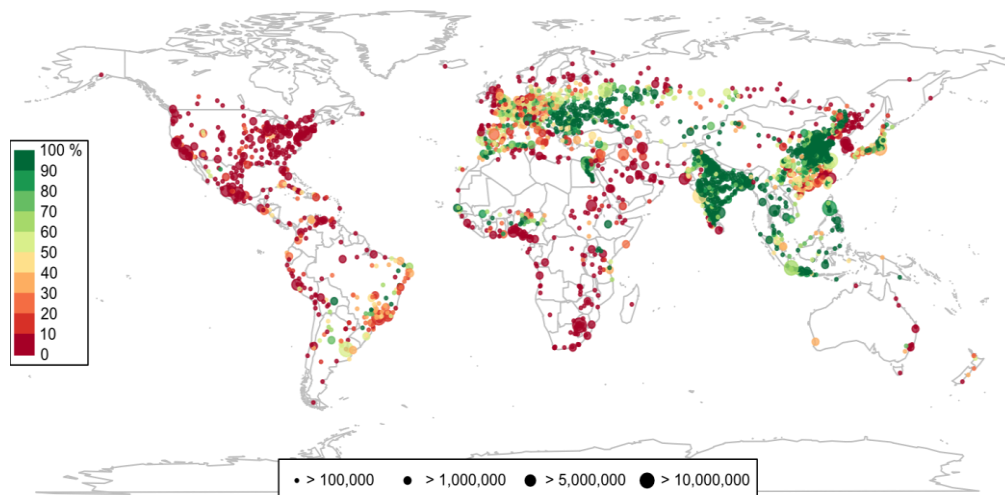


Abbildung 5: Potential für Nahrungsmittelproduktion in direktem Umfeld von Städten für urbane Agglomerationen mit mehr als 100,000 Einwohnern (ca. 3000) weltweit.

Die Frage wie sich ein solches Potential unter Klimawandel verändern wird zeigt Abb. 6. Hierbei wird deutlich das vor allem in dicht besiedelten Regionen sich Probleme zeigen werden (z.B. Indo-Gangetic Plain). Insgesamt 80% der Städte weltweit würden unter Klimawandel in Probleme geraten. Die ertragreichsten Regionen für eine stadtnahe Versorgung sind der Indo-Gangetic Plain, Yangtze Plain, Nile River sowie das Donau Delta (vergl. Kriewald et al. 2015).

Future change in kcal production (based on A2 ECHAM4 for 2080)

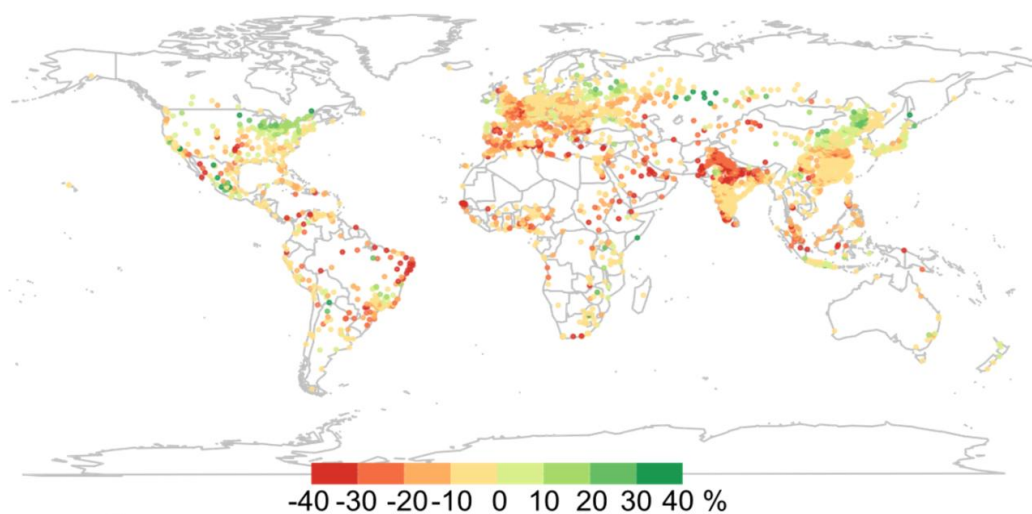


Abbildung 6: Veränderung des lokalen im stadtnahen Umfeld Nahrungsmittelproduktionspotential unter Klimawandel

II.1.3.4. Beziehung zwischen urbaner Form und Struktur und CO₂ Emissionen

Seit längerem ist bekannt, dass urbane Strukturen überproportional Treibhausgas emittieren (siehe Abschnitt I.4.3). Vorschläge diese Emissionen reduzieren erstrecken sich meist auch technologiebasierte Ansätze, z.B. Effizienzverbesserungen bei Fahrzeugen oder in Gebäuden. Allerdings wird die urbane Kompaktheit seit längerem ebenfalls in dieser Hinsicht diskutiert, denn es ist offensichtlich, dass Transport, Infrastrukturdurchlässigkeit und andere Faktoren ebenfalls die Emission beeinflussen können. Zudem ist seit längerem bekannt, dass urbane Systeme durch Exponentialgesetze beschrieben werden können. Kennworthy et al. 2007 zeigt z.B. dass Städte mit einer geringen Einwohnerdichte bis zu fünfmal mehr Energie verbrauchen. Daher liegt es nahe Stadtstrukturen entsprechend dieser Eigenschaft zu prüfen. Zu diesem Zweck wird wiederum CCA angewandt und diesmal die Bevölkerungsdichte untersucht. Um Stadtsysteme untersuchen zu können, wird zudem eine GHG Emissionsinventar auf regionale Skala benötigt. Global sind entsprechende Daten nicht verfügbar, oder das GHG Inventar berücksichtigt auch unterschiedlich Treibhausgase, so dass Daten

bisher nicht vergleichbar sind. Für die USA existiert allerdings eine Datenbank (Vulcan Projekt), welches zu diesem Zweck verwendet werden kann.

Bei der Untersuchung von US-amerikanischen Städten zeigt sich dabei, dass das Resultat stark durch die zugrunde liegende Datenbasis für das City Clustering beeinflusst wird (siehe Abb. 7). Hierbei wurde die Daten des Global Land Cover (GLC) bzw. die Global Rural-Urban Mapping Projects (GRUMP) verwendet.

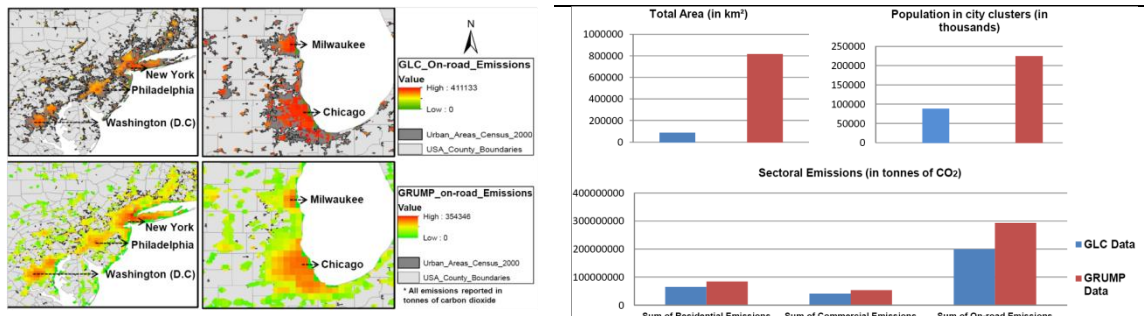


Abbildung 7: Vergleich der City Cluster Identifikation und regionalen Emissionen (links) und Anzahl der identifizierten Cluster und sektoralen Emissionen. Es wird deutlich, dass der GLC Datensatz eine bessere Trennschärfe ermöglicht, denn bei Verwendung von GRUMP werden New York/Philadelphia und Milwaukee/Chicago als unter gleichen Bedingungen als eine Stadt identifiziert.

Die detaillierte weiterführende Analyse von zeigt, dass die Dichte urbaner Zentren mit CO2 Emissionen klar korreliert ist - und zwar mit unterschiedlicher Steigung (siehe Abb. 8) (Gudipudi et al. 2015). Allerdings sind weitere Untersuchungen erforderlich, weil die Mechanismen dahinter noch weitgehend verstanden sind. In Bezug auf die "residential emissions" lässt sich aber ein klarer Bezug zur lokalen Klimatologie herstellen (Nutzung von Klimaanlage und Heizung).

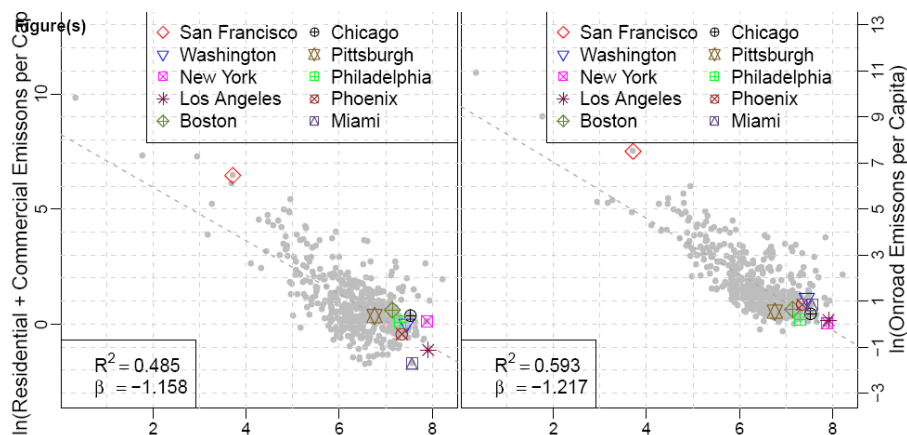


Abbildung 8: Beziehung zwischen "residential", "commercial" und "on-road emissions" und der Dichte von Städten (GLC Datensatz). Die X-Achsen-Einheit ist "ln (Pop.Density of top 500 emitters)"

Die Resultate implizieren, dass eine Verdoppelung der Bevölkerungsdichte innerhalb von Städten, die CO₂ Effizienz um ca. 35% Prozent verbessert werden kann (Gudipudi et al. 2016). Dies ist allerdings nur eine integrale Größe. Der reale Gewinn hängt stark vom konkreten Einzelfall ab.

II.1.3.5. Schadensfunktionen für urbane Agglomerationen (WINDAM)

Winterstürme stellen die schadensträchtigste Naturgefahr für Deutschland dar und verursachen in ihrer Folge die höchsten monetären Schäden, gemäß den Erhebungen des Gesamtverbands der Deutschen Versicherer (GDV). Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Schadensdaten, lagen bis dato nur unzureichende Erkenntnisse über die Relation (Schadensfunktion) zwischen Sturmstärke und Schaden vor. Mittels neuer detaillierter Schadensdaten des GDV wurden Schadensfunktionen für sämtliche deutschen Stadt- und Landkreise bestimmt (Abb. 9) (Prah et al. 2013, 2015).

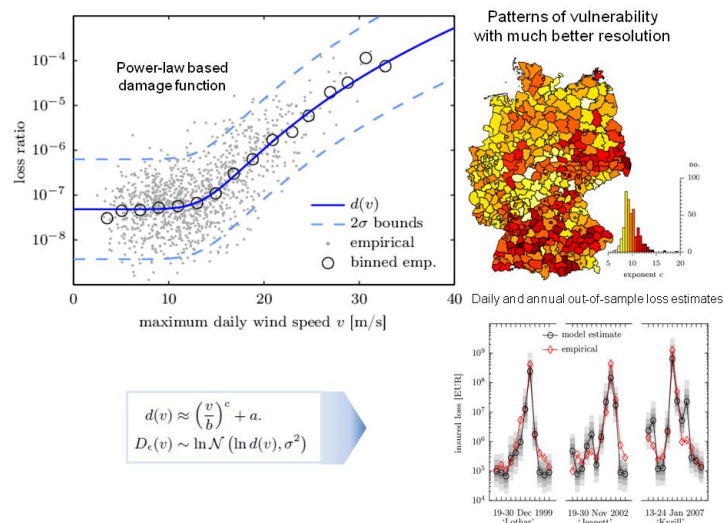


Abbildung 9: Sturmschadensfunktion für Deutschland und Verwundbarkeitskarte. Interessanterweise sind nicht die Regionen hochgradig verwundbar, die vermehrt mit Stürmen leben müssen (Küsten), sondern diese liegen eher im Süden. Das das Modell ausreichende Güte hat, lässt sich anhand des Abgleichs mit tatsächlichen Ereignissen validieren.

Hauptaugenmerk lag hierbei auf der Identifikation der grundlegenden Form der Schadensfunktion, sowie deren lokaler Parametrisierung. Die gewonnenen Informationen ermöglichen eine grobe Ableitung der stadt spezifischen Vulnerabilität über deren geografischen Lage. Soweit möglich, wurden die Modellparameter durch soziodemografische Metadaten plausibilisiert. Die Methode der Kreuzvalidierung wurde genutzt, um die Güte der ermittelten Schadensfunktionen anhand historischer Sturmereignisse zu überprüfen.

In Bezug auf den Meeresspiegelanstieg sowie Extremwasserstände wurde im Nachfolgeprojekt RAMSES (FP7) der Ansatz der Schadensfunktionen soweit verallgemeinert, so dass mittlerweile alle europäischen Städte untersucht sind, Erwartungsschäden kalkuliert und Anpassungskosten berechnet werden können. Insgesamt sind die Arbeiten im Teilprojekt D1.3 noch nicht abgeschlossen und werden im FP7 Projekt RAMSES (vgl. Abschnitt II.3.3) weitergeführt. Dies betrifft auch die Ansätze, welche sich mit potentiellen Klimaschäden und Anpassungskosten innerhalb von Städten befassen. Hierzu hat PROGRESS ebenfalls die Grundlagen gelegt.

Zudem existiert am PIK eine Flagship Group zum Thema "Cities", die sich den Untersuchungen ebenfalls mit der weiter nötigen Sorgfalt widmet.

II.1.3.6. Technische und konzeptionelle Innovationen in der Klimapolitik

D1.2 trägt dem Umstand Rechnung, dass sich derzeit im Prinzip jede Bewertung von Klimapolitikoptionen zunächst mit dem Umstand konfrontiert sieht, unter Unsicherheiten in imaginierten Systemantworten sowohl auf der klimawissenschaftlichen als auch der technoökonomischen Seite in Reaktion auf anthropogene Eingriffe agieren zu müssen, die in ähnlicher Größenordnung spielen wie die abzuwägenden Effekte selber. Dies zeigt sich beispielhaft in einer Schlüsselabbildung des letzten Sachstandsberichts des IPCC, die den Anstieg der globalen Mitteltemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts in Reaktion auf Antriebe durch diverse mögliche Emissionsszenarien zeigt: die Spannweite dieser Temperaturantwort, die sich aus dem klimapolitischen Handlungsspielraum ergibt, wird als derjenigen vergleichbar ausgewiesen, die in grundsätzlich durch weitere Forschungsanstrengungen reduzierbaren naturwissenschaftlichen Unsicherheiten gründet. Zudem haben die Ansätze der zugrundeliegenden integrierten wohlfahrtsoptimierenden Modelle einen Reifegrad erreicht, der es sinnvoll erscheinen lässt, genau diese Ansätze auch zur formalen Fassung der gegenwärtigen Unsicherheiten heranzuziehen. Daher wird hier gefragt, ob durch gezieltere Beforschung von geowissenschaftlichen Schlüsselgrößen ein

volkswirtschaftlicher Gewinn erwartet werden kann, weil Investitionen gezielter geplant werden können und nicht mehr für das gegenwärtige Spektrum an Zukünften Vorsorge getroffen werden muss.

