



Case study 2:

Economic impacts of climate change and adaptation under different socio-economic developments in Germany (in native language)

Work Package 3 – Deliverable 3.4

Delivery date: 31/03/2022

Dissemination Level: TBD

Authors: *Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS – Institute of Economic Structures Research): Saskia Reuschel, Christian Lutz*

Lead beneficiary: NRI

Project full title: *Unpacking climate impact chains - a new generation of climate change risk assessments*

Grant Agreement number: 776608

Funding scheme: *H2020-SC5-2016-2017*

Project acronym: UNCHAIN

Project start date: *1st September 2019*

Duration: *36 months*



Title Lessons learned	Date 31/03/2022
Project title Unpacking climate impact chains. A new generation of action- and user-oriented climate change risk assessments (UNCHAIN)	Number of pages 11
Lead authors Saskia Reuschel, Christian Lutz	Project leader Carlo Aall

Contributors

–

Short summary

UNCHAIN deliverable D3.4 is a collection of twelve reports describing the lessons learned in the twelve UNCHAIN case studies. This report presents the findings of Case Study 2, titled “Economic impacts of climate change and adaptation under different socio-economic developments in Germany.” It describes how the Impact Chain based Climate Risk and Vulnerability assessment was applied in the case study, characterizes the results, and details the achieved innovations of the Impact Chain based method.

This case study considers future socio-economic developments and extends the impact chain approach by combining it with macro-econometric modeling and scenario analysis. In the case study, different climate impact chains covering three different components of critical infrastructure (transport, energy, health) were investigated in the context of different socio-economic developments. The socio-economic developments are mapped by three national socio-economic scenarios based on the Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). The future costs of climate change impacts and adaptation were assessed in a scenario analysis using the national macro-econometric model PANTA RHEI. The results are presented using socio-economic indicators such as gross domestic product so that they are comparable and can serve as decision-support information. The case study illustrates the need for dynamic risk assessments, as the macroeconomic costs of climate impacts and adaptation measures vary significantly between socio-economic scenarios.



Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	5
Kurzbeschreibung der Fallstudie 2.....	5
Ausgewählte Wirkungsketten	7
Adressierte Innovationsbereiche und Forschungsfragen	8
Ergebnisse der Fallstudie.....	8
Forschungsinnovationen	9
Referenzen	11

Einleitung

Der UNCHAIN-Bericht D3.4 ist eine Sammlung von zwölf Berichten, in denen die Erkenntnisse aus den zwölf UNCHAIN-Fallstudien beschrieben werden. Dieser Bericht präsentiert den Inhalt, das Vorgehen, die Innovationen und die Ergebnisse der Fallstudie 2 „Wirtschaftliche Auswirkungen des Klimawandels und der Klimawandelanpassung unter verschiedenen sozio-ökonomischen Entwicklungen in Deutschland“.

Diese Fallstudie berücksichtigt zukünftige sozio-ökonomische Entwicklungen und erweitert den Impact-Chain Ansatz durch die Kombination mit makroökonomischer Modellierung und Szenarioanalyse. In der Fallstudie wurden verschiedene Klimawirkungsketten, die drei unterschiedliche Komponenten der kritischen Infrastruktur (Transport, Energie, Gesundheit) abdecken, im Kontext verschiedener sozioökonomischer Entwicklungen untersucht. Die Sozioökonomischen Entwicklungen werden durch drei nationale sozioökonomische Szenarien abgebildet, die an die Shared Socioeconomic Pathways (SSPs, dt.: gemeinsame sozioökonomische Entwicklungspfade) angelehnt sind. Die zukünftigen monetären Kosten der Klimaauswirkungen und der Klimaanpassung wurden im Rahmen einer Szenarioanalyse mit Hilfe des nationalen makroökonomischen Modells PANTA RHEI bewertet. Die Ergebnisse werden anhand sozioökonomischer Indikatoren wie Bruttoinlandsprodukt dargestellt, so dass sie vergleichbar sind und als entscheidungsunterstützende Informationen dienen können. Die Fallstudie veranschaulicht den Bedarf für dynamischen Risikobewertungen, da die makroökonomischen Kosten von Klimaauswirkungen und Anpassungsmaßnahmen zwischen den einzelnen sozioökonomischen Szenarien erheblich variieren.

