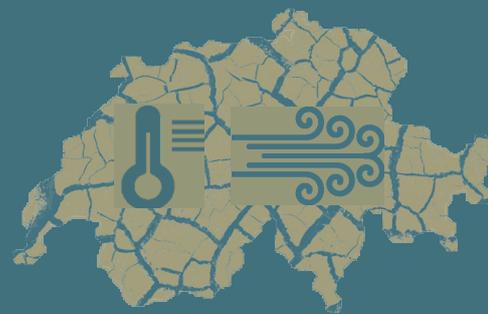
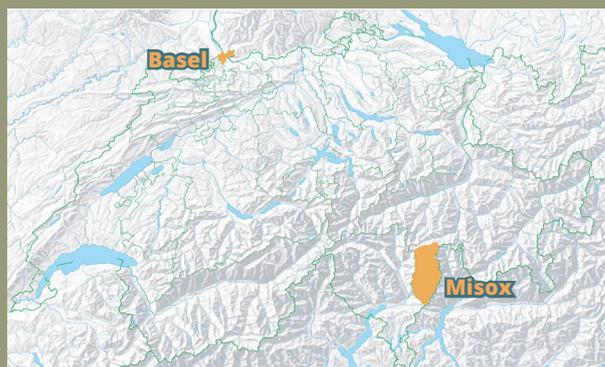


Methoden zur Analyse kombinierter Klimarisiken



FAST FACTS



37 ExpertInnen



18 Klimamodelle



11 Interviews



3 Klimaextreme



2 Umfragen



1 Projekt

UNI
FR

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG



Universität
Zürich^{UZH}



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Worum es geht

Mit welchen Methoden kann man die Einflüsse zukünftiger kombinierter Extremereignisse auf vernetzte Systeme am besten identifizieren und charakterisieren?

Extreme Wetterereignisse werden in Zukunft aufgrund des Klimawandels auch in der Schweiz häufiger auftreten. Gleichzeitig steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass zwei oder mehr solche Ereignisse kombiniert auftreten. Nie dagewesene Ereignisse können unerwartete Ereigniskaskaden auslösen, welche kaum vorauszusehen sind. Ein Beispiel für ein solches Ereignis ist die extreme Hitzewelle in Kanada im Sommer 2021. Waldbrände haben die Schäden der Hitzewelle massiv verstärkt und dazu geführt, dass sich die Wasseraufnahmefähigkeit der Böden reduziert hat. Dies hat bei den starken Niederschlägen im Herbst das Auftreten von Hochwassern und Murgängen begünstigt. Auch die Coronakrise hat gezeigt, dass sich die Planung und Vorsorge von sehr seltenen Extremereignissen als sehr schwierig erweist.

In einem Projekt des Bundesamts für Umwelt wurde nach methodischen Ansätzen gesucht, um die möglichen Auswirkungen und potenziellen Schwachstellen klimabedingter kombinierter Extremereignisse zu charakterisieren. In zwei Fallstudien, wurden solche Methoden spezifisch für die Problemstellung von konkreten klimatischen Extremereignissen ausgearbeitet und in verschiedenen Settings erprobt. Die Vorteile und Herausforderungen der angewendeten Methoden werden in diesem Kurzbericht vorgestellt.



Abbildung 1: Murgang nach den Waldbränden in British Columbia 2021 (Bild: BCtransportation).

Semiquantitative Ansätze

Das quantitative Modellieren nie dagewesener Extremereignisse ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Noch grösser sind diese Unsicherheiten für kombinierte Ereignisse und die Auswirkung auf menschliche und natürliche Systeme, welche sich gegenseitig beeinflussen. Deshalb sind semi-quantitative Analysen mit Hilfe von ExpertInneneinschätzungen ein gangbarer Weg, um solche komplexen und kombinierten Risiken einzuschätzen (vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz). Im vorliegenden Projekt wurden quantitative Projektionen der Schweizer Klimaszenarien CH2018 mit Umfragen und Interviews mit Fachpersonen kombiniert.