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass es beim gegenwärtigen Forschungsstand als notwendig und zugleich operationalisierbar erscheint, die Abwägung klimapolitischer Handlungsoptionen als Entscheidung unter Unsicherheit zu formulieren, die gezielt reduziert werden kann. In diesem Sinne agiert das Unterpaket an der Schnittstelle zwischen Entscheidungstheorie und Wohlfahrtstheorie. Letztere wird im vorliegenden Fall auf das integrierte Klima-Energieökonomie-Problem angewandt.

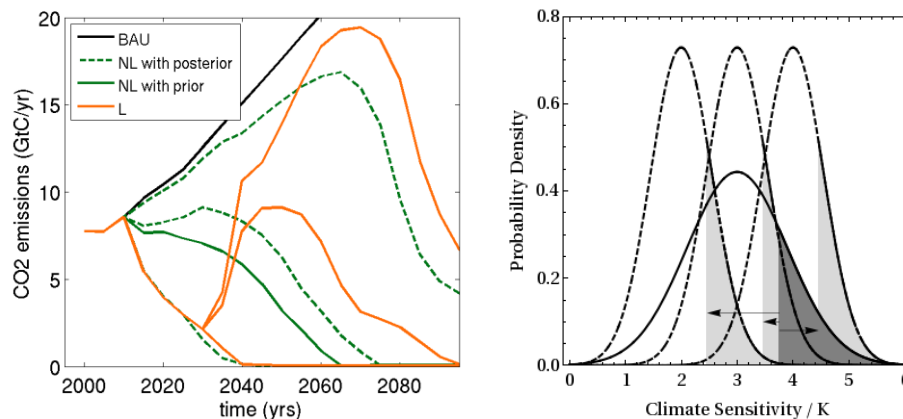


Abbildung 10: Antizipiertes Lernen (Lernen stilisiert in 2030, organische Kurve) unter einem 2°-Ziel im Sinne einer nicht zu überschreitenden Grenze führt dazu, dass diejenige Variante künftigen Lernens mit der höchstmöglichen Klimasensitivität das heutige Verhalten dominieren sollte. Dieses zu Ende gedacht würde dazu führen, dass radikale Vermeidungspolitik empfohlen werden müsste und der Vorschrift womöglich gar nicht mehr entsprochen werden könnte, weil derzeit noch deutlich höhere Klimasensitivitäten als die hier in die Berechnung eingepreisten denkbar sind. Dies weckt Zweifel an der Sinnhaftigkeit dieses traditionellen Entscheidungskriteriums, weshalb in D1.2 Wert auf das Vorstellen eines neuen klimazielsbasierten Kriteriums gelegt wurde.

II.1.3.7. Phase 0: Analysen auf konzeptioneller Ebene und mit einem numerischen Modell reduzierter Komplexität

Dies voraussetzend stellt sich D1.2 dem gegenwärtigen Spannungsfeld des klimaökonomischen Diskurses, ob Kosten-Nutzen-Analyse (KNA), die heutige Vermeidungskosten und künftige vermiedene Klimaschäden optimierend zu verrechnen sucht, oder eine um Klimaziele beschränkte Wohlfahrtsoptimierung, die dafür schlecht definierte Klimaschäden nicht einzupreisen braucht, die angemessenere Behandlung erlaube. Die zweite der beiden Varianten wird oft vereinfachend als ‚Kosten-Effektivitäts-Analyse‘ (KEA) bezeichnet.

D1.2 leistet einen fundamentalen Beitrag zu einer Neubewertung beider ‚Lager‘, indem sie zum einen existierende Stärken der KNA intensiver nutzt (ökonomische Effekte von Schwellwertverhalten; heterogene Schäden), jedoch andererseits Einsichten der Entscheidungstheorie aus den 70er und 80er Jahren kondensiert auf Klimaziele bezieht. Dabei weist sie grundsätzliche konzeptionelle Schwierigkeiten der KEA aus (Abb. 10), falls antizipiertes Lernen unter Unsicherheit ins Kalkül einzubeziehen wäre. Genau dieses dynamische Entscheidungsproblem ist jedoch klimapolitisch gegeben – als aktuelles Beispiel sei der Versuch genannt, auf der Conference of the Parties (in Cancún) ‚en passant‘ Klimaziele als nach-justierbar aufzufassen, falls neue Erkenntnisse vorlägen. Dabei blieb offen, wie dies zeitkonsistent zu geschehen hätte. Auch kann der Wert neuer geowissenschaftlicher Information bei einem hart formulierten Klimaziel negativ werden (Schmidt et al., 2011), was der Intuition widerspricht. Die Perspektive von D1.2 hat nun zunächst erlaubt, entsprechende Arbeiten eines Vorgängerprojekts zur Publikation zu führen und eine entsprechende Dissertation zu stabilisieren. (Diese Publikation Schmidt et al. (2011) bildete auch die Basis einer Neubewertung des Konkurrenzmodells KNA, zu dem dann hier vertieft gearbeitet wurde.)

D1.2 leistete einen konstruktiven Beitrag, indem es mit der Kosten-Risiko-Analyse (KRA) ein Hybridmodell aus KNA und KEA bekanntmachte (ISI-publiziert als Schmidt et al., 2011). Diese Publikation weist einen Weg auf, durch entsprechende globale Stakeholder-Dialoge das Hybridmodell zu eichen und so auch den Wert geowissenschaftlicher Information im Klimakontext zu ermitteln. Darauf aufbauend konnten Neubersch et al. (2014) eine Weiterentwicklung der KRA vorstellen, die nun stilbildend für globale klimazielgetriebene Entscheidungsprobleme werden könnte. Gegenüber der Situation der Antragsstellung muss festgehalten werden, dass die Gegenüberstellung der beiden meistverwendeten klimaökonomischen Methoden, KNA vs. klimazielgetriebener KEA, zu einer überraschenden und stark verkomplizierenden Entwicklung geführt hat: Klimaziele bedürfen einer Neuinterpretation, sollen sie entscheidungstheoretisch „fit“ gemacht werden. Der hier vorgelegte Ansatz der Kosten-Risiko-Analyse bedeutet einen tiefen Eingriff in das Konzept des Klimaziels im Sinne einer ursprünglich hart formulierten Grenze: die Grenze wird „weich“ gemacht und eine Überschreitung im Sinne einer Zahlungsbereitschaft monetarisiert. Ob dieser große Schritt im Sinne einer Aufweichung des Ziels wirklich notwendig war oder ob nicht auch ein kleinerer Schritt ausreichend gewesen wäre konnte wegen des Grundlagencharakters dieser Frage im Kontext dieses anwendungsorientierten Projekts nicht mehr beantwortet werden und wird derzeit an der U Hamburg untersucht.

Den „Warnschuss“ gegen eine zu leichtfertige Übertragung des Klimazielkonzepts in ein Regime von Unsicherheit in Kombination mit antizipiertem Lernen, d.h. der Gewinnung von Geoinformation, nahmen wir dann zum Anlass, uns wieder stärker dem Konkurrenzkonzept KNA zuzuwenden, das ja das Standardkonzept der Umweltökonomik darstellt. Die Haupt-Kritik an diesem Instrument besteht darin, dass derzeit zu wenig fassbare Information zu Klimaschäden existieren, um das Instrument wirklich sinnvoll in Anschlag bringen zu können. Insbesondere Schwellwertverhalten (Kippunkte im Klimasystem) sei unterrepräsentiert. Aus diesem Grunde hat D1.2 Schwellwertverhalten genauer untersucht.

Um die Struktur der Reaktion von KNA-basierten Politikempfehlungen auf Unsicherheit zu verstehen, ging D1.2 zunächst der Grundsatzfrage nach, inwieweit die Berücksichtigung von Unsicherheit zunächst vor Lernen dann auch das Ergebnis einer wohlfahrtstheoretischen Analyse des Klima-Energie-Problems prägt. Während diese Frage vor allem seit den 1990er Jahren in der Community analytisch mehr und mehr durchdrungen wird, schlägt D1.2 eine Brücke von derartigen Ansätzen zu komplexeren Integrated-Assessment-Modellen (IAMs), insbesondere zu der am PIK verwendeten gekoppelten Ökonomie-Energie-Klima-Modellsuite MIND/REMIND.

Dieser Brückenschlag ist aus unserer Sicht bedeutsam, weil sich zum einen die meisten analytischen Einsichten auf diesem Gebiet als nicht informativ für IAMs erwiesen hatten, zum anderen weil die meisten IAM-Analysen aus numerisch-technischen Gründen im Modus der „perfekten Voraussicht“ (des sozialen Planers) erfolgen und nicht a priori klar ist, wie informativ diese Ergebnisse für das tatsächlich eher probabilistisch als deterministisch zu formulierende Entscheidungsproblem sind.

Im Rahmen des IAM „MIND“ hat D1.2 anhand einer herauspräparierten Wirkungskette erklärt, auf Grund welcher kompensatorischen Effekte die Berücksichtigung von Unsicherheit (zunächst ohne Lernen) generisch keinen relevanten Wohlfahrtseffekt durch ein Nachjustieren der Kontrollgröße hat. Hierbei zeigte sich, dass sich in der Temperatur konvexe Schäden und in den Emissionen konkave Temperaturänderungen zum Teil kompensieren. Zudem spielt eine Rolle, dass die Vermeidungskostenkurve des MIND-Modells in der Nähe der 2°-Grenze bereits vergleichsweise konvex verläuft, verglichen mit dem Verlauf der Schadenskurve. Damit hat D1.2 ein entscheidendes neues Analyse-Instrument, das der „Feedback-Analyse“ der Klimaforschung sehr ähnlich ist, in die IAM-Community eingeführt. Die Ergebnisse wurden als Lorenz, Kriegler, Held, Schmidt in *Climate Change Economics* (2012) publiziert.

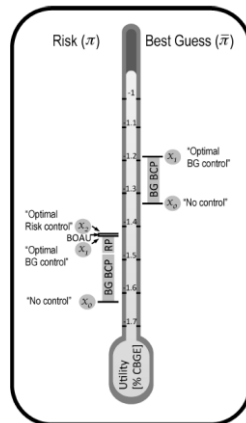


Abbildung 11: Thermometer-Darstellung von Wohlfahrtseffekten (vertikale Skala), die dadurch entstehen, dass ein Entscheider zunächst kein Klimaproblem (,0'), dann eines, jedoch ohne Unsicherheit (,1') und schließlich eines mit Unsicherheit berücksichtigt. Je umfassender die Wissensbasis, inkl. Unsicherheit, in die Entscheidung eingeht, desto höher die erwartete Wohlfahrt (aus Lorenz, Kriegler, Held, Schmidt, CCE, 2012).

Als wichtiges Darstellungsinstrument hat sich hierbei das in diesem Artikel vorgestellte „Thermometersystem“ (siehe auch Abb. 11) erwiesen, in dem optimale Handlungen ohne Klimaproblem (,0'), mit Klimaproblem, aber ohne Unsicherheit (,1'), mit Unsicherheit, aber ohne Lernen (,2') und schließlich im Prinzip noch das komplette Problem (,3') dargestellt werden. Aus dieser Arbeit ging zudem hervor, dass es bei der Diskussion der Bedeutung der Unsicherheit nicht primär darauf ankommt, ob sich optimale Kontrollpfade mit und ohne Berücksichtigung von Unsicherheit stark unterscheiden, sondern primär darauf, ob der implizierte Wohlfahrtseffekt als gesellschaftlich „relevant“ angesehen wird.

Table 1 The EVOI measured in %CBGE of the no-learning case and the EVOA/EVOI ratio for different scenarios: perfect learning about CS and damages separately as well as jointly and for early, intermediate, and late learning

t_p	CS		Damages		CS and Damages	
	EVOI (%)	EVOA/EVOI (%)	EVOI (%)	EVOA/EVOI (%)	EVOI (%)	EVOA/EVOI (%)
2030	0.006	0.004	0.09	0.29	0.45	0.022
2050	0.004	0.15	0.06	0.53	0.33	0.112
2070	0.002	0.20	0.03	1.77	0.22	0.287

CS climate sensitivity

Tabelle 1: Wirtschaftlicher Nutzen klimawissenschaftlicher Information (EVOI) in Abhängigkeit vom Lernzeitpunkt. Simultanes Lernen über Klimasensitivität und Klimaschäden erzeugt einen ca. 5-fach größeren wirtschaftlichen Nutzen als die Summe der Einzel-Lernerfolge vermuten lassen würde (aus Lorenz, Schmidt, Kriegler, Held, IMA, 2012). Diese Synergie legt nahe, eine balancierte Forschungsförderung beider Bereiche im Auge zu behalten.

In einer weiteren Arbeit wurde dann der Wert klimawissenschaftlicher Information untersucht. Hierbei ist festzuhalten, dass wegen der gegenwärtigen Fundamentalkritik an KNA die gefundenen Wohlfahrtseffekte nicht direkt in die Politikberatung übertragen werden dürfen. Wohl aber können qualitative Tendenzen wahrgenommen werden. So findet D1.2 eine hohe Synergie bei Lernen über Klimasensitivität (im Sinne von: des Wissens über die komplette Wirkungskette von Emission auf Temperatur) und Klimaschäden (vgl. Tabelle 1): 0.006% des Wohlfahrtsmaßes CBGE (Äquivalente unmittelbaren Konsums) könnten im Mittel gewonnen werden, wüsste man die Klimasensitivität in 2030; 0.09%, wüsste man die Klimaschadenskoeffizienten; jedoch 0.45% wüsste man beide simultan (publiziert als Lorenz, Schmidt, Kriegler, Held in Integrated Modeling & Assessment, 2012; zu beachten ist, dass nur der wechselseitige Verstärkungseffekt, nicht jedoch die absolute Höhe der %-Sätze glaubwürdig ist). Dieses weist aus, dass es förderpolitisch entscheidend ist, ein Gleichgewicht im Wissenszuwachs über Temperaturantwort und Klimaschäden anzustreben!

Zudem hat D1.2 einen weiteren Effekt der Berücksichtigung von Unsicherheit in der Tiefe untersucht: den sogenannten „Antizipations-Effekt“ – die Änderung der optimalen Lösung aufgrund der Antizipation von Lernen in der Zukunft. D1.2 fand den überraschenden Effekt eines „Antizipations-

Fensters“ zwischen einer Marginalität des Antizipations-Effekts wegen zu frühen versus zu späten Lernens bei schwellwertähnlichen Schäden.