Kurzbeschreibung der Fallstudie 2

Kontext der Risikobewertung, Ziele und erwartete Ergebnisse

Die Beeinträchtigung oder der Ausfall von (kritischen) Infrastrukturen kann zu erheblichen Störungen des gesellschaftlichen Lebens, der wirtschaftlichen Entwicklung oder der öffentlichen Sicherheit führen. Der Klimawandel kann sowohl direkte als auch indirekte Schäden an kritischen Infrastrukturen verursachen und stellt damit ein zentrales Risiko dar. Die Anfälligkeit und das Klimarisiko werden dabei nicht nur durch die Häufigkeit und die Intensität extremer Wetterereignisse beeinflusst, sondern auch durch eine sich ändernde Gesellschaft. Für eine nachhaltige Anpassung an den Klimawandel ist somit ein fundiertes Verständnis sowohl der klimabedingten als auch der gesellschaftlichen Auswirkungen von Klimarisiken notwendig.

Allerdings wurden die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Schäden an kritischen Infrastrukturen bisher kaum systematisch bewertet. Für Österreich liegt mit den Ergebnissen des interdisziplinären COIN-Projektes eine Szenarioanalyse möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf die Volkswirtschaft bis 2050 vor (Steiniger et al. 2015). Inzwischen wurde auch für Deutschland auf Basis der Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA 2021, Kahlenborn et al. 2021) eine modellbasierte Szenarioanalyse zu den Kosten der Klimawandelfolgen in Deutschland vorgenommen (Flaute et al. 2022). Bisher nicht ausreichend in der Risikobewertung berücksichtigt sind unterschiedliche sozioökonomische Entwicklungen.

Inhalt der Fallstudie

Fallstudie 2 zielt darauf ab, die Impact-Chain Methode für die Analyse von Klimawandelrisiken durch die Kombination mit makroökonomischer Modellierung und die Betrachtung verschiedener zukünftiger sozioökonomischer Entwicklungen weiterzuentwickeln.

Dazu wurden drei verschiedene sozioökonomische Szenarien auf der Grundlage der Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) auf nationaler Ebene implementiert: ein Business-as-usual-Szenario ("Trend", SSP2), ein Szenario für nachhaltige Entwicklung ("Stabilität", SSP1) und ein drittes Szenario als Gegenstück zum Nachhaltigkeitsszenario, das von einer dynamischen sozioökonomischen Entwicklung abgeleitet ist ("Dynamik") und dem SSP 5 am ähnlichsten ist. Berücksichtigte Aspekte im nationalen Kontext sind die Bevölkerung und die demographische Entwicklung, das BIP-Wachstum, die Flächennutzung und die Entwicklungen in den Bereichen Energie, Klimapolitik und Verkehr.

Das makroökonomische Modell PANTA RHEI wurde erweitert, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Verkehrs-, Energie- und Gesundheitsinfrastruktur vor dem Hintergrund der drei unterschiedlichen sozioökonomischen Projektionen auf nationaler Ebene zu analysieren. Zu den betrachteten Klimawirkungen gehört die Unterbrechung des Straßenverkehrs aufgrund von Starkniederschlägen/Überschwemmungen (Transport), die Verknappung des Kühlwassers für Wärmekraftwerke aufgrund von Hitze/Trockenheit (Energie) sowie die erhöhte Nachfrage nach Gesundheitsdiensten aufgrund von Hitze (Gesundheit). Ausgangspunkt der Fallstudie war die integrierte Darstellung der drei betrachteten Klimawirkungsketten, die auf der nationalen Klimawirkungs- und Risikoanalyse aufbauen.