Fallstudie 1: Schutzwald im Misox

Hintergrund

Ist es möglich, dass ein meteorologisches Ereignis im Extremfall zum Verlust der Schutzfunktion eines Waldes führen kann? Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, haben Fachpersonen die möglichen Auswirkungen eines extremen Trockenheitsereignisses in der Region Misox GR analysiert. In einem ausführlichen Fragebogen mussten die Fachpersonen die Wahrscheinlichkeiten verschiedener Auswirkungen auf den Schutzwald quantitativ (in Prozent) abschätzen. Dieser "top-down" Ansatz wurde ergänzt mit weiteren Fragen nach dem "bottom-up" Konzept, bei welchem vom Schadenfall ausgegangen wurde, und von

den Fachpersonen die Schwellenwerte für das Eintreten dieses Schadens abgeschätzt wurden. Dieser zweiteilige Ansatz erhöhte zwar den Aufwand für die Fachpersonen, erlaubte jedoch eine robustere Analyse, da die Resultate beider Ansätze miteinander verglichen werden konnten (Abbildung 2).

Umfrage - Voraussetzungen für das Gelingen im Kontext zukünftiger Extremereignisse

Solche Umfragen ermöglichen, dass sich eine grosse Anzahl Fachpersonen in Ruhe mit dem komplexen Thema auseinandersetzen kann. So kann trotz anspruchsvoller Fragestellungen und beträchtlicher Unsicherheiten bei der Beantwortung eine

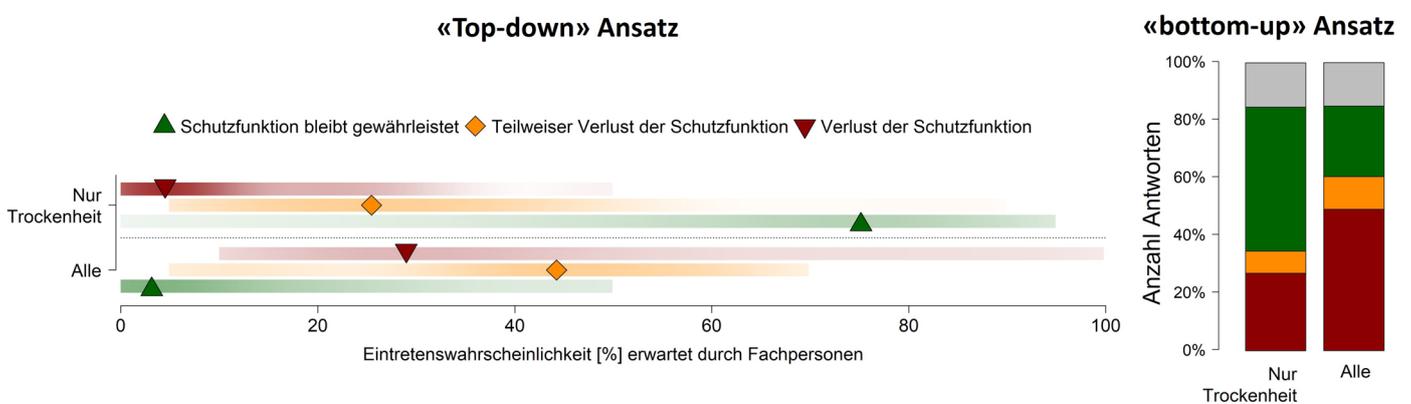


Abbildung 2: Vergleich der Umfrageresultate nach dem "top-down" (links) und "bottom-up" Konzept für die Frage, ob das untersuchte Extremereignis die Schutzwaldfunktion gefährden kann. Gezeigt werden zwei Szenarien: Nur Trockenheit tritt auf, oder alle Faktoren treten kombiniert auf (Trockenheit, Sturm, Borkenkäferbefall und Waldbrandgefahr). Die "top-down" Analyse zeigt die geschätzte Eintretenswahrscheinlichkeit der Fälle Schutzfunktion bleibt gewährleistet (grün), teilweiser Verlust der Schutzfunktion (orange) und vollständiger Verlust der Schutzfunktion (rot). Die "bottom-up" Analyse zeigt die Anzahl Antworten, die für diese drei Fälle in einer unterschiedlichen Fragebogenstruktur gegeben wurden. Grau bedeutet "keine Antwort". Aufgrund der unterschiedlichen Fragestellungen können die beiden Resultate nicht direkt quantitativ verglichen werden, sie lassen jedoch für den Vergleich der beiden Szenarien (Nur Trockenheit vs. alle) die gleichen Schlüsse zu, was für die Robustheit der Analyse spricht.