Schließlich adressierte D1.2 die Diskussion, dass KNA systematisch Klimaschäden unterschätze. D1.2 ging der Hypothese nach, dass dies an der globalen Vor-Aggregation von Schäden auf monetärer Ebene liege, bevor diese in eine wohlfahrtstheoretische Bewertung einfließen. Dadurch werde die Risikoaversion des Einzelnen unzulässig umgangen (denn „die Armen trifft der Klimawandel härter“). Die wissenschaftliche Gemeinde ist in der Tat tief darüber gespalten, wie schwerwiegend sich eine globale Erwärmung tatsächlich auswirken werde. Diverse hochrangige KNAs weisen Klimaschäden als unter ökonomischen Gesichtspunkten relativ beherrschbar aus, während nichtmonetär arbeitende Impact-Forscher auf die bereits ‚katastrophalen‘ Folgen einer Erwärmung um nur 2°C hinweisen. D1.2 arbeitete einen entscheidenden Mechanismus heraus, der in den meisten bislang gängigen KNAs vernachlässigt wurde: die heterogene Betroffenheit durch Klimaschäden. Wie D1.2 ausweist, setzen im Modus des ‚sozialen Planers‘ ausgeführte KNAs implizit funktionierende Versicherungsmärkte, kombiniert mit einer Situation eines ‚veil of ignorance‘ voraus – eine in doppeltem Sinne unrealistische Annahme.

In Schmidt, Held, Kriegler, Lorenz, Environ Resource Econ (2013) konnte gezeigt werden, dass ein Synergieeffekt auftritt zwischen Unsicherheit und Heterogenität, der die Bedeutung von Vermeidungspolitik verstärkt. Damit würde auch die Bedeutung des Werts von Klimainformation hochskaliert.

D1.2 hat so dem Umstand Rechnung getragen, dass eine globale klimapolitische Bewertung zwingend an regional heterogen dargestellten Akteuren zu eichen ist. Während sich das obige Beispiel auf Versicherungsmärkte und Klimaschäden bezog, reagierten spätere Phasen des Projekts, die nach dem Wechsel von Hermann Held an die U Hamburg umgesetzt wurden, auf entsprechende Konsequenzen für den Energiesektor.

Die Arbeiten innerhalb des Progress-Projekts zur Implementierung von Unsicherheiten in einem Integrated Assessment (IA) Modell mit einem state-of-the-art Energiesektor und regionaler Auflösung (d.h. in zwei Rücksichten komplexer als das oben verwendete MIND-Modell) lassen sich in zwei Phasen unterteilen. Zunächst wurde das Modell auf die geplante Unsicherheitsanalyse vorbereitet. Dazu waren u.a. Vereinfachungen der hochkomplexen Gleichungen und Modularisierungen erforderlich.

In Phase zwei konnte die Simulierung von Unsicherheit in einem Integrated Assessment Modell über einen „Discrete Stochastic Programming“-Ansatz (DSP) umgesetzt werden. Exemplarisch stellen wir einige Beispiele der so gewonnenen Ergebnisse dar.

II.1.3.8. Phase 1 – Vorbereitung von REMIND für die Unsicherheitsanalyse

Wichtige Voraussetzung für die stochastische Analyse mit dem komplexen regionalisierten Modell REMIND war, die Anzahl der Variablen und Gleichungen (Freiheitsgrade) zu reduzieren. Dazu wurde im Jahr 2013 das Modell modularisiert, d.h. dass nun je nach Fragestellung komplette Teile des Modells variabel ein- oder ausgeschaltet werden können. Da dies zur Reduktion der Modellkomplexität beiträgt, stellen diese Arbeiten eine der Grundlagen für stochastische Analysen mit Hilfe von REMIND dar. Darüber hinaus wurde auch die Möglichkeit implementiert, die Modellregionen voneinander zu trennen. Dazu haben moderne Parallelisierungsmethoden für Optimierungssoftware beigetragen (GAMS Grid Computing Facility). Wichtigstes Ergebnis ist, dass je nach Fragestellung Fokusregionen gewählt werden können. Dadurch konnte auch ein alternativer Lösungsalgorithmus des globalen Modells umgesetzt werden, der Nash-Algorithmus.

Die modulare Version 1.6 von REMIND wurde genutzt, um Experimente mit einer Schadensfunktion durchzuführen. Dabei wurde eine Schadensfunktion gewählt, die vergleichbar ist mit der Schadensfunktion, welche im IA-Modell DICE genutzt wurde. Ziel war, das Modell im „Cost-Benefit“-Modus laufen zu lassen (im Gegensatz zum „Cost-Effectiveness“-Modus), sodass auch andere Arten von Unsicherheiten – wie z.B. Klimasensitivitäts-Unsicherheit und Unsicherheit in Bezug auf die

voraussichtlichen Schäden durch den Klimawandel – berücksichtigt werden können. In diesem Zusammenhang wurde eine sinkende Diskontrate – wie in der neuesten Literatur vorgeschlagen – im Modell verwendet, damit zukünftige Kosten und Gewinne realistischer dargestellt werden können.

Des Weiteren wurden wichtige Vereinfachungen komplexer Strukturen des REMIND-Modells durchgeführt, um die Leistungsfähigkeit des Modells zu erhöhen. So konnte die Laufzeit reduziert werden. Im Rahmen dieser Arbeiten wurde die (bisher schrittweise) Abschreibung von Energie-Kapazitäten durch eine exponentielle (und damit stetig differenzierbare) Funktion ersetzt, was eine Voraussetzung für Stabilität und Effizienz der mathematischen Optimierung ist. Darüber hinaus wurde die Topologie des Lösungsraums analysiert und die Robustheit des optimalen Punktes untersucht. Zunächst wurden die nicht konvexen Elemente des Modells identifiziert und ausgeschaltet. Dies ist eine wichtige Bedingung für die Erzeugung des globalen Optimums. Dennoch konnte kein globales Optimum ermittelt werden. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass die kommerziellen Solver-Routinen (GAMS/CONOPT3), die in der Optimierung eingesetzt werden, nur für die Suche nach lokalen Optima geeignet sind. Außerdem sind diese numerischen Prozesse immer mit eingeschränkter Genauigkeit charakterisiert und die Differenzierbarkeit aller Funktionen ist noch nicht vollständig geprüft. Weitere Tests haben gezeigt, dass das Optimum trotzdem robust in der Umgebung des jeweiligen Anfangspunktes jeder Studie ist.

Im gleichen Rahmen haben Arbeiten und Tests an den kommerziellen Solver-Routinen zu einer erheblichen Beschleunigung des Lösungsprozesses geführt. Gleichzeitig treten seltener unzulässige Lösungen auf. Dazu wurde während der Optimierung die unbeschränkte Nutzung der zweiten Ableitung der aktiven Gleichungen erlaubt. Zudem hat der Einsatz leistungsfähigerer Rechnertechnik auf dem Cluster des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung, vor allem der vergrößerte Arbeitsspeicher, stark zur Verkürzung der Modelllaufzeit beigetragen.

In Zusammenarbeit mit Experten im Bereich Sensitivitätsanalyse wurden Daten aus zahlreichen REMIND-Läufen („Ensemble-Daten“) für eine Szenario-Analyse aufbereitet. Das Ensemble von ca. 300 Simulationen ist durch das systematische Variieren von technologischen Parametern entstanden. Das Projekt soll zu einer Identifikation der wichtigsten Elemente im hochkomplexen Energie-Modul von REMIND führen, in welchem ca. 50 Technologien einzeln aufgelöst sind.

II.1.3.9. Phase 2 – Anwendung von MIND-L-Elementen in REMIND

Im weiteren Projektverlauf hat im Jahr 2014 Phase 2 begonnen, in der ermöglicht wurde, die Regionen des Modells über verschiedene Muster regionaler Diskretisierung (im Gegensatz zur numerischen oder sektoralen Diskretisierung) beliebig zu gestalten. Dies hat zur weiteren Reduktion der Anzahl der Variablen und Gleichungen des globalen Modells geführt. Gleichzeitig wurden in REMIND Elemente zur Anwendung von Unsicherheit implementiert. Diese sind entlehnt aus MIND-L (der „Lern-Version“ von MIND, Held et al, 2009; Lorenz, Schmidt et al., 2012)..

Die modulare Version (1.6) des Modells REMIND diene als Grundlage, um eine neue stochastische Variante des Modells zu entwickeln, die parallel zur Hauptversion existiert und entwickelt wird. Die parallele Entwicklung hat den Vorteil, dass die neue Modellvariante von den Verbesserungen, Korrekturen und der Kalibrierung des Hauptmodells profitieren kann, ohne dass die erhöhte Komplexität des stochastischen Modells die Hauptversion beeinträchtigt. Die stochastische Modellversion kann als „Discrete Stochastic Programming“ (DSP) bezeichnet werden. Sie führt eine Maximierung der erwarteten Wohlfahrt („expected welfare optimization“) durch. Entscheidungen unter Unsicherheit werden in diesem Modell berücksichtigt, indem mehr als eine Welt-Realisierung (states-of-the-world) gleichzeitig simuliert werden kann, aber nur ein Entscheidungspfad erlaubt wird. Jede Realisierung hat eine Eintrittswahrscheinlichkeit. DSP stellt eine der wichtigsten Methoden zur Berücksichtigung von Unsicherheit in IA Modellen dar.

Für die stochastische Modellversion wurden Tools entwickelt, die auch in anderen Modellen Verwendung finden können, so dass auch für weitere Modelle des PIK entsprechende stochastische Versionen entwickelt werden können. Auch die multi-regionalen Negishi- und Nash-Varianten des

globalen REMIND-Modells können im stochastischen Modus laufen, allerdings steigt in diesen Fällen der numerische Aufwand signifikant an.

II.1.3.10. Fallbeispiele für Analysen mit einem komplexen stochastischen Integrated Assessment-Modell

Im Folgenden wird ein Beispiel zur Simulation regulatorischer Unsicherheit mit dem DSP-Modell diskutiert. Die politische Unsicherheit in einer Weltregion (hier wird die Europäische Union untersucht) wird mit einer CO₂-Steuer dargestellt, deren genauer Pfad ab dem Jahr 2020 unbekannt ist (Abbildung 12). Sie kann beliebig vielen – in diesem Beispiel drei – Pfaden folgen, die durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Die Pfade können innerhalb derselben Simulation unterschiedliche Formen haben; hier wird ein Fall von linearem Wachstum gezeigt. Die intertemporale und optimale Investitionstrajektorie ergibt sich aus der Maximierung einer gewichteten Summe (mit den jeweiligen Wahrscheinlichkeiten als Gewichte) der in jeder Realisierung optimalen Zielfunktionswerte.

Innerhalb dieses Frameworks kann auch der Fall von „Lernen“ simuliert werden. Hierbei erhalten die Entscheidungsträger gewisse Informationen über die unsicheren Parameter und können ihre Strategie entsprechend anpassen. Zum Beispiel kann als „Lern-Fall“ ein Szenario simuliert werden, in dem der zukünftige CO₂-Preis vor 2020 bekannt wird, und sich die Entscheidungsträger dann entsprechend darauf einstellen können. Dieser „Lern-Fall“ unterscheidet sich von dem Fall ohne Lernen dadurch, dass nach 2020 drei unterschiedliche Investitionsstrategien verfolgt werden können, je nach dem was gelernt wurde, während im Fall ohne Lernen nur eine „mittlere“ Strategie, die eine Gewichtung der möglichen CO₂-Preis-Trajektorien vornimmt, verfolgt werden kann.

Abbildung 13 zeigt diese beiden Fälle am Beispiel der Unsicherheit über post-2020 CO₂ Preise in der EU wie in Abbildung 10 dargestellt. Wird vor 2020 über die zukünftige CO₂ Preisentwicklung in der EU gelernt, so ergeben sich drei unterschiedliche Emissionsentwicklungen nach 2020, je nachdem ob die CO₂ Preis-Entwicklung niedrig (Fall „high-det“), mittel (Fall „medium-det“) oder hoch (Fall „low-det“) sein wird. Es ist zu sehen, dass die unterschiedlichen CO₂-Preis-Entwicklungen zu sehr unterschiedlichen Emissionszukünften führen. Im Fall ohne Lernen wird nur ein Entscheidungs- bzw. Investitionspfad erlaubt, weil es sich um eine Entscheidung vor Auflösung der Unsicherheit handelt (Fall „medium-unc“). Es ist zu sehen, dass sich dieser mittlere Pfad unter Unsicherheit nur wenig vom Emissionsverlauf im mittleren Lernfall („medium-det“) unterscheidet, was auf gegenläufige Effekte hinweist, die die Nichtlinearität des Systems weitgehend neutralisieren.

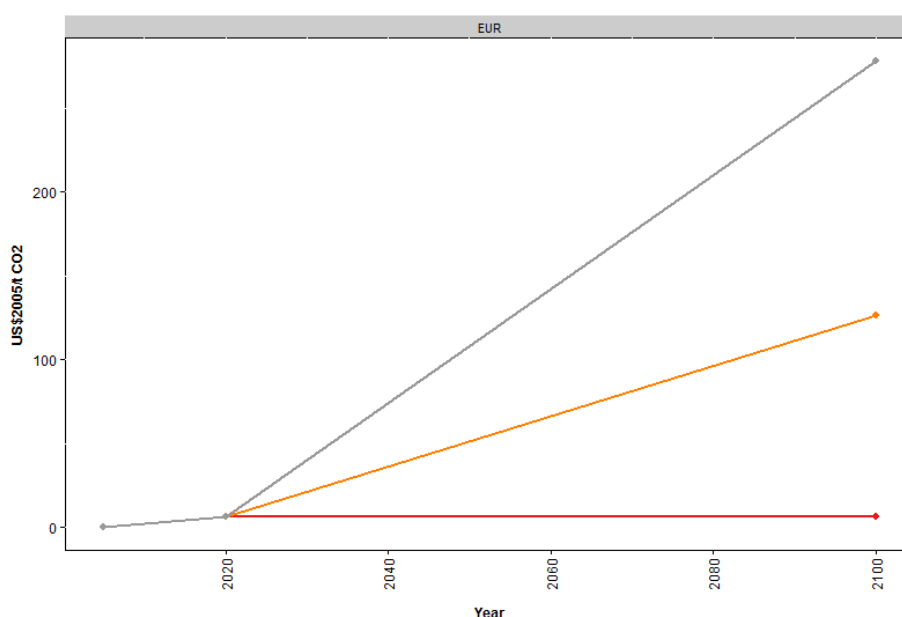


Abbildung 12: Die unterschiedlichen CO₂-Steuer-Trajektorien

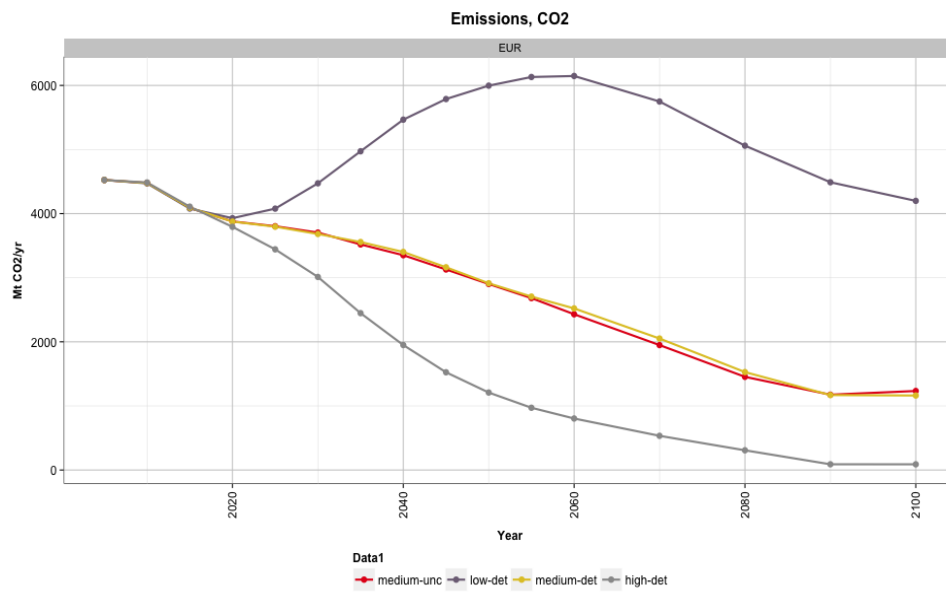


Abbildung 13: CO₂-Emissionen im Fall von Lernen (low/medium/high-det) und Nicht-Lernen (medium-unc).