Innovationen aus der Fallstudie

Die Innovationen dieser Fallstudie beinhalten die Weiterentwicklung des bestehenden Impact-Chain Ansatzes durch die Betrachtung und Implementierung von zukünftigen sozioökonomischen Entwicklungen sowie der Verknüpfung von makro-ökonomischer Modellierung auf nationaler Ebene mit dem Impact-Chain Ansatz. Sozioökonomische Entwicklungen können das Klimarisiko erhöhen oder abschwächen, da diese die Exposition und Vulnerabilität negativ oder positiv beeinflussen. Die Fallstudie ist daher der Frage nachgegangen, wie sozioökonomische Szenarien in die Bewertung des künftigen Klimarisikos einbezogen werden können und wie ein besseres Verständnis der sozioökonomischen Folgen der Anpassung an den Klimawandel erreicht werden kann. Die Kombination von makroökonomischer Modellierung und der Impact-Chain Ansatz liefert quantitative Werte für die qualitativen Stränge der Wirkungsketten. Die Ergebnisse werden anhand sozioökonomischer Indikatoren wie dem BIP dargestellt, so dass sie vergleichbar sind und als Entscheidungshilfe dienen können.

Studienbereiche

- Wirtschaftliche Auswirkungen von Starkniederschlägen und Hitzewellen auf Infrastrukturen in Deutschland, insbesondere die Verkehrs-, Energie- und Gesundheitsinfrastruktur
- Zukünftige Sozioökonomische Entwicklungen zur integrierten Bewertung künftiger Klimarisiken

Involvierte Stakeholder

Die Risikobewertung wurde als eigenständige desk research durchgeführt.

Zusammenfassung der Datenerhebung

Die Daten wurden von frei zugänglichen Quellen der öffentlichen Statistik, Berichten verschiedener nationaler und internationaler Organisationen oder aus Forschungsliteratur gesammelt.

Ergebnisse

Die methodischen Verbesserungen der Impact-Chain-Methode zur Bewertung des Klimarisikos und der Anfälligkeit umfassen eine verbesserte Integration quantitativer, qualitativer und dynamischer Aspekte durch die Verknüpfung der Impact-Chain-Methode mit makroökonomischer Modellierung auf nationaler Ebene, die Kombination von der Status-quo-Risikoanalyse mit SSPs und ex-ante-Simulationsrechnungen und die Berücksichtigung von Unsicherheiten in Bezug auf zukünftige sozioökonomische Entwicklungen.

Die Verknüpfung der Impact-Chain-Methode mit der makroökonomischen Modellierung ermöglicht die Bereitstellung von quantitativen Werten für die qualitativen Stränge der Wirkungsketten. Die Modellrechnungen helfen, die Auswirkungen des Klimawandels im Kontext verschiedener sozioökonomischer Entwicklungen zu quantifizieren und unterstützen die Risikobewertung hinsichtlich der Auswirkungen von Klimawandel und Anpassung auf kritische Infrastrukturen. Als Ergebnisse sind dokumentiert:

- Makroökonomische Effekte durch Unterbrechung des Straßenverkehrs, temperaturbedingten Rückgang der Stromerzeugung aus Steinkohle und wärmebedingte Gesundheitsausgaben sowie ausgewählte Anpassungsmaßnahmen im Rahmen von drei sozioökonomischen Szenarien (ausgewiesen als Veränderungen des Produktionswertes und des BIP für die Jahre 2030 und 2045)
- Beschreibung der Annahmen und Quantifizierungen der drei nationalen sozio-ökonomischen Szenarien (Trend, Stabilität, Dynamik) auf der Grundlage der SSPs (SSP2, SSP1, SSP5)
- Beschreibung der Annahmen und Quantifizierungen der betrachteten Klimaauswirkungen (Unterbrechung des Straßenverkehrs, temperaturbedingter Rückgang der Stromerzeugung aus Steinkohle und hitzebedingte Gesundheitsausgaben) und Anpassungsmaßnahmen
- Integrierte schematische Darstellung der fallstudienrelevanten Wirkungsketten auf Basis der Wirkungskettenmethode unter Einbeziehung von Kaskadeneffekten und unterschiedlichen sozioökonomischen Entwicklungen und Anpassungen

Fallstudienverantwortliche

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung, Osnabrück. Beteiligte Forscher waren Markus Flaute, Saskia Reuschel und Christian Lutz.