genügend grosse Stichprobe erhoben werden, um die Resultate quantitativ zu analysieren. Da die vorgegebenen Extremereignisse aber auch für Fachpersonen über ihre Erfahrungen hinausgehen und teilweise subjektive Antworten erfordern, sind die Hürden für eine vollständige Beantwortung solch aufwändiger Fragebögen recht hoch. Die Fallstudie zeigte, dass folgende Faktoren für das Gelingen einer fragebogen-basierten semi-quantitativen Analyse wichtig sind:

Eine vertiefte **Vor- und Nachbereitung** in direkter Zusammenarbeit mit einzelnen Fachpersonen ist bei solch einem Ansatz unerlässlich. Die Grenze zwischen "extrem unwahrscheinlichen aber plausiblen" und "absurden" Auswirkungen ist oft fließend. Wenn die zu analysierenden Szenarien mithilfe von Fachpersonen ausgearbeitet wurden, sind sie ausgewogener und es erhöht die Bereitschaft anderer Fachpersonen, sich auf schwierige Gedankenspiele fast undenklicher Ereignisse einzulassen. Persönliche Gespräche mit den TeilnehmerInnen sowie deren schriftliche Anmerkungen zur Umfrage zeigen ein verständliches "Unwohlsein" gegenüber der Aufgabe, nie dagewesene mögliche Auswirkungen mit einer exakten Wahrscheinlichkeit zu beziffern. Dies konnte durch Gespräche vor-, während und nach der Umfrage, sowie durch Nachbesprechung der Resultate

teilweise entschärft werden, wobei viele TeilnehmerInnen korrekterweise betonen, dass einige Resultate mit Vorsicht zu geniessen seien. Die Nachbesprechung mit verschiedenen UmfrageteilnehmerInnen erwies sich als enorm hilfreich für die Einordnung und Analyse der Resultate, beispielsweise in Bezug auf die Skalierbarkeit der Resultate auf andere Regionen.

Das **Vorgehen in drei Phasen** hat sich für die Analyse schwer einschätzbarer Risiken bewährt:

1. Gezielte Vorbereitung mit einzelnen ExpertInnen um mögliche Szenarien (Storylines) auszuarbeiten
2. Möglichst quantitative Bewertung der einzelnen Szenarien mit möglichst vielen Fachpersonen via Fragebogen zur Abschätzung von Plausibilitäten, Eintretenswahrscheinlichkeiten und/oder Auswirkungen.
3. Analyse der Resultate und Erarbeitung von Schlussfolgerungen mit Einbezug einzelner ExpertInnen.

Eine **aufwändige Begleitung der Umfrage** erscheint unerlässlich. Aufgrund des relativ grossen zeitlichen Aufwandes (ca. eine Stunde pro Umfrage/Person) und der hypothetischen und



komplexen Szenarien, ist die Hürde zur Teilnahme relativ hoch. Mit vielen TeilnehmerInnen wurden vor und während der Umfrage Telefongespräche geführt, um die Hintergründe und das skizzierte Extremereignis zu erläutern und die Schwierigkeiten und Schwachstellen des Fragebogens zu diskutieren. Nur dadurch konnte eine genügend grosse Teilnehmerzahl und die Akzeptanz des Fragebogens auch nach dem Ausfüllen gewährleistet werden.