Abbildung 13 und Abb. 15 zeigen den Einfluss von Lernen auf die Nutzung ausgewählter Energie-Technologien. Das stochastische Modell erlaubt die Untersuchung der Reaktion von Investoren auf Informationen über die zukünftige Lage der Klimapolitik. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen einen geringen Einfluss von Unsicherheit auf die Nutzung der wichtigsten Primärenergieträger, wie aus dem sehr ähnlichen Verlauf der Emissionstrajektorien zu erwarten war. Jedoch verdoppelt sich die Nutzung der Solar-Energie und der Einsatz von Kohle wird reduziert.

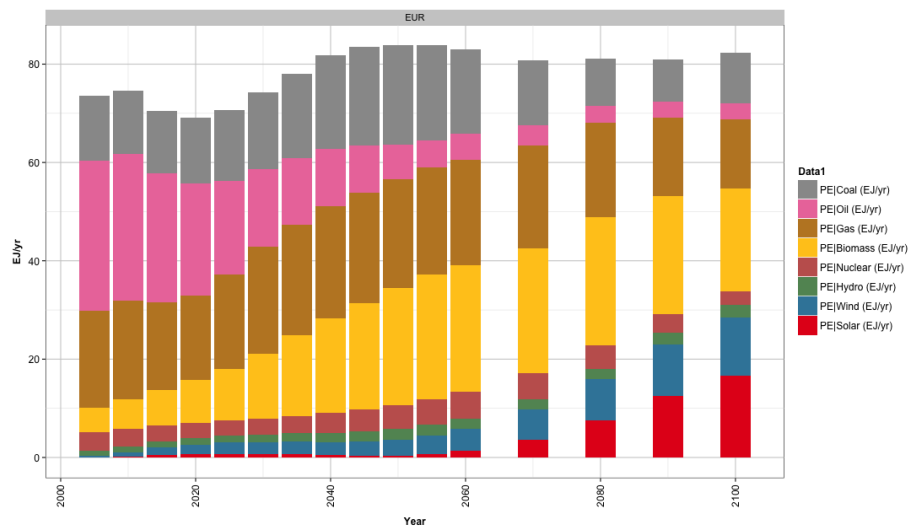


Abbildung 14: Nutzung von Energie aus ausgewählten Technologien im Fall des Lernens, dass ein mittlerer CO₂-Preis-Pfad nach 2020 verfolgt werden wird.

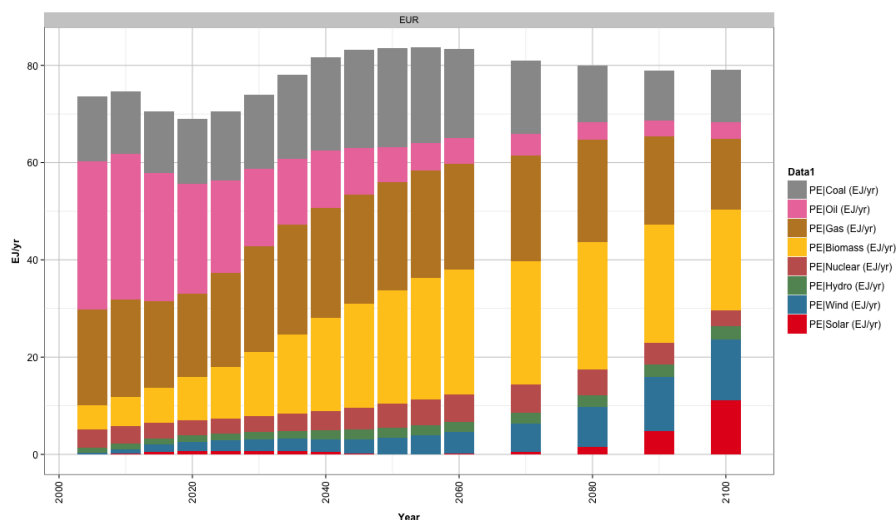


Abbildung 15: Nutzung von Energie aus ausgewählten Technologien im Unsicherheitsfall ohne Lernen

In zukünftiger Forschung wird das DSP-Modell genutzt werden, um den Einfluss regulatorischer Unsicherheit auf das Investorenverhalten zu untersuchen, und die daraus entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten, und den Wert einer frühen und langfristigen Bestimmung von Klimapolitik, zu bestimmen. Die Studien werden sich zunächst auf die Europäische Union beziehen, aber eine Untersuchung von regulatorischer Unsicherheit in den USA, China und Indien ist vorstellbar, da das REMIND-Modell diese Regionen explizit beschreibt.

II.1.3.11. *Entscheidungskalküle unter Unsicherheit/Nutzbedürfnisse*

Im Rahmen des Teilprojekts D1.3 wurden Methoden die Entscheidungen unter Unsicherheit unterstützen können detailliert recherchiert und bewertet. Durch die Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) wurde der Zugang zu Entscheidungsträgern im Klimanexus weltweit ermöglicht und so spezifische deren Bedürfnisse identifiziert (online Abfrage). Die Auswertung der Resultate hat ergeben, dass die Informationsportale generell als wertvolle Informationsquelle angesehen werden. Fast die Hälfte der Nutzer (47%) stammt aus dem Forschungsumfeld (Universitäten, Research & Development), was zunächst überraschend war. Dies lässt sich jedoch durch die teilweise geringen Kapazitäten in Entwicklungsländer erklären an entsprechende Informationen zu gelangen. 41% der Nutzer stammten aus dem Bereich Entwicklungszusammenarbeit (25%), Administration/politische Entscheidungsträger (16%), also der Zielgruppe an die sich Portale vor allem richten sollen. Zwei Drittel aller Nutzer finden Klimainformationsportale sinnvoll, beklagen jedoch dass es oft nicht gelingt die Komplexität und die Bedeutung von Unsicherheiten zu verdeutlichen. Aus diesem Grund wurde letzterem in dem weiteren Aufbau von CI:grasp³ Rechnung getragen und z.B. in den entwickelten Stadtmodulen und Klimamodulen explizit die Unsicherheitsthematik mit aufgenommen. Da von den Nutzern von Serviceplattformen auch beklagt wird, dass Ergebnisse oft ohne Gegenstandskontext dargestellt werden, wurde in CI:grasp auch die Klimawirkung mit Lösungen (Anpassung) verknüpft. Auch wenn dies noch in den Kinderschuhen steckt, wird daran weiter gearbeitet und darüber nachgedacht, wie z.B. Häufigkeitsbelege abgeleitet werden können (z.B. <http://elicitator.uncertweb.org/>) wenn nur unzulänglich Messgrößen vorliegen. Im Rahmen des Teilprojekts D1.3 haben weitere Untersuchungen auch gezeigt, dass klassische risiko-basierte Methoden im Zusammenhang mit einem großen Anteil an unbekannten Möglichkeiten (unknown unknowns) ungeeignet sind. Sie produzieren dann im Prinzip beinahe beliebige Entscheidungen zu unterstützen. Zum Beispiel hat Stirling (2010) mit einer Analyse von 63 peer-reviewed Studien zu den ökonomischen Risiken verschiedener Energietechnologien gezeigt, dass – während in Einzelstudien die Unsicherheiten

³ www.cigrasp.org

gering sind – die Unsicherheit über alle Studien hinweg mehrere Größenordnungen abdecken und eine wissensbasierte Entscheidung quasi unmöglich ist. Alternativen wurden innerhalb des Teilprojektes und in Kooperation mit D3.2 getestet. So z.B. multi-criteria mapping oder decision analysis (tw. zeitintensiv). Eine weitere Alternative ist die Data Envelope Analysis. Sie erlaubt eine Effizienzanalyse unterschiedlicher Optionen (vgl. Förster 2011). Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass ein Vergleich der Optionen für beliebige Gewichtungen der einzelnen Kriterien durchgeführt wird, so dass Gewichte nicht mehr weiter beachtet werden müssen.

II.1.3.12. Modellierung von Transformationsprozessen und Unsicherheit

Der generelle Schluss der gezogen werden muss ist dass die Präsentation von mit Unsicherheit behafteten Daten auf Internetplattformen neuer Konzepte bedarf, insbesondere wenn räumliche Resultate mit Unsicherheiten dargestellt werden sollen. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Geoinformatik Münster wurden dazu Verschiedene Varianten für die Präsentation entwickelt und auf einer Tagung diskutiert (Reusser et al., 2011a, Reusser et al. 2012). Insbesondere ist eine einfache Darstellung von z.B. Klima-oder Impaktvariablen von nicht ausreichend, weil als Reaktion auf Geo- und Klimarisiken komplexe Transformationsprozesse von Gesellschaft, Technologie und den Interaktionen mit der Natur in einem langfristigen Prozess notwendig sind. Das heißt Antwortoptionen (Transitionsoptionen) müssen mitgedacht werden. Allerdings sind Modellierungsansätze zum Thema "Transitionen" noch wenig ausgereift. Ein entsprechendes Konzept wurde erarbeitet und beim Internationalen Workshop zu Adaptation to climate change: putting knowledge into action, Durban November 2011 vorgestellt (Reusser Siabatto und Kropp 2011). Das Konzept basiert auf eigenen Simulationsmodellen (vgl. Lutz et al. 2013) und eine umfangreiche Recherche existierender Modelle, die für ein solches Unterfange verwendbar wären. Die Spannbreite reicht vom relativ einfachen World3 Modell, was globales Wachstum unter Ressourcenbeschränkung untersucht, bis zu komplexen Modellen auf Länderebene wie Threshold 21 und International Futures (IFS). Auf Länderebene wurde bisher kein einfaches Modell gefunden, was eine Viabilitätsanalyse im Sinne von Transitionsprozessen ermöglichen würde.

Weiter wurde untersucht, ob für einzelne Länder und die Gesamtheit aller Länder mit zunehmender Entwicklung ein Emissionsmaximum erreicht wird, wonach die Emissionen wieder abnehmen. Dieses Verhalten ist als Kuznets-Kurve von anderen Schadstoffen bekannt und als ein intrinsisches Phänomen beschrieben (Umweltzerstörung führt zu Wohlstand, dieser zu Umweltbewusstsein und dieses schließlich zu einer nachhaltigen Ressourcennutzung). Es zeigt sich, dass Länderemissionen der Kuznets-Hypothese folgen

und sich global besser entwickeln als das aktuelle "worst case scenario: RCP8.5" (vgl. Kornhuber et al. 2015). Die globale Emissionskurve folgt eher RCP6.5. Allerdings ist auch klar, dass "wait and see" keine Option darstellt, sondern dass gesteuerte Innovationen erfolgen müssen, sollen Klimaschutzziele erreicht werden (2°C Ziel). Die Ansätze (charakteristische Entwicklungspfade und Kuznets-Kurve) sind grundsätzlich koppelbar, was aus Zeitgründen bisher nicht durchgeführt werden konnte. Damit lässt sich testen, welchen Anteil jeweils Technologielösungen und die Verschiebung der wirtschaftlichen Aktivitäten zu einer nachhaltigen Transition beitragen können.

Um die Konsequenzen gesellschaftlicher Veränderungen über eine rein monetäre Beurteilung hinaus zu ermöglichen, wurde das Konzept des human livelihood/well being) entwickelt. Es wurden verschiedene Dimensionen identifiziert, die einen Einfluss auf das menschliche Wohlergehen haben und wie das Konzept Entscheidungsfindung in einem interdisziplinären Charakter unterstützen kann (Reusser und Hustedt, 2011, Kooperation mit Teilprojekt D3.2). Das Konzept wurde erstmalig auf der EGU 2011 (Lissner T et al. 2011) und der Water and Health Conference in Chapel Hill, USA (Lissner et.al 2011a) vorgestellt und erzielte große Resonanz. Frau Lissner wurde für ihre Arbeiten mit dem "Outstanding young scientist award 2014 (nominated in 2013) der European Geosciences Union, Section Energy, Resources, and Environment Section gewürdigt.

Das Konzept dient seither als Grundlage um zur Diskussion um nachhaltige Entwicklungspfade beizutragen und wurde in einer Reihe von peer-reviewed Publikationen vorgestellt (Lissner et al

2014a, 2014b, 2014c). Insbesondere beim Thema Klimaminderung wird die Befürchtung geäußert, dass dadurch die Entwicklung massiv gebremst und damit die Lebensumstände deutlich eingeschränkt werden, allerdings wurde in Reusser et al. (2013) gezeigt, dass viele wichtige Lebensumstände keine direkten Emissionen verursachen. Aus der Gesamtheit von 16 Faktoren zur Beschreibung von Lebensumständen standen lediglich 6 mit direkten Emissionen in Beziehung (Wasser, Nahrung, Energie, Behausung, Hygiene und sozialer Zusammenhalt), während die restlichen nicht notwendigerweise direkte Emissionen bedingen (Wasserqualität, Luftqualität, Gesundheitswesen, Bildung, Sozialer Schutz, gesellschaftliche Stabilität, Rechtssystem, Persönliche Sicherheit, Beteiligung und Meinungsfreiheit).