Ausgewählte Wirkungsketten

Fallstudie 2 hat insgesamt drei Wirkungsketten betrachtet und mit jeweils drei sozioökonomischen Szenarien kombiniert. Zu den betrachteten Klimawirkungen gehört die Unterbrechung des Straßenverkehrs aufgrund von Starkniederschlägen/Überschwemmungen (Transport), die Verknappung des Kühlwassers für Wärmekraftwerke aufgrund von Hitze/Trockenheit (Energie) sowie die erhöhte Nachfrage nach Gesundheitsdiensten aufgrund von Hitze (Gesundheit). Ausgangspunkt der Fallstudie war die integrierte Darstellung der drei betrachteten Klimawirkungsketten, die auf der nationalen Klimawirkungs- und Risikoanalyse (Kahlenborn et al. 2021) aufbauen.

Adressierte Innovationsbereiche und Forschungsfragen

Fallstudie 2 zielte auf zwei Innovationsbereiche des UNCHAIN-Projekts ab: „Impact Chain Methode & Unsicherheit“ und „Sozioökonomische Szenarien“.

Ergebnisse der Fallstudie

Integrierte schematische Darstellung der fallstudienrelevanten Wirkungsketten

Es wurde eine integrierte schematische Darstellung der fallstudienrelevanten Wirkungsketten auf Basis der Wirkungsketten-Methode unter Einbeziehung von Kaskadeneffekten und unterschiedlichen sozioökonomischen Entwicklungen sowie den Wirkungseffekten von Anpassung erstellt. Die Visualisierung enthält sowohl alle Elemente der Impact-Chain Methode als auch die Faktoren, die für die makroökonomische Analyse relevant sind und verdeutlicht so die Anknüpfungspunkte beider Methoden.

Die (bio)physikalischen Schäden des Klimawandels müssen für die verschiedenen sektorspezifischen Wirkungsketten zunächst in ökonomische Wirkungen übersetzt werden, welche die direkten Schäden bzw. Kosten des Klimawandels darstellen. Diese direkten Kosten fließen dann als Input in die ökonomische Modellierung ein, welche so die gesamtwirtschaftlichen Kosten ermittelt. Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene lösen die sektorspezifischen Wirkungen weitere indirekte und induzierte Effekte (Zweitrundeneffekte) aus. So verursachen Starkregenereignisse beispielsweise Schäden an der Verkehrsinfrastruktur, welche im Folgenden die Transportkosten erhöhen, was die Produktion der Sektoren beeinflusst, die Transport als Vorleistung verwenden, usw. Die gesamtwirtschaftlichen Effekte können dann anhand eines gesamtwirtschaftlichen Indikators wie dem Bruttoinlandsprodukt oder der Beschäftigung ausgewiesen werden und für die verschiedenen Szenarien miteinander verglichen werden. Maßnahmen zur Klimaanpassung zielen darauf ab die Schäden des Klimawandels zu verringern, vor allem in dem sie die Vulnerabilität verringern. Entweder in dem sie die Sensitivität verringern oder indem sie die Anpassungskapazität erhöhen. Sie lösen gesamtwirtschaftlich zudem Investitionseffekte aus.

Sozioökonomische Aspekte, wie sie in den sozioökonomischen Szenarien skizziert werden, beeinflussen die Exposition und insbesondere die Vulnerabilität und somit das Klimarisiko. Die drei sozioökonomischen Szenarien unterscheiden sich in den Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung, zur wirtschaftlichen Entwicklung, hinsichtlich der Erreichung der Ziele in den Bereichen Energie, Verkehr und Klima. Für den Bereich Transport unterscheiden sich die Szenarien insbesondere in der Verkehrsleistung.

Beschreibung der Annahmen und Quantifizierungen der drei nationalen sozioökonomischen Szenarien auf Basis der SSP

Als Ausgangspunkt für die nationalen Szenarien dienten die Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), die globale Narrative für alternative sozioökonomische Entwicklungen beschreiben. Für das Trendszenario diente SSP2 als Basis und für das Stabilitätsszenario, das eine nachhaltige Entwicklung beschreibt, diente SSP1. Das dynamische Szenario bildet das Gegenstück zum Stabilitätsszenario und kommt am ehesten SSP5 nahe, hat allerdings keinen vergleichbaren Schwerpunkt auf die Verwendung von fossilen Kraftstoffen.