Vorteile der Methode

Umfragen mit genügend Teilnehmenden erlauben, best- und worst-case Szenarien für die betrachteten Ereignisse aufzustellen. Zum Beispiel: Wenn alle Ereignisketten kombiniert auftreten, schätzen alle befragten Fachpersonen, dass die Chance für einen vollständigen Erhalt der Schutzfunktion kleiner als 50% ist. Dies kann als „bester Fall im worst-case Szenario“ interpretiert werden.

Der Ansatz erlaubt es, persönliche Einschätzungen bezüglich möglicher Auswirkungen und Szenarien zu bündeln und auf Papier zu bringen. Die meisten Fachleute waren über einen Grossteil der Umfrageresultate nicht überrascht, fanden es aber sehr interessant und hilfreich, zu sehen, wie sich ihre eigenen Erwartungen im Pool der ExpertInnenmeinungen einordnen lassen und damit als Grundlage für Handlungsentscheidungen dienen können.

Die Resultate der Umfrage sind trotz der sehr anspruchsvollen Fragen und vieler als sehr subjektiv wahrgenommenen Antworten robust: Sowohl die Expertise der TeilnehmerInnen als auch deren Arbeitsort zeigen nur einen geringen Einfluss auf die Resultate.

Herausforderungen der Methode

Eine grosse und unumgängliche Schwierigkeit enthält aber auch diese Methode: ExpertInnen müssen basierend auf den bislang gemachten Erfahrungen und dem aktuellen Wissensstand eine Situation beurteilen, die so noch nie dagewesen ist und für die es keine Wissensgrundlage gibt. Auch sie können möglicherweise nicht alle Kaskaden und Wechselwirkungen zukünftiger Ereignisse antizipieren.

Zu bedenken ist auch der verhältnismässig grosse Aufwand bei der Durchführung der Umfrage (s. oben).

Weitere Informationen zur Fallstudie

Ein Factsheet zur Fallstudie, anonymisierte Antworten und Grafiken zu allen Fragen finden sich auf <https://eclim-research.ch/schutzwald>

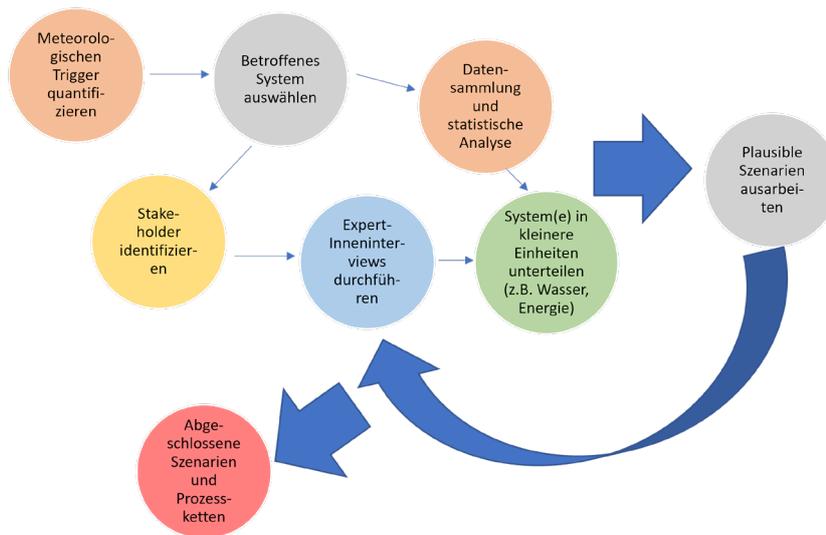


Abbildung 3: Schematisches Vorgehen der Fallstudie 2

Fallstudie 2: Hitze und Trockenheit in der Stadt Basel

Hintergrund

Ist es möglich, dass aufeinanderfolgende Jahre mit ausgedehnten Hitze- und Trockenperioden im Extremfall sowohl die menschliche Gesundheit als auch die Wasser-, oder Energieversorgung oder andere wichtige Teilsysteme einer Stadt an die Belastungsgrenze bringen? Mit dieser Leitfrage beschäftigte sich die zweite Fallstudie. Städtische Gebiete wie Basel Stadt sind hochkomplexe Systeme mit zahlreichen sektorübergreifenden Verknüpfungen. Um die wichtigsten Wechselwirkungen und blinden Flecken zu beleuchten, haben wir quantitative Informationen aus klima- und hydrologischen Modellen mit halbstrukturierten ExpertInneninterviews kombiniert. Die interviews