Alle verfolgten Ansätze haben zu verschiedenen formalen Ansätzen geführt. Ein zentraler Baustein ist ein datengetriebenes Modell zur Identifikation typischer Entwicklungspfade (Lutz et al., 2012). Damit ist es möglich, charakteristische Pfade in Abhängigkeit des Bruttosozialproduktes zu beschreiben und für die nahe Zukunft zu projizieren. Insbesondere wird der Einfluss der verschiedenen Sektoren mit ihren unterschiedlichen Umwelt- und Klimawirkungen abgeschätzt. In einem nächsten Schritt ist geplant, das einfache System kinetischer Gleichungen mit Emissionsfaktoren zu koppeln.

II.1.3.13. Informationsvermittlungsplattform

Insgesamt hat sich die Erforschung von Transformationsprozessen als sehr datenintensiv herausgestellt. Basierend auf dem Informationsaustausch beim Datenrepositories-Workshop in Marburg (Reusser und Wrobel 2011 und Wrobel und Reusser 2011) wurde ein Datenbanksystem für Länderinformationen aufgebaut. Diese Datenbasis bildet einen Baustein für die interaktive Webplattform (CI:grasp) (Reusser et al. 2011b, Reusser, Förster, & Kropp, 2011). Ein weiterer Baustein stellen Resultate zu erwartenden Wirkungen des Klimawandels und damit verknüpfte Anpassungsbedarfe dar. Zudem wurden in umfangreichen Maßstab die erzielten Ergebnisse des Teilprojektes D1.1 in die Webplattform integriert.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Großteil der Kosten für das Projekt ergibt sich aus Personal- und Reisekosten für die durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen. Alle Teilprojekte waren mit ihren Resultaten auf internationalen Konferenzen präsent. Insbesondere gilt dies für die EGU, welche jährlich in Wien stattfindet und die führende europäische Konferenz in den Geowissenschaften darstellt. Innerhalb der jeweiligen Teil-Budgets waren während des Verlaufs von PROGESS zeitliche als auch inhaltsbezogene Verschiebungen erforderlich. Dies betrifft das Budget von TP D1.3, welches aufgrund des Weggangs von Prof. Held entgegen der ursprünglichen Planung in Absprache mit dem Projektträger erst zum Ende der Laufzeit eingesetzt wurde (siehe Abschnitt I.3.3). Für das Teilprojekt D1.1/D1.3 wurden Mittel, welche zur Verwendung von wissenschaftlichen und studentischen Hilfskräften geplant waren, deutlich überschritten, was allerdings mit datenintensiven Arbeiten im Teilprojekt motiviert werden kann (vgl. Abschnitt II.1.3.10). Sachmittel die für Prof. Kropp im Rahmen der Erstausrüstung der gemeinsamen Professur Klimawandel und Nachhaltigkeit (Uni Potsdam/PIK) gewährt wurden, sind in Absprache mit dem Projektträger zu Personalmitteln umgewidmet worden. Zusammenfassend gesehen sind die bewilligten Mittel sinnvoll eingesetzt worden und die geplanten Budgetlinien weitestgehend eingehalten worden.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die beantragte Zuwendung ist notwendig, da die geplanten Forschungsarbeiten nicht originärer Bestandteil der projektorientierten Förderung an GFZ und PIK sind. Sie stellen zusätzliche Aufgaben dar, die nicht aus den Grundausrüstungen der beteiligten Organisationen finanziert werden können. Eine Doppelfinanzierung findet daher nicht statt. Zusätzlich ist das wissenschaftliche Risiko bei der grundlagenorientierten Forschung hoch, wegen nicht vorhersehbarer Hindernisse und Schwierigkeiten in der Durchführung und beim Bearbeiten von Themen, die in der beabsichtigten Form noch nicht erforscht und aufgedeckt sind. Insbesondere die Erweiterung der Rekurrenzanalyse auf unsichere Zeitskalen ist sehr unsicher. Der wissenschaftliche Erfolg ist keinesfalls garantiert.

Durch die Zuwendung wird darüber hinaus sichergestellt, dass die fachliche Expertise der beteiligten Institute in das Gesamtprojekt eingebunden wird und zusätzlich notwendige infrastrukturelle Unterstützung durch die Institute erfolgt. Ohne eine entsprechende Zuwendung wären die oben aufgeführten Arbeiten auch nicht ansatzweise durchführbar gewesen. Die Angemessenheit der finanziellen Förderung ergibt sich daraus, dass alle Teilprojekte außergewöhnlich erfolgreich waren. Insgesamt sind aus den in PROGRESS durchgeführten Arbeiten ca. 80 ISI Publikationen entstanden. Viele sind noch in der Vorbereitung bzw. im peer-review. Die Projektteilnehmer haben ihre Resultate zudem in über 120 Vorträgen und Posterpräsentationen auf internationalen Konferenzen vorgestellt. Im Weiteren sind Buchkapitel und weitere non-ISI Publikationen erfolgt. Ein überaus wesentlicher Faktor war aber, dass PROGRESS ein Netzwerk geschaffen hat, welches nunmehr zur weiterführenden Kooperationen und Projekten geführt hat. Zudem haben die erzielten Ergebnisse auch für einen Input in der politischen Diskussion gesorgt, bzw. haben Themen auf die Forschungsagenda gebracht, die bisher nur eingeschränkte Aufmerksamkeit genossen haben.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes

II.4.1 Teilprojekt A3

Die in PROGRESS A 3.2 erarbeiteten Methoden sind im wissenschaftlich-technischen Rahmen verwertbar und werden bereits in anderen Forschungsvorhaben, z. B. zur Datenanalyse in der medizinischen und ökologischen Forschung, eingesetzt.

II.4.2 Teilprojekt B2

Die in PROGRESS B2.1 erarbeiteten Methoden sind im wissenschaftlich-technischen Rahmen verwertbar und werden bereits in anderen Forschungsvorhaben eingesetzt, insbesondere zur Datenanalyse in der medizinischen und ökologischen Forschung. Die im Rahmen des Projektes in Zusammenarbeit mit dem Forschungsfeld 2 des PIK entwickelten Workflows bilden die Basis für das Webportal KlimafolgenOnline.com, welches intensiv in der Wissenschaftskommunikation eingesetzt wird. Darüber hinaus wird die Verwertbarkeit solcher Workflows als Climate Service - Consultingdienst - basierend auch auf dem Climate-KIC-Project SIECS (Climate Impact Expert System) - in einer Marktstudie untersucht.

II.4.3 Teilprojekt D1

Während der Laufzeit von PROGRESS und darüber hinaus besteht und bestand eine Kooperation der Filmuniversität Potsdam Konrad Wolff zum Thema Klimakommunikation, die bereits im Vorfeld durch das BMBF FORMAT Programm gefördert wurde. In 2011 wurde dann durch Mitarbeiter des PIK/HFF ein spin-off die Climate Media Factory (CMF) gefördert, die ihre Expertise auch in PROGRESS eingebracht hat. Für die CMF wurde in 2013 eine Wort Bild Marke beim Deutschen Patentamt angemeldet, die durch einen Mitbewerber angegriffen wurde. Das Verfahren wurde zugunsten der CMF entschieden. Diese wurde Anfang 2014 eingetragen. Zurzeit beschäftigt die CMF 4 Mitarbeiter. Zudem wird die Climate Media Factory seit Ende 2013 durch das europäische Climate-KIC Programm unterstützt (Climate KIC-Affiliate). Im Rahmen dieser Aktivitäten wird über ein weiteres spin-off zum Thema „Climate Services“ nachgedacht. Insofern sind die PROGRESS Arbeiten im Rahmen des Climate-KIC anschlussfähig. Zudem waren die erfolgreichen Arbeiten im Teilprojekt D1.1 und D1.3 ausschlaggebend dafür, dass auf europäischer Ebene äußerst erfolgreich weitere Mittel eingeworben werden konnten. Insbesondere konnte die Arbeitsgruppe Kropp (Climate Change & Sustainable Development) zwei weitere FP7 Projekte (Koordination) sowie 2 weitere als Partner (CLIPC →12/2016, RECREATE→6/2017) einwerben.

- Towards European Societal Sustainability – TESS: <http://www.tess-transition.eu>, Anschlussfinanzierung für die Arbeiten zu Thema nachhaltige Transitionen (Teilprojekt D1.1) – Laufzeit: 12/2013-11/2016, Förderung insgesamt 2.8m € (sieben europäische Partner)
- Reconciling Adaptation, Mitigation and Sustainable Development for Cities – RAMSES: <http://www.ramses-cities.eu>, Fortsetzung der Arbeiten zum Thema nachhaltige Städte (Teilprojekt D1.3), Laufzeit 11/2012-10/2017, Förderung insgesamt 5m € (dreizehn europäische Partner).

Des Weiteren ist die Arbeitsgruppe Partner in einem weiteren FP7 Projekt welches sich mit der Weiterentwicklung von „Climate Services“ beschäftigt (CLIP-C: *Climate Information Platform for Copernicus*, Laufzeit 2013-2016). Auf Initiative des UK Dept. Energy and Climate Change kam es zudem zur Förderung und Entwicklung des *Global Calculators*⁴ (2013-2014) (Funding Climate-KIC, UK DECC) ein Produkt welches direkt im Climate Service Bereich anzusiedeln ist und an dem sowohl PIK als auch die CMF beteiligt sind. Zudem wird eine Weiterentwicklung für Europa mit dem Schwerpunkt "Energiesicherheit" geplant. Ein Antrag im Rahmen des Horizon 2020 Programms ist bereits eingereicht. Auch für diesen Produktbereich ist eine Kommerzialisierung geplant. Insgesamt sind hierdurch die von PROGRESS begonnenen und geförderten Arbeiten weit über den Zeitraum der PROGRESS Laufzeit garantiert.

Der wissenschaftliche Wert der D1.2 Folgeaktivitäten in Bezug auf den Vergleich der beiden wichtigsten klimaökonomischen Schulen in Bezug auf Unsicherheit induziert hat. So konnten Neubersch et al. 2014 in ihrem in Climatic Change erschienenen Artikel direkt auf die in diesem Projekt ausgeführten Leistungsvergleiche in Bezug Unsicherheitsbehandlung zurückgreifen und den Hybrid-Ansatz von Schmidt et al. vervollständigen. Die in diesem Projekt eröffnete Debatte floss überdies unmittelbar in IPCC-AR5-WGIII, Ch2, ein und die oben erwähnten Arbeiten wurden auch größtenteils dort zitiert. Wir erwarten, dass der vorgestellte Hybridansatz eine bedeutende Rolle in der Bewertung klimawissenschaftlicher Information spielen wird – wenigstens für die kommenden 10 Jahre. Ferner erlaubt der Hybridansatz, das Wertesystem des 2°-Ziels in eine Zukunft zu extrapolieren, in der das Ziel als solches möglicherweise nicht mehr eingehalten werden kann. Hierzu wurde unter der Leitung von Prof. Held eine Masterarbeit angefertigt (R. Roth). Teile dieser Masterarbeit wurden nach einem Peer-Review-Prozess als Publikation zur EAERE 2015 in Helsinki zugelassen (bei einer Ablehnungsquote von 50%). Dies belegt nach unserer Auffassung, dass im Teilprojekt D1.2 der Grundstein für eine sehr reiche Entwicklung gelegt wurde. Ferner wurde Schmidt et al., 2013, auf der EAERE 2014 als „commended article“ öffentlich ausgezeichnet. Überdies eröffnet das kalibrierte REMIND-Derivat eine Fülle neuer Anwendungen über die Auswirkungen von Unsicherheit im Energiesektor. Gleichwohl ist eine direkte wirtschaftliche Verwertung ist nicht zu erwarten, wohl jedoch ein volkswirtschaftlicher Nutzen, sofern die abgeleiteten Politikempfehlungen in der Praxis herangezogen werden. Ähnliches gilt für die Folgearbeiten in Bezug auf die Projekte D1.1/3. Auch hier sind die direkten wirtschaftlichen Erfolgsaussichten monetär kaum quantifizierbar. Im Hinblick auf die erheblichen Aufwendungen in Bezug auf Klimaschutz und Anpassung getätigten Investitionen sind die geplanten Aufwendungen für die sachgerechte Extraktion und Bereitstellung von im Rahmen dieses Projektes generierten Informationen voll gerechtfertigt. Die Projekte haben eine Möglichkeit zur Bewertung von Handlungsspielräumen geschaffen. Zudem stellen sie Tools zur Verfügung, die Entscheidungssituationen unter Unsicherheit im Hinblick auf den optionalen Spielraum bewerten können. Dies wird zu einer verbesserten Einschätzung der tatsächlichen Risikolage (z.B. hinsichtlich Extremereignissen, Verwundbarkeiten, ökonomischer Folgekosten, etc.) beitragen. Zudem können die durchgeführten Analysen Planungsunsicherheiten und damit auch Kosten verringern.

⁴ www.globalcalculator.org

II.5 Während der Durchführung der Vorhaben dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

II.5.1 Teilprojekt A3

In Bezug auf das Teilprojekt A3 wurden zur Projektlaufzeit folgende konkurrierende Ansätze identifiziert:

- Y. Chen, H. Yang: Multiscale recurrence analysis of long-term nonlinear and nonstationary time series, *Chaos, Solitons & Fractals*, 45(7), 978–987p. (2012)
- K. Iwayama, Y. Hirata, K. Takahashi, K. Watanabe, K. Aihara, H. Suzuki: Characterizing global evolutions of complex systems via intermediate network representations, *Scientific Reports*, 2, 423p. (2012).
- P. beim Graben, A. Hutt: Detecting Recurrence Domains of Dynamical Systems by Symbolic Dynamics, *Physical Review Letters*, 110(15), 154101p. (2013).
- K. Iwayama, Y. Hirata, H. Suzuki, K. Aihara: Change-point detection with recurrence networks, *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, 4(2), 160–171p. (2013).
- S. Oya, K. Aihara, Y. Hirata: Forecasting abrupt changes in foreign exchange markets: method using dynamical network marker, *New Journal of Physics*, 16, 115015p. (2014).

II.5.2 Teilprojekt B2

In Konkurrenz zu unseren Arbeiten stellt die folgende Publikation:

- Olafsdottir, K. and Mudelsee, M. (2013) Correlation estimation of climate time series with calibrated bootstrap confidence interval , *International Conference Ocean Gateways Past and Present: Significance for Ocean Circulation and Terrestrial Climates*, Hebrew University, Jerusalem, Israel . hdl:[10013/epic.43067](https://hdl.handle.net/10013/epic.43067)

II.5.3 Teilprojekt D1

Für das Teilprojekt D1 wurden zur Projektlaufzeit folgende konkurrierende Ansätze identifiziert:

- Jonas, M. et al., 2014. Uncertainty in an emissions-constrained world. *Climatic Change*, 124(3), pp.459–476.
- Lung, T. et al., 2013. Assessing the influence of climate model uncertainty on EU-wide climate change impact indicators. *Climatic Change*, pp.211–227.
- Nuno, A., Bunnefeld, N. & Milner-Gulland, E.J., 2014. Managing social-ecological systems under uncertainty: Implementation in the real world. *Ecology and Society*, 19(2).
- Cooke, R.M., 2014. Messaging climate change uncertainty. *Nature Climate Change*, 5(1), pp.8–10.
- Kubiszewski, I. et al., 2013. Beyond GDP: Measuring and achieving global genuine progress. *Ecological Economics*, 93, pp.57–68.
- Seto KC, Fragkias M, Güneralp B, Reilly MK (2011) A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. *PLoS ONE* 6(8): e23777
- Thebo, A. L., Drechsel, P., & Lambin, E. F. (2014). Global assessment of urban and peri-urban agriculture: irrigated and rainfed croplands. *Environmental Research Letters*, 9(11), 114002. doi:10.1088/1748-9326/9/11/114002

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die unten aufgelistete Literatur ist zum Teil über mehrere Teilprojekte hinweg entstanden. In diesen Listen sind sie jedoch nur einmal genannt um Doppelungen zu vermeiden. Eingereichte bzw. im Review befindliche Publikationen sind mit * versehen. In diesen Listen sind ausschliesslich ISI Publikationen aufgeführt.

II.6.1 Teilprojekt A3

- Boers N, B. Bookhagen, H. M. J. Barbosa, N. Marwan, J. Kurths, J. A. Marengo (2014): Prediction of extreme floods in the eastern Central Andes based on a complex networks approach, *Nature Communications*, 5, 5199.
- Donges JF, H. C. H. Schultz, N. Marwan, Y. Zou, J. Kurths (2011): Investigating the topology of interacting networks, *European Physical Journal B*, 84, 635–651
- Donges JF, R. V. Donner, K. Rehfeld, N. Marwan, M. H. Trauth, J. Kurths (2011): Identification of dynamical transitions in marine palaeoclimate records by recurrence network analysis, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18, 545–562

- Donges JF, R. V. Donner, M. H. Trauth, N. Marwan, H. J. Schellnhuber, J. Kurths (2011): Nonlinear detection of paleoclimate-variability transitions possibly related to human evolution, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(51), 20422–20427
- Donner RV, J. Heitzig, J. F. Donges, Y. Zou, N. Marwan, J. Kurths (2011): The Geometry of Chaotic Dynamics – A Complex Network Perspective, *European Physical Journal B*, 84, 653–672
- Donner RV, M. Small, J. F. Donges, N. Marwan, Y. Zou, R. Xiang, J. Kurths (2011): Recurrence-based time series analysis by means of complex network methods, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21(4), 1019–1046
- Donges J, J. Heitzig, R. V. Donner, J. Kurths (2012): Analytical framework for recurrence network analysis of time series. *Physical Review E* 85:046105
- Feldhoff JH, R. V. Donner, J. F. Donges, N. Marwan, J. Kurths (2012): Geometric detection of coupling directions by means of inter-system recurrence networks, *Physics Letters A*, 376(46), 3504–3513
- Feldhoff JH, R. V. Donner, J. F. Donges, N. Marwan, J. Kurths (2013): Geometric signature of complex synchronisation scenarios, *Europhysics Letters*, 102(3), 30007. DOI:10.1209/0295-5075/102/30007
- Goswami B, N. Marwan, G. Feulner, J. Kurths (2013): How do global temperature drivers influence each other? – A network perspective using recurrences, *European Physical Journal*, 222, 861–873. DOI:10.1140/epjst/e2013-01889-8
- Goswami B, G. Ambika, N. Marwan, J. Kurths (2012): On interrelations of recurrences and connectivity trends between stock indices, *Physica A*, 391, 4364–4376
- Heitzig J (2012): Bottom-up strategic linking of carbon markets: which climate coalitions would farsighted players form? *Climate Change Law & Policy eJournal* 4:35
- Heitzig J, J. F. Donges, Y. Zou, N. Marwan, J. Kurths (2012): Node-weighted measures for complex networks with spatially embedded, sampled, or differently sized nodes, *The European Physical Journal B*, 85(1), 38 (1–22)
- Heitzig J, K. Lessmann, Y. Zou (2011): Self-Enforcing Strategies to Deter Free-Riding in the Climate Change Mitigation Game and Other Repeated Public Good Games, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 15739–15744
- Heitzig J (2011): Efficiency in Face of Externalities When Binding Hierarchical Agreements are Possible, Political Institutions: *SSRN International Institutions eJournal*, 5(41)
- Heitzig J (2013): Moving Taylor Bayesian Regression for Nonparametric Multidimensional Function Estimation with Possibly Correlated Errors, *SIAM J. Sci. Comput.*, 35(4), A1928–A1950.
- Malik N, N. Marwan, Y. Zou, P. J. Mucha, J. Kurths (2014): Fluctuation of similarity to detect transitions between distinct dynamical regimes in short time series, *Physical Review E*, 89, 062908. DOI:10.1103/PhysRevE.89.062908
- Marwan N, S. Schinkel, J. Kurths (2013): Recurrence plots 25 years later – Gaining confidence in dynamical transitions, *Europhysics Letters*, 101, 20007. DOI:10.1209/0295-5075/101/20007
- Marwan N, S. Foerster, J. Kurths (2015): Analysing spatially extended high-dimensional dynamics by recurrence plots, *Physics Letters A*, 379, 894–900.
- Marwan N (2011): How to avoid potential pitfalls in recurrence plot based data analysis, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21(4), 1003–1017
- Marwan N, Y. Zou, N. Wessel, M. Riedl, J. Kurths (2013): Estimating coupling directions in the cardio-respiratory system using recurrence properties, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 371(1997), 2011062. DOI:10.1098/rsta.2011.0624
- Neuman Y, N. Marwan, Y. Cohen (2014): Change in the Embedding Dimension as an Indicator of an Approaching Transition, *PLoS ONE*, 9(6), e101014. DOI:10.1371/journal.pone.0101014
- Ngamga EJ, D. V. Senthilkumar, A. Prasad, P. Parmananda, N. Marwan, J. Kurths (2012): Distinguishing dynamics using recurrence-time statistics, *Physical Review E*, 85(2), 026217
- Ozken I, D. Eroglu, T. Stemler, N. Marwan, B. Bagci, J. Kurths (2015): The TrAnsformation Cost Time Series (TACTS) method for analysing irregularly sampled data. *Physical Review E* 91(6):062911
- Rehfeld K, N. Marwan, S. F. M. Breitenbach, J. Kurths (2012): Late Holocene Asian summer monsoon dynamics from small but complex networks of paleoclimate data, *Climate Dynamics*, 41(1), 3–19. DOI:10.1007/s00382-012-1448-3
- Rehfeld K, N. Marwan, S. F. M. Breitenbach, J. Kurths (2012): Late Holocene Asian summer monsoon dynamics from small but complex networks of paleoclimate data, *Climate Dynamics*, , online first. DOI:10.1007/s00382-012-1448-3
- Rehfeld K, N. Marwan, J. Heitzig, J. Kurths (2011): Comparison of correlation analysis techniques for irregularly sampled time series, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18(3), 389–404

- Rheinwalt A, N. Marwan, J. Kurths, P. Werner, F.-W. Gerstengarbe (2012): Boundary effects in network measures of spatially embedded networks, *Europhysics Letters*, 100(2), 28002 (2012).
- Rheinwalt A, N. Boers, N. Marwan, J. Kurths, P. Hoffmann, F.-W. Gerstengarbe, P. Werner (2016): Non-Linear Time Series Analysis of Precipitation Events Using Regional Climate Networks for the Region of Germany, *Climate Dynamics* 46(3), 1066–1074
- Runge J, J. Heitzig, V. Petoukhov, J. Kurths J (2012): Escaping the curse of dimensionality in estimating multivariate transfer entropy, *Physical Review Letters* 108:258701.
- Runge J, J. Heitzig, N. Marwan, J. Kurths (2012): Quantifying causal coupling strength: A lag-specific measure for multivariate time series related to transfer entropy, *Physical Review E*, 86, 061121
- Schultz, Y. Zou, N. Marwan, M. T. Turvey (2011): Local Minima-based Recurrence Plots for Continuous Dynamical Systems, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21(4), 1065–1075
- Zou Y, R. Donner, N. Marwan, M. Small, J. Kurths (2014): Long-term changes in the north-south asymmetry of solar activity: a nonlinear dynamics characterization using visibility graphs, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 21, 1113–1126. DOI:10.5194/npg-21-1113-2014
- Zou Y, M. C. Romano, M. Thiel, N. Marwan, J. Kurths (2011): Inferring Indirect Coupling by Means of Recurrences, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21(4), 1099–1111
- Zou Y, J. Heitzig, R. V. Donner, J. F. Donges, J. D. Farmer, R. Meucci, S. Euzzor, N. Marwan, J. Kurths (2012): Power-laws in recurrence networks from dynamical systems, *Europhysics Letters*, 98, 48001

II.6.2 Teilprojekt B2

- Breitenbach, S. F. M. , Rehfeld, K. , Goswami, B. , Baldini, J. U. L. , Ridley, H. E. , Kennett, D. J. , Prufer, K. M. , Aquino, V. V. , Asmerom, Y. , Polyak, V. J. , Cheng, H. , Kurths, J. and Marwan, N. (2012): COConstructing Proxy Records from Age models (COPRA) , *Climate of the Past*, 8 (5), pp. 1765-1779 . doi:10.5194/cp-8-1765-2012.
- Donges, J. F. , Donner, R. V. , Rehfeld, K. , Marwan, N. , Trauth, M. H. and Kurths, J. (2011): Identification of dynamical transitions in marine palaeoclimate records by recurrence network analysis , *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18 (5), pp. 545-562 . doi:10.5194/npg-18-545-2011
- Goswami, B. , Heitzig, J. , Rehfeld, K. , Marwan, N. , Anoop, A. , Prasad, S. and Kurths, J. (2014): Estimation of sedimentary proxy records together with associated uncertainty , *Nonlinear Processes in Geophysics*, 21 (6), pp. 1093-1111 . doi:10.5194/npg-21-1093-2014.
- Konecky, B. , Russell, J. , Vuille, M. and Rehfeld, K. (2014): The Indian Ocean Zonal Mode over the past millennium in observed and modeled precipitation isotopes , *Quaternary Science Reviews*, 103 , pp. 1-18 . doi:10.1016/j.quascirev.2014.08.019.
- Molkenthin, N. , Rehfeld, K. , Stolbova, V. , Tupikina, L. and Kurths, J. (2014): On the influence of spatial sampling on climate networks , *Nonlinear Processes in Geophysics*, 21 (3), pp. 651-657 . doi:10.5194/npg-21-651-2014.
- Molkenthin, N. , Rehfeld, K. , Marwan, N. and Kurths, J. (2014): Networks from Flows - From Dynamics to Topology , *Scientific Reports*, 4 (4119) . doi:10.1038/srep04119.
- Nocke, S. Buschmann, J. F. Donges, N. Marwan, H.-J. Schulz, and C. Tominski (2015): Review: Visual analytics of climate networks. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 22, 545-570
- Rehfeld, K. , Molkenthin, N. and Kurths, J. (2014): Testing the detectability of spatio-temporal climate transitions from paleoclimate networks with the START model , *Nonlinear Processes in Geophysics*, 21 (3), pp. 691-703 . doi:10.5194/npg-21-691-2014.
- Radloff, A.; Tominski, C.; Nocke, T.; Schumann, H. (2014): Supporting Presentation and Discussion of Visualization Results in Smart Meeting Rooms, *Visual Computer*, doi: 10.1007/s00371-014-1010-x
- Rehfeld, K. and Kurths, J. (2014): Similarity estimators for irregular and age-uncertain time series , *Climate of the Past*, 10 , pp. 107-122 . doi:10.5194/cp-10-107-2014.
- Rehfeld, K. , Marwan, N. , Breitenbach, S. F. M. and Kurths, J. (2013): Late Holocene Asian summer monsoon dynamics from small but complex networks of paleoclimate data , *Climate Dynamics*, 41 (1), pp. 3-19 . doi:10.1007/s00382-012-1448-3.
- Rehfeld, K. , Marwan, N. , Heitzig, J. and Kurths, J. (2011): Comparison of correlation analysis techniques for irregularly sampled time series , *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18 (3), pp. 389-404 . doi:10.5194/npg-18-389-2011.
- Schulz, H.-J.; Nocke, T.; Heitzler, M.; Schumann (2013), H.: A Design Space of Visualization Tasks, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19(12), pp.2366-2375, DOI: 10.1109/TVCG.2013.120

Tupikina, L. , Rehfeld, K. , Molkenhain, N. , Stolbova, V. , Marwan, N. and Kurths, J. (2014): Characterizing the evolution of climate networks , *Nonlinear Processes in Geophysics*, 21 (3), pp. 705-711 . doi:10.5194/npg-21-705-2014

II.6.3 Teilprojekt D1

- Boettle, M., D. Rybski, J. P. Kropp (2016): Quantifying the effect of sea level rise and flood defence - a point process perspective on coastal flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16:559–576
- Förster H, Sterzel T, Pape CA, Moneo-Lain M, Niemeyer I, Boer R, Kropp JP (2011): Sea-level rise in Indonesia: On adaptation priorities in the agricultural sector. *Regional Environmental Change* 11(4): 893-904
- Fluschnik, T., Kriewald, S., Ros, A. G. C., Zhou, B., Reusser, D. E., Kropp, J. P. & Rybski, D. (2016). The size distribution, scaling properties, and spatial organization of urban clusters: a global and regional perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [in press].
- Garcia Cantu Ros A, Antonopoulos C, Basios V (2011): Emergence of coherent motion in aggregates of motile coupled maps. *Chaos Solitons and Fractals* 44(8): 574-586.
- García Cantú Ros A, McEwen JW and Gaspard P (2011): Effect of ultrafast diffusion on adsorption, desorption, and reaction processes over heterogeneous surfaces. *Phys. Rev. E* 83, 021604.
- Garcia Cantu Ros A, J. Forti, G. Nicolis (2013), Connectivity patterns, information and predictability, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 18, Issue 8, 2018.
- Garcia Cantu Ros A, Fluschnik T, Kropp JP (2016): Variance based stationary control of regime shifts: bistability and oscillations, submitted to: *Phys Rev. X*. [revisions needed, resubmission]
- Golub A, D. Narita, M. G. W. Schmidt (2014): Uncertainty in Integrated Assessment Models of Climate Change: Alternative Analytical Approaches." *Environmental Modeling & Assessment* 19(2): 99–109. doi:10.1007/s10666-013-9386-y.
- Gudipuddi RV, T. Fluschnik; A. García Cantú Ros; C. Walther; JP Kropp (2016): City Density and CO₂ Efficiency. *Energy Policy* 91:352–361
- Guse, Björn, Dominik E. Reusser, and Nicola Fohrer. (2013): How to Improve the Representation of Hydrological Processes in SWAT for a Lowland Catchment - Temporal Analysis of Parameter Sensitivity and Model Performance. *Hydrological Processes* 28: 2651–2670.
- Halbe, J., Reusser, D. E., Holtz, G., Haasnoot, M., Stosius, A., Avenhaus, W., and Kwakkel, J. H (2014). The role of models in governing transition processes towards sustainable development. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, accepted.
- Kornhuber K, Reusser DE, Costa L, Kropp JP, Schellnhuber HJ, Rybski D (2016): Exploring the Environmental Kuznets Curve of Human Development and CO₂ Emissions, *PNAS*, [in press].
- Kriewald S, Pradhan P, Garcia Cantu Ros A, Kropp JP (2015): The contribution of urban hinterland to food self-sufficiency in large cities: A global overview. Submitted to *Nature Climate Change*
- Lissner, T. K., Reusser, D. E., Schewe, J., Lakes, T., and Kropp, J. P. (2014): Climate impacts on human livelihoods: where uncertainty matters in projections of water availability. *Earth System Dynamics*, 5(2):355–373.
- Lissner, T. K., Reusser, D. E., Lakes, T., and Kropp, J. P. (2014): A systematic approach to assess human wellbeing demonstrated for impacts of climate change. *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems* 1(1), 2300-3669
- Lissner, T. K., Sullivan, C. A., Reusser, D. E., and Kropp, J. P. (2014): Determining regional limits and sectoral constraints for water use. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(10):4039–4052.
- Lorenz A, E. Kriegler, H. Held, M. G. W. Schmidt (2012a), How to measure the importance of climate risk for determining optimal global abatement policies? *Climate Change Economics* 3 (1), 1250004, DOI: 10.1142/S2010007812500042.
- Lorenz A, M. G. W. Schmidt, E. Kriegler, H. Held (2012b): Anticipating Climate Threshold Damages, *Environmental Modeling and Assessment*, 17 (1), 163-175, DOI: 10.1007/s10666-011-9282-2
- Lutz, Raphael, Michael Spies, Dominik E. Reusser, Jürgen P. Kropp, and Diego Rybski (2013): Characterizing the Development of Sectoral Gross Domestic Product Composition. *Physical Review E* 88 (1): 012804.
- Pradhan, P., Lüdeke, M. K. B., Reusser, D. E., and Kropp, J. P. (2014): Food Self-Sufficiency across scales: How local can we go? *Environmental Science & Technology*, 48(16):9463–70.
- Pradhan, P., Reusser, D. E., and Kropp, J. P. Embodied Greenhouse Gas Emissions in Diets. *PlosOne*, 8(5):e62228.
- Pradhan, P., Lüdeke, M. K., Reusser, D. E., and Kropp JP (2013): Embodied crop calories in animal products. *Environmental Research Letters*, 8(4):044044.

- Prahl BF, Rybski D, Kropp JP, Burghoff O, Held H (2012): Applying Stochastic Small-Scale Damage Functions to German Winter Storms. *Geophysical Research Letters*, 39(6): L06806
- Prahl BF, Rybski D, Burghoff O, Kropp JP (2015): Comparison of storm damage functions and their performance. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15, 769-788
- Reusser DE, Wrobel M, Nocke T, Sterzel T, Förster H, Kropp JP (2011). Presentation of uncertainties on web platforms for climate change information. *Procedia Environmental Sciences* 7: 80-85.
- Reusser, D. E., Lissner, T. K., Pradhan, P., Holsten, A., Rybski, D., and Kropp, J. P. (2013) Relating Climate Compatible Development and Human Livelihood. *Energy Procedia*, 40:192–201.
- Rybski, D.; García Cantú Ros, A.; Kropp, JP (2013): Distance-weighted city growth. *Physical Review E*, 87 , 042114
- Rybski D, Sterzel TJ, Reusser DE, Winz AL, Fichtner C, and Kropp JP (2016): Cities as Nuclei of Sustainability?“ *Environment and Planning B*, [in press], <http://dx.doi.org/10.1177/0265813516638340>
- Schmidt MGW, A. Lorenz, H. Held, E. Kriegler (2011), Climate Targets under Uncertainty: Challenges and Remedies, *Climatic Change Letters*, 104 (3-4), 783-791, DOI 10.1007/s10584-010-9985-4
- Schmidt MGW, H. Held, E. Kriegler, A. Lorenz (2013): Stabilization Targets under Uncertain and Heterogeneous Climate Damages, *Environmental & Resource Economics*, 54, 79-99, DOI 10.1007/s10640-012-9582-2.
- Vitolo, C., Elkhatib, Y., Reusser, D., Macleod, C. J., and Buytaert, W (2015): Web technologies for environmental Big Data. *Environmental Modelling & Software*, 63:185–198.
- Zhou B, Rybski D, Kropp JP (2013): On the statistics of urban heat island intensity. *Geophysical Research Letters*, 40(20): 5486–5491

II.6.4 Dissertationen

- Schmidt Matthias (2011): Climate Policy under Uncertainty. Genehmigte Dissertation: 31.08.2011, Technische Universität Berlin
- Lorenz Alexander (2011) Uncertainty and Learning in Global Climate Analysis. Genehmigte Dissertation: 21.10.2011, Technische Universität Berlin
- Rehfeld, Kira (2013): Embracing nature's inhomogeneity – the challenge to infer spatio-temporal dependences from paleoclimate data; Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät I, publiziert am 26.09.2013, [urn:nbn:de:kobv:11-100212615](http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:11-100212615)
- Lissner Tabea (2014): Limitations to human livelihoods and well-being in the context of climate change. Geographie, Humboldt Universität, Berlin
- Prahl Boris (2016): On Damage Functions for the Estimation of Storm Loss and their Generalisation for Climate-Related Hazards, Freie Universität zu Berlin
- Markus Böttle (2016): Coastal Floodings in View of Sea Level Rise: Assessing Damage Coasts and Adaption Measures, Universität Potsdam

II.6.5 Sonstiges

Frau Tabea Lissner war Preisträgerin des „Outstanding young scientist award 2014 (nominated in 2013) der European Geosciences Union, Section Energy, Resources, and Environment Section. <http://www.egu.eu/awards-medals/division-outstanding-young-scientists-award/2014/>

Prof. Dr. Kropp beteiligte sich im Rahmen der Lehre an dem neugeschaffenen MPM Studiengang (Geogovernance Teilprojekt Prof. Jann, D3) zum Thema Klimawandel & Klimawirkungen welcher ebenfalls im Rahmen von PROGRESS gefördert wird. Dies führte schlussendlich zu 4 Masterarbeiten, die durch Prof. Dr. Kropp als Erst- bzw. Zweitgutachter betreut und abgeschlossen wurden.

Eine im Rahmen von PROGRESS geschaffene außerplanmäßige Professur (Klimawandel & Nachhaltigkeit) wurde verwendet, um einen Ruf von Prof. Dr. J. Kropp an die Griffith University/Brisbane Australien abzuwenden. Auf diese Weise konnten die Aktivitäten von PIK und der Universität Potsdam weiter integriert werden, wodurch die Kommunikation zwischen den beiden wissenschaftlichen Institutionen weiter verbessert werden kann. Dies zeigt sich in gemeinsamen Forschungsaktivitäten, in der Erweiterung der Lehre an der Universität aber auch durch den Einbezug von Studierenden in die Forschungsprojekte am PIK, wodurch die Studierenden einen vertieften Einblick in praktische Forschungstätigkeiten erhalten.

III. Anlage III: Liste von Vorträgen und Posterpräsentationen

Eingeladene oder Konferenzvorträge

- Böttle M, Rybski D, Kropp JP (2011): "A cost-benefit framework for adaptation to sea level rise", Vortrag, EGU 2011 Assembly Wien, Österreich.
- Feldhoff J H , Donner R V, Donges J F, Marwan N, Kurths J (2011): "On bi- and multivariate extensions of recurrence network analysis", Vortrag, 4th international Symposium on Recurrence Plots, Hong Kong, China.
- Garcia Cantu Ros, Anselmo, Antonopoulos, C., & Basios, V. (2011). Emergence of coherent motion in flocks of deterministic walkers. Meeting of the German Physical Society (DPG).
- Kropp JP (2011): „Climate Change and Potential Security Risks in Developing Countries“, Promotionsfachtagung II/11 U. Bundeswehr: Terrorismusbekämpfung und Krisenmanagement, 28.6.11 Potsdam, Deutschland (eingeladen).
- Kropp JP (2011): "Climate Change Risk Challenges for the North and the South", International Humboldt Kolleg on Climate Change Mitigation & Adaptation on occasion of on 60th anniversary of Indo-German relationships, Vortrag, All India Institute for Social and Economic Change, 21.Oktober 2011, Bangalore, Indien.
- Kropp JP (2011): "Perspectives on Climate Services", Vortrag, Climate Platforms and Portals Workshop. Open Platform Initiative, Worldbank, 12.7.2011, Washington, USA (eingeladen).
- Kropp JP (2011): "The national and international scientific perspective on city development and climate change", Vortrag, Environmental Strategies for Metropolises - An International, European and National Perspective, Treffen der Umweltexperten der Botschaften mit den Ländervertretern, 5.5.2011 Landesvertretung Hamburg, Deutschland (eingeladen).
- Kropp JP (2011): „Vision für die Städte der Zukunft: Ist Anpassung an den Klimawandel genug?“, Vortrag, Jahrestagung Arbeitskreis Entwicklung und Verwaltung 2011, Universität Potsdam, Politikwiss. Fakultät, 6.5.2011, Potsdam, Deutschland (eingeladen).
- Marwan N (2011): "Recent achievements in recurrence plot research", Vortrag, 4th international Symposium on Recurrence Plots, Hong Kong, China.
- Marwan N (2011): "Duality of complex network analysis and recurrence based analysis of time series", Vortrag, Climate Knowledge Discovery Workshop, Hamburg, Deutschland.
- Marwan N (2011): „Graphentheoretische Untersuchung komplexer Systeme“, Vortrag, Workshop Klimawandel, Parasiten und Infektionskrankheiten, Berlin, Deutschland.
- Nocke T (2011): „Basics and Visual Analytics of Climate Networks“, Vortrag, Super Computing Conference, Seattle, USA.
- Nocke T (2011): „Presentation of uncertainties on web platforms for climate change information“, Vortrag, 1st Conference on Spatial Statistics, Enschede, Niederlande.
- Nocke T (2011): „Recent developments in climate data visualization“, Vortrag, VRVis Research Center, Wien, Österreich, 22.September.
- Nocke T (2011): „Visualization Methods for Analyzing Climate and Climate Impact Data“, Vorlesungsteil im Rahmen der Vorlesung "Global Change - Concepts, Modelling, and Impacts" (GCM), Potsdam, Deutschland.
- Nocke T (2011): "Visualization of uncertainties in climate and climate impact research", Vortrag, Workshop Visualizing Climate, Atmosphere & Algorithms, DFG Network Meeting, Potsdam, Deutschland.
- Nocke T (2011): „Grundlagen der wissenschaftlichen Visualisierung“, Vorlesung, Ringvorlesung "Sichtbarkeit und Sichtbarmachung", Potsdam, Deutschland, SS 2011.
- Nocke T (2011): „Visual Analytics in Climate Impact Research“, Vortrag, Workshop Trends in Visual Computing and Visual Analytics, Kühlungsborn, Deutschland.
- Rehfeld K (2011): „Visual Exploration of Extreme Events in Large, Heterogeneous Climate Data“, Vortrag, GeoViz Workshop, Hamburg, Deutschland.
- Rehfeld K (2011): „Kernel-based correlation estimation for irregularly sampled time series“ Vortrag, EGU 2011, Wien, Österreich.
- Rybski D, Holsten A, Kropp JP (2011): "Analyzing the phase statistics of phenological records: fluctuations and correlations with temperature", Vortrag, EGU 2011 Assembly Wien, Österreich.
- Malik, N, Zou Y, Marwan N, Kurths J (2011): "Employing nonlinear similarities to identify distinct dynamical regimes in short palaeo records", Vortrag, EGU 2011 Assembly Wien, Österreich.
- Heitzig J, Runge J (2011): "Entropy train diagrams for information-based measures of statistical association", Vortrag, EGU 2011 Assembly Wien, Österreich.

- Cantú Ros A G (2011); "From chaos to Complexity", 6-8 July 2011, Centre for Complexity Science, Mathematics Institute, University of Warwick, Großbritannien.
- Wrobel, Markus, and Dominik E. Reusser (2011). Challenges and success factors in adapting IT for the management of scientific data." In Data Repositories in environmental sciences, Marburg 27.02. - 01.03.2011, 2011.
- Reusser, Dominik E., and Markus Wrobel. 2011. Data version management. In Data Repositories in environmental sciences, Marburg 27.02. - 01.03.2011.
- Lissner, Tabea K., Dominik E. Reusser, Anne Holsten, and Jürgen P. Kropp. 2011a. Assessing consequences of changes in water availability on human well-being and health. Chapel Hill, USA: Water and Health Conference 2011, UNC
- Bronstert A, Creutzfeldt B, Graeff T, Hajnsek I, Heistermann M, Itzerott S, Jagdhuber T, Kneis D, Lück E, Reusser D, and Zehe E (2012): "Potentials and constraints of different types of soil moisture observations for flood simulations in headwater catchments", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Cantu Ros A G et al. (2012): "Climate Change, cities and urban/peri-urban agriculture", Vortrag, Workshop on peri-urban and urban agriculture, Nanjing University, China.
- Cantu Ros A G et al. (2012): "Adaptation to climate change impacts on urban functions", Vortrag, Workshop on peri-urban and urban agricultura, Fudan University, Shanghai, China.
- Cantu Ros A G et al. (2012): "Early warning based stationary control of critical transitions", Vortrag, Workshop Early-Warning Signals for Critical transitions, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, Niederlande.
- Donges J F, Donner RV, Trauth M H, Marwan N, Schellnhuber H J, and Kurths J (2012): "Recurrence network-based time series analysis for identifying tipping points in Plio-Pleistocene African climate", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Donges J F, Donner RV, Trauth M H, Marwan N, Schellnhuber H J, and Kurths J (2012): "Nonlinear detection of paleoclimate-variability transitions possibly related to human evolution", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Heitzig J (2012): "Bottom-up strategic linking of carbon markets: Which climate coalitions would farsighted players form?", Vortrag, 19th annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists (EAERE), Prag, Tschechien.
- Heitzig J (2012): "Using networks in the game theoretic study of international climate policy", Vortrag, Global systems as networks of networks, GSDP-Workshop, Florenz, Italien.
- Kropp J P (2012): "Complexity, Cities, Climate Change and Future Planning", Vortrag, Kolloquium, Universität Bielefeld, Deutschland.
- Kropp J P (2012): "Steering humanity and the earth system: is it feasible?", Vortrag, Kolloquium Komplexitätsseminär, Universität Bremen, Deutschland.
- Kropp J P (2012): „Die Klima, Wasser, Land Dimensionen: Ist die Extremwertstatistik für ein langfristiges Management geeignet?“, Vortrag, Universität für Bodenkunde, Wien, Österreich.
- Marwan N (2012): "Complex Network Analysis of Recurrence Plots", Vortrag, 5th Shanghai International Symposium on Nonlinear Sciences and Applications, Fudan University, Shanghai, China.
- Marwan N (2012): "Complex Network Analysis of Recurrences in Phase Space", Vortrag, 12th Experimental Chaos Conference, Michigan, USA.
- Marwan N, Feldhoff J H, Donner R V, Donges J F, Kurths J (2012): "Detection of coupling directions with intersystem recurrence networks", Vortrag, International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications NOLTA, Palma de Mallorca, Spanien.
- Marwan N, Goswami B, Rehfeld K, Breitenbach S, and Kurths J (2012): "Reconstruction of uncertain age-depth relationships", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Nocke T (2012): "The Role of Visualization in Climate Research Processes", Vortrag, Workshop Image Politics – Pictur(e)ing Climate, Potsdam, Deutschland.
- Prahl B F, Rybski D, Kropp J P, Burghoff O, and Held H (2012): "Stochastic Modeling of Empirical Storm Loss in Germany", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Rehfeld K, Marwan N, Heitzig J, and Kurths J (2012): "Mutual information estimation for irregularly sampled time series", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Reusser D E, Grothmann T, Pape C, Lissner T, Cantu Ros A G, Kropp J P (2012): "Assessing societal Interventions to Stay Within Safe Socio-ecological Boundaries", Planet Under Pressure, London, Großbritannien.
- Rheinwalt A, Marwan N, Kurths J, and Werner P (2012): "Boundary effects in network measures of spatially embedded networks - A case study for German rainfall data", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.