Die drei sozioökonomischen Szenarien unterscheiden sich in den Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung, zur wirtschaftlichen Entwicklung, hinsichtlich der Erreichung der Ziele in den Bereichen Energie, Verkehr und Klima. Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum sind im Trend- und Stabilitätsszenario identisch, während das DynamikszENARIO eine schnellere sozioökonomische Entwicklung unterstellt. Im Stabilitätsszenario werden die Ziele im Bereich Energie- und Klima erreicht und im Verkehr zumindest überwiegend erreicht. Im Trendszenario ist die Zielerreichung verspätet bzw. liegt diese niedriger, während die Ziele im DynamikszENARIO deutlich verfehlt werden.

Beschreibung der Annahmen und Quantifizierungen der drei betrachteten Klimawirkungen

Zu den betrachteten Klimawirkungen gehört die Unterbrechung des Straßenverkehrs aufgrund von Starkniederschlägen/Überschwemmungen (Transport), die Verknappung des Kühlwassers für Wärmekraftwerke aufgrund von Hitze/Trockenheit (Energie) sowie die erhöhte Nachfrage nach Gesundheitsdiensten aufgrund von Hitze (Gesundheit). Die sektorspezifischen Wirkungsketten wurden zunächst qualitativ beschrieben und dann in ökonomische Wirkungen übersetzt, also quantifiziert. Diese direkten Schäden gehen dann als Input in die ökonomische Modellierung ein. Zur Quantifizierung der Klimawirkungen wurden im Rahmen einer desk research verschiedene Fallstudien, Berichte oder Forschungsarbeiten ausgewertet. Die jeweils verwendeten Quellen sind in dem zur Fallstudie gehörenden Artikel aufgeführt.

Makroökonomische Effekte der betrachteten Klimawirkungen für drei sozioökonomischen Szenarien

Durch die Verknüpfung der Impact-Chain-Methode mit der makroökonomischen Modellierung wurden quantitative Werte für die qualitativen Stränge der Wirkungsketten bereitgestellt. So wurden die gesamtwirtschaftlichen Effekte durch Unterbrechung des Straßenverkehrs, temperaturbedingten Rückgang der Stromerzeugung aus Steinkohle und wärmebedingte Gesundheitsausgaben sowie ausgewählte Anpassungsmaßnahmen im Rahmen von drei sozioökonomischen Szenarien ermittelt. Die Ergebnisse wurden als Veränderungen des Produktionswertes und des BIP für die Jahre 2030 und 2045 ausgewiesen. Die Berechnungen stellen keine Prognosen dar, sondern sollen einen Eindruck über die Dimensionen zwischen Klimawirkungen und dem Einfluss der sozioökonomischen Szenarien vermitteln. Die Modellrechnungen helfen, die Auswirkungen des Klimawandels im Kontext verschiedener sozioökonomischer Entwicklungen zu bewerten und unterstützen so die Risikobewertung hinsichtlich der Auswirkungen von Klimawandel und Anpassung auf kritische Infrastrukturen.

Forschungsinnovationen

Die in der Fallstudie 2 realisierten Forschungsinnovationen lassen sich zweien der fünf Innovationsbereiche des UNCHAIN-Projekts zuordnen.

Forschungsinnovation in Bezug auf die Impact Chain Methode und Unsicherheiten

Die Fallstudie hat makro-ökonomische Modellierung, ex-ante Simulationen und sozioökonomischen Szenarien mit der Impact-Chain Methode verknüpft. So wurde aufgezeigt, wie quantitative Ansätze in das Impact-Chain Framework integriert werden können, was eine Erweiterung der ursprünglichen Methode, wie sie im Vulnerability Sourcebook (Zebisch et al. 2022; Zebisch et al. 2017; Fritzsche et al. 2014) beschrieben ist, darstellt. Mit der Kombination der Status-quo-

Risikoanalysen mit ex-ante-Simulationsrechnungen und sozioökonomischen Szenarien werden zudem auch Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung adressiert.