dienten dazu, die kritischen Systemschwachstellen und potenziellen Wirkungsketten zu identifizieren und deren Plausibilität zu bewerten. Neben den Interviews wurden auch Daten aus früheren Ereignissen berücksichtigt. Die Plausibilität der ausgewählten Daten wurde gemeinsam mit den Beteiligten bewertet.

Interviews - Vorgehen für die Analyse komplexer Ereignisse in verknüpften Systemen

Es gibt nicht genügend Fachpersonen, welche in allen untersuchten Systemen genügend Expertise haben, um in einer Umfrage Eintrittswahrscheinlichkeiten abzuschätzen. Deshalb wurde in dieser Fallstudie statt mit einer Umfrage mit Interviews gearbeitet. Als Grundlage für die Interviews wurde mithilfe der Klimaszenarien von CH2018 und HydroCH-2018 ein plausibles Trigger-Ereignis definiert, welches mögliche Trockenheitswerte



und Niedrigwasseranomalien des Rheins beinhaltet. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgte durch ein Schneeballverfahren, bei dem eine Reihe von Schlüsselnamen von der für den Klimawandel zuständigen Stelle vorgeschlagen wurden. Diese erste Auswahl an Fachpersonen haben wir dann genutzt, um mögliche neue ExpertInnen zu befragen.

Während einer ersten Reihe von Interviews mit Fachpersonen aus den Bereichen Wasser, Energie, Verkehr, Gewässerökologie und Gesundheit wurde das zukünftige Trigger-Ereignis mit vergangenen Extremen verglichen, wie z. B. den Ereignissen von 2018. Daraus wurden Szenarien für zukünftige Auswirkungen abgeleitet und Diagramme skizziert, die alle genannten Wirkungsketten zusammenfassen.

Anschliessend erstellten wir eine Reihe plausibler halbquantitativer Szenarien und bewerteten beispielsweise die Widerstandsfähigkeit der Wassersysteme in Bezug auf Wassermenge und -qualität gegenüber künftigen Veränderungen, indem wir das aktuelle System der Wasserverteilung einem Stresstest unterzogen. Gemeinsam mit den Fachpersonen untersuchten wir mögliche kaskadenartige Auswirkungen, die noch nie dagewesene, aber statistisch mögliche Extreme auf die Verfügbarkeit und Qualität von Wasser haben könnten. So konnte schlussendlich die Wahrscheinlichkeit, dass das Trigger-Ereignis die untersuchten Systeme an die Belastungsgrenzen bringt anhand der Wirkungsdiagramme qualitativ dargestellt werden. Ausserdem fügten wir weitere Komplexitätsebenen hinzu, indem wir zum Beispiel die Wechselwirkungen zwischen Niedrigwasser und externen Ereignissen wie Verschmutzung aus verschiedenen Quellen untersuchten. Dieses Vorgehen erlaubte es, plausible Worst-Case-Szenarien aufgrund der Verknüpfung verschiedener Systeme darzustellen.

Vorteile der Methode

Die Vorteile dieser Methode liegen darin, dass wir die Auswirkungen in einem solch komplexen System durch die Plausibilität von Szenarien und das Verständnis von Prozessen dennoch nachvollziehen konnten. Die Modellierung solch komplexer Wechselwirkungen hätte den Rahmen des Projekts bei weitem gesprengt. Durch die Aufteilung des Systems in kleine Unterelemente und die Durchführung spezifischer semiquantitativer Analysen in diesem Unterelement konnten wir die Ergebnisse auf das Gesamtsystem extrapolieren und gleichzeitig ein gutes Mass an Plausibilität beibehalten. Schliesslich konnten wir ein sehr umfassendes Bild der Wirkungskaskaden zeichnen, auch wenn eine Quantifizierung aller Aspekte nicht möglich war.

Herausforderungen der Methode

Eine grosse Schwierigkeit dieses Ansatzes bestand darin, den Rahmen abzustecken und somit zu entscheiden, auf welches System man sich konzentrieren will, und die wichtigsten Zusammenhänge innerhalb des Systems zu erfassen. Der Austausch mit den Exporteuren war sehr wertvoll, um diese Herausforderung zu meistern, da sie eine Orientierungshilfe boten und über ein sehr tiefes Wissen über das betreffende System verfügten. Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, das detaillierte Know-how der Fachpersonen zu erfassen und gleichzeitig das Gesamtbild im Hinblick auf das Systemverständnis im Auge zu behalten. Es ist ausserdem sehr herausfordernd für solch breite Analysen genügend Grundlagendaten zu bekommen und analysieren. So war es beispielsweise nicht möglich, hinreichende Daten über das Grundwasser zu bekommen, so dass die Analyse des Grundwassers eher qualitativ war. Um solche Herausforderungen zu bewältigen, ist deshalb eine gute Strategie für die Datenbeschaffung wichtig. Ausserdem lohnt es sich, eine systematische Bestandsaufnahme der wichtigsten Interessensgruppen vorzunehmen, um die Breite und den Umfang der Analyse zu definieren und Redundanzen zu vermeiden.

Ein factsheet mit den Resultaten der Fallstudie ist hier verfügbar: <https://eclim-research.ch/wp-content/uploads/2022/10/BaselFactsheet.pdf>

Weitere Informationen zur Fallstudie

Synthese

Die angewendeten semiquantitativen Methoden erlauben es, das Fachwissen über mögliche Auswirkungen unerwarteter Ereignisse auf effiziente Art zu bündeln und mögliche "blind spots" und Anpassungsmassnahmen aufzuzeigen. Sie erlauben, die Lücke zwischen den Projektionen von Klimamodellen und den möglichen Auswirkungen kombinierter Extremereignisse auf Mensch und Umwelt zumindest teilweise zu schliessen.

Im Idealfall sollten solche Ansätze kombiniert oder mit klassischen Modellierungsansätzen, welche die Klimaszenarien direkt in Impact-Modelle einspeisen, verglichen werden. Da solche Modelle vor allem für komplexe in gegenseitiger Wechselwirkung stehende Systeme noch kaum verfügbar sind, lohnt es sich, zumindest einzelne Teilaspekte mit den hier vorgestellten Methoden zu analysieren.

Informationen zum Projekt

Im Rahmen des BAFU Projekts „Wenn Risiken kumulieren - Analyse im Umgang mit Wildcard-Risiken“ werden mögliche Auswirkungen von extremen Wettersituationen auf sozio-ökonomische Systeme untersucht. Das BAFU Projekt dauert von 2019-2021 und wird von den Universitäten Fribourg und Zürich durchgeführt. Ziel ist, für die Strategie zur Anpassung an den Klimawandel erste Resultate und methodische Erkenntnisse zum Umgang mit nie dagewesenen, unerwarteten, aber mit dem Klimawandel wahrscheinlicher werdenden Extremereignissen zu gewinnen.

Zu den AutorInnen/Kontaktdaten:



Raphael Neukom
Leiter der Fallstudie Schutzwald
Departement Geowissenschaften, Universität Fribourg und Geografisches Institut Universität Zürich (raphael.neukom@unifr.ch)



Nadine Salzmann
Leitung des BAFU-Projekts
Universität Fribourg und WSL - SLF / Forschungszentrum CERC, Davos



Sabine Kleppek
Leiterin Klima und Umwelt,
Stadt Baden



Veruska Muccione
Leiterin der Fallstudie
Basel
Geografisches Institut Universität Zürich



Christian Huggel
Leitung des BAFU-Projekts
Geografisches Institut Universität Zürich



Vincent Roth
Abteilung Klima, BAFU
vincent.roth@bafu.admin.ch