- Rheinwalt A, Marwan N, Kurths J, Werner P, Gerstengarbe F-W (2012): "Boundary effects in network measures of spatially embedded networks", Vortrag, International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis – Climate Knowledge Discovery Workshop, Salt Lake City, USA.
- Rybski D, Böttle M, Kropp JP (2012): "On the estimation of damages due to coastal floods", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Wattenbach M, Delgado J M, Roessner S, Bochow M, Güntner A, Kropp J P, Cantu Ros A G, Hattermann F, Kolbe T, Sodoudi, Ulrich Cubasch U, Zeitz J, Ross L, Böckel K, Fang C, Bo L, and Pan G (2012): "A combined remote sensing and modeling based approach to identify sustainable pathways for urban and peri-urban agriculture in China", Vortrag, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Wrobel M, Reusser DE (2012): "Communicating Results from Climate Change Research with Web-Based Applications – Issues and Challenges", Vortrag, Workshop Image Politics – Pictur(e)ing Climate, Potsdam, Deutschland.
- Buschmann S, Nocke T, Tominski C, und Döllner J (2013): "Towards Visualizing Geo-Referenced Climate Networks", Vortrag, GeoVis13, Hamburg, Deutschland.
- Guse B, Reusser D E, and Fohrer N (2013a): "Temporal Diagnostic Analysis of the SWAT Model to Detect Dominant Periods of Poor Model Performance", Vortrag, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Guse B, Reusser D E, and Fohrer N (2013b): "Temporal Analysis of Parameter Sensitivity and Model Performance to Improve the Representation of Hydrological Processes in SWAT for a German Lowland Catchment", Vortrag, International SWAT Conference & Workshops, Toulouse, Frankreich.
- Kropp J (2013): "Cities and Climate: how to reconcile? Complex(c)ity – Urbanization and energy transitions in a changing climate, Global Sustainability Summer School", 1-12. Juni 2013, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), Potsdam, Deutschland.
- Kropp J (2013): "Cities of the future", Key note annual assembly of Friends and Supporters of PIK, Annual Assembly, 17.5.2013, Potsdam, Deutschland.
- Kropp J (2013): "Climate Change & Cities: Problem & Solution?", Key note at Aula Magna, Climate Change and disaster prevention, Universidad Católica del Perú, 11.-13.11.2013, Lima, Peru.
- Lissner, Tabea K., Dominik E. Reusser, and Jürgen P. Kropp. 2013. "Tackling Climate Change Impacts in the Context of Sustainability: The Livelihood Index as an Integrative Framework." In *Geophysical Research Abstracts Vol. 15*, 10:EGU2013–9480.
- Lutz R, Spies M, Reusser D E, Kropp J P, Rybski D (2013): "Sectoral Transitions - Modeling the Development from Agrarian to Service Economies", Vortrag, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Marwan N (2013): "Potential Pitfalls in Recurrence Plot Analysis (Keynote-Vortrag)", 5th International Symposium on Recurrence Plots, Chicago, USA.
- Marwan N, Breitenbach S, Kurths J (2013): "Detection of Climate Transitions in Asia Derived from Speleothems", Vortrag, SAGE2013 Conference, Berlin, Deutschland.
- Marwan N, Breitenbach S, Kurths J. (2013): „Detection of Climate Transitions in Asia Derived from Speleothems", Vortrag, SAGE2013 Conference, Berlin, Deutschland.
- Nocke T (2013): "ClimateImpactsOnline: A web platform for regional climate impacts (in Germany)", Vortrag, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Nocke T (2013b): "ClimateImpactsOnline: A web platform for regional climate impacts", Vortrag, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Rehfeld K, Goswami B, Marwan N, Breitenbach S F, Lechleitner F, Molkenthin N und Kurths J (2013): "Teleconnections and internal variability of the Asian Monsoon in the last 1000 years from paleoclimate data", Vortrag, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Rehfeld K, Goswami B, Molkenthin N, Marwan N, Breitenbach S F, Lechleitner F und Kurths J (2013): "Inferring past Indian summer monsoon strength from small but complex paleoclimate networks (eingeladener Vortrag)", Annual Monsoon Workshop, Puna, Indien.
- Rehfeld K, Heitzig J, Marwan N, Goswami B und Kurths J (2013): "Comparison of linear and nonlinear similarity measures for irregularly sampled and age-uncertain time series", Vortrag, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Reusser D E, and Liersch S (2013): "How to Manage Hydrological Measurements? The R Package RObsDat." In 2nd OpenWater Symposium, Brüssel, Belgien.
- Rheinwalt A, Marwan N, Kurths J, Gerstengarbe F-W, Werner P C (2013): "Non-linear time series analysis of precipitation events using regional climate networks for the region of Germany", EGU 2013, Wien, Österreich.
- Schneider B, Nocke T (2013): Die Klimazonenkarte Alexander von Humboldts im Spannungsfeld von Daten und Ästhetik: Diskussionen ihrer Entstehung und computerbasierten Rekonstruktionen, Vortrag, Kartographische Episteme. Visuelle Praktiken A. v. Humboldts, Potsdam, Deutschland.

- Al-areqi, S., Kriewald, S., Lamprecht, A.-L., et al., 2014. Agile Workflows for Climate Impact Risk Assessment based on the ci:grasp Platform and the jABC Modeling Framework. In D. P. Ames, N. W. T. Quinn, & A. E. Rizzoli, eds. *Proceedings of the 7th International Congress on Environmental Modelling and Software*, June 15-19, San Diego, California, USA. pp. 1–8
- Lissner, T.K., Reusser, D.E., et al., 2014b. Where do climate impacts really matter? The AHEAD framework (Oral). In *Geophysical Research Abstracts Vol. 16*. pp. EGU2014–8005.

Poster Präsentationen

- Donges J, Schultz H, Marwan N, Zou Y, and Kurths J (2011): "Coupled climate networks for analysing the terrestrial atmosphere's vertical dynamical structure", Poster, EGU 2011 Wien, Österreich.
- Donner R, Donges JF, Trauth M H, Marwan N, and Kurths J (2011): "Large-scale transitions in Plio-Pleistocene African dust flux dynamics identified by recurrence network analysis", Poster, EGU 2011 Wien, Österreich.
- Donner R, Heitzig J, Donges JF, Zou Y, Marwan N, and Kurths J (2011): "The Geometry of Chaotic Dynamics - A Complex Network Perspective", Poster, EGU 2011 Wien, Österreich.
- Heitzig J (2011): "Keeping Climate in Check: A Self-enforcing Strategy for Cooperation in Public Good Games", Poster, Game Theory and Society Conference, ETH Zürich, Schweiz.
- Heitzig J, Donges JF, and Kurths J (2011): "Agglomerative clustering of climate networks by representation optimization", Poster EGU 2011 Wien, Österreich.
- Ngamga E J, Marwan N, Donges J F, Kurths J (2011): "Network approach for unveiling subtle transitions in dynamical systems", Poster, 4th international Symposium on Recurrence Plots, Hong Kong, China.
- Rehfeld K (2011): „Linear and nonlinear similarity measures for networks from irregularly sampled data“, Poster, EGU 2011, Wien, Österreich.
- Reusser, Dominik E., Hannah Förster, and Jürgen P. Kropp (2011). "A structured knowledge base for local scale adaptation." In *Risiko 2.0 Neuer Umgang mit alten Naturgefahren*. Potsdam, 2011.
- Reusser, Dominik E., and Thurid Hustedt (2011). "Der interdisziplinäre Charakter von Risiko und Vorsorge." In *Risiko 2.0 Neuer Umgang mit alten Naturgefahren*. Potsdam: Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 2011.
- Rybski D, Steinhäuser M, Kropp JP (2011): "Identifying damage functions through density transformation", Poster, EGU 2011 Wien, Österreich.
- Cantu Ros A G, Kriewald S, Rybski D, and Kropp J P (2012): "Food security, growth and spatial organization of urban areas: a global perspective", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Feldhoff J H, Donner R V, Donges J F, Marwan N, and Kurths J (2012): Bi- and multivariate recurrence network analysis for identifying and characterizing coupled geophysical systems, Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Goswami B, Heitzig J, Rehfeld K, Marwan N, and Kurths J (2012): "The problem of calibration: A possible way to overcome the drawbacks of age models", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Goswami B, Heitzig J, Rehfeld K, Marwan N, and Kurths J (2012): "Using Bayesian regression to construct proxy time series from palaeoclimate archives", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Marwan N, Goswami B, Rehfeld K, Breitenbach S, and Kurths J (2012): "Reconstruction of uncertain age-depth relationships", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Nocke T (2012): "Visual Analytics of Climate Networks", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Oluoch K, Marwan N, Trauth M, Loew A, and Kurths J (2012): "Complex Networks Dynamics Based on Events-Phase Synchronization and Intensity Correlation Applied to The Anomaly Patterns and Extremes in The Tropical African Climate System", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Rehfeld K, Marwan N, Breitenbach S, and Kurths J (2012a): "Holocene monsoon variability as resolved in small complex networks from palaeodata", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Rehfeld K, Marwan N, Breitenbach S, and Kurths J (2012b): "Holocene monsoon variability as resolved in small complex networks from palaeodata", Poster, Opportunities and Challenges of Monsoon Prediction in a Changing Climate (OCHAMP), 21-23. Februar 2012, Puna, Indien (distinguished by Best Presentation Award).
- Rehfeld K, Marwan N, Heitzig J, and Kurths J (2012): "Pearson correlation estimation for irregularly sampled time series", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Reusser D E, Buytaert W, and Vitolo C (2012): "RHydro - Hydrological models and tools to represent and analyze hydrological data in R", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Reusser D E, Senaratne H V, Gerharz L, Sterzel T, Nocke T, and Wrobel M (2012): "User preferences for the presentation of uncertainties on web platforms for climate change information", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.

- Reusser D E, Siabatto Pinto F A, Cantu Ros A G, Pape C, Lissner T, and Kropp J P (2012): "Modelling interactions between mitigation, adaptation and sustainable development", Poster, EGU 2012, Wien, Österreich.
- Cantu Ros A G, Kriewald S, Dunkhorst G, Sterzel T, Kropp J (2013): "Towards assessing the potential for food and water security of urban-peri-urban regions", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Flechsigt M, Nocke T (2013): "Sensitivity, Uncertainty and Visual Analysis in Climate Sciences", Poster, Nonlinear Data Analysis and Modeling: Advances, Applications, Perspectives (NDA'13) Conference, Potsdam, Deutschland.
- Fluschnik T, Kriewald S, Cantu Ros A G, Zouh B, Reusser D E, Kropp J P, and Rybski D (2013): "Urban Land Cover at Criticality and City Size Distributions", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Halbe J, Reusser D E, Holtz G, Stosius A, Kwakkel J H, Haasnoot M, and Avenhaus W (2013): "How Can Models Support a Transition to Sustainability: The Role of Simulations in Sustainable Resource Management", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Heitzler M, Kiertscher S, Lang U, Nocke T, Wahnes J, Winkelmann V (2013): "Visual Climate Knowledge Discovery within a Grid Environment", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Heitzler M, T Nocke (2013): "SimEnvVis: A Climate Data Visualization Wizard", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Lissner, T K, Reusser D E, and Kropp J P (2013): "Tackling Climate Change Impacts in the Context of Sustainability: The Livelihood Index as an Integrative Framework", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Lissner, T K, Reusser D E, Sullivan C A, and Kropp J P (2013): "Meeting Water Needs for Sustainable Development", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Lutz, Raphael, Michael Spies, Dominik E. Reusser, Jürgen P. Kropp, and Diego Rybski. 2013. "Sectoral Transitions - Modeling the Development from Agrarian to Service Economies." In *Geophysical Research Abstracts* Vol. 15, 15:EGU2013-13806.
- Marwan N, Rehfeld K, Goswami B, Breitenbach S und Kurths J (2013): "Constructing Proxy-Record Age models (COPRA)", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Nocke T (2013): "Climate Impacts Online: A web platform presenting regional climate and impact information for Germany", Poster, International Conference on Regional Climate (CORDEX 2013), Brüssel, Belgien.
- Pradhan P, Lüdeke M K, Reusser D E, and Kropp J P (2013): "Food Self-Sufficiency across Scales: How Local Can We Go?", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Rehfeld K, Goswami B, Marwan N, Breitenbach S und Kurths J (2013): "Paleoclimate networks: A concept meeting central challenges in the reconstruction of paleoclimate dynamics", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Rehfeld K, Goswami B, Molkenhuth N, Lechleitner F, Breitenbach S, Kwiecień O, Marwan N und Kurths J (2013): "Regional monsoon dynamics from small but complex paleoclimate networks", Poster, PAGES Open Science meeting, Goa, Indien.
- Reusser D E, Lissner T K, Pradhan P, Rybski D, and Kropp J P (2013): "Climate Compatible Development under Human Livelihood", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Rybski D, Sterzel T J, Reusser D E, Fichtner C, and Kropp J P (2013): "Why to Measure a Broad Range of City Sizes? Analysis of Globally Pooled Data of Urban GHG Measurements for Sustainability", Poster, EGU 2013, Wien, Österreich.
- Kornhuber, K. et al., 2014. Reduced carbon intensity in highly developed countries: environmental kuznets curves for carbon dioxide (Poster). In *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16. pp. EGU2014-11498.
- Nocke, T., Wrobel, M. & Reusser, D., 2014. Presentation of uncertainties on web platforms for climate change information (Poster). In *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16. pp. EGU2014-15078.