Das verwendete makroökonomische Modell PANTA RHEI bietet den Vorteil, dass durch die detaillierte Modellierung der Wirtschaftsstruktur und der Sektoren, sektorspezifische Klimawirkungen zu erfassen und dadurch ausgelöste direkte, indirekte und induzierte Effekte abzubilden.

Forschungsinnovation in Bezug auf sozio-ökonomische Szenarien

Die Fallstudie hat dargestellt, wie sozioökonomische Szenarien in die Bewertung des künftigen Klimarisikos einbezogen werden können, wie ein besseres Verständnis der sozioökonomischen Folgen der Anpassung an den Klimawandel erreicht werden kann und wie Unsicherheiten in Bezug auf die zukünftige sozioökonomische Entwicklung adressiert werden können. Dazu wurden drei sozio-ökonomische Szenarien (Trend, Stabilität, Dynamik) für Deutschland für eine Simulationsperiode bis 2050 parametrisiert, die sich hinsichtlich der wirtschaftlichen Entwicklung, der Bevölkerungsstruktur und der Energie- und Klimaziele unterscheiden.

Die Resultate der Fallstudie zeigen einen möglichen und plausiblen Ergebniskorridor und verdeutlichen, dass sich die wirtschaftlichen von Klimafolgen und Klimaanpassung zwischen den verschiedenen sozioökonomischen Szenarien teils erheblich unterscheiden können. So führt die Beeinträchtigung des Straßenverkehrs durch Starkniederschläge im nachhaltigen Szenario zu geringeren Auswirkungen als im dynamischen Szenario, das einen höheren Güterverkehr und einen höheren Anteil des Straßenverkehrs beinhaltet. Der Ausbau der erneuerbaren Energien im nachhaltigen Szenario führt auch zu einem geringeren Risiko von Kühlwasserknappheit für thermische Kraftwerke aufgrund von Hitze und Trockenheit im Vergleich zum dynamischen Szenario, das weitgehend auf konventioneller Stromerzeugung basiert. Im Gegenzug unterscheiden sich die Auswirkungen von Hitze auf die Nachfrage nach Gesundheitsleistungen zwischen den verschiedenen Szenarien nur geringfügig, allerdings gibt es in der Zukunft bei allen drei Szenarien einen erheblichen demografischen Effekt. Die Ergebnisse unterstützen so die bisherige Risikobewertung und verdeutlichen den Bedarf für weitere dynamische integrierte Risikobewertungen.



Referenzen

- Flaute, M., Reuschel, S. & Stöver, B. (2022): Volkswirtschaftliche Folgekosten durch Klimawandel – Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland. GWS Research Report 2022/02, Osnabrück.
- Fritzsche, K., Schneiderbauer S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M. & Kahlenborn, W. (2014): The Vulnerability sourcebook – Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments. GIZ, Bonn and Eschborn.
- Kahlenborn, W., Porst, L., Voß, M., Frisch, U., Renner, K., Zebisch, M., Wolf, M., Schönthaler, K. & Schauser, I. (2021): Climate Impact and Risk Assessment 2021 for Germany – Summary. Climate Change 27/2021, Dessau-Roßlau.
- Steininger, K. W., Bednar-Friedl, B., Formayer, H. & König, M. (2016): Consistent economic cross-sectoral climate change impact scenario analysis: – Method and application to Austria. Climate Services 1, pp. 39–52. DOI: 10.1016/j.cliser.2016.02.003.
- Zebisch, M., Terzi, S., Pittore, M., Renner, K., Schneiderbauer, S. (2022). Climate Impact Chains— A Conceptual Modelling Approach for Climate Risk Assessment in the Context of Adaptation Planning. In: , et al. Climate Adaptation Modelling. Springer Climate. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-86211-4_25
- Zebisch M., Schneiderbauer S., Renner K., Below T., Brossmann M., Ederer W. & Schwan S. (2017): Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook’s approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ.