



Brücke ohne Fluss: Während der Trockenheit im Jahr 2018 sank der Wasserstand vieler Gewässer wie etwa des Rheins drastisch. Wie hier bei Düsseldorf beeinträchtigte das auch die Binnenschifffahrt stark.

VORHERSEHBARER KLIMASTRESS

TEXT: ANDREAS KNEBL

FOTO: PICTURE ALLIANCE/DPA | CHRISTOPHE GATEAU

35

Dürren, Hitzewellen und Überschwemmungen – solche extremen Wetter- und Klimaereignisse dürften mit dem Klimawandel zunehmen und heftiger werden. Markus Reichstein, Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, arbeitet mit seinem Team daran, ihre Folgen vorherzusagen. Er setzt dabei auf große Datenmengen und künstliche Intelligenz. Auf diese Weise möchte er Gesellschaften gegenüber Klimaextremen robuster machen.

Markus Reichstein mag Rosmarin. Am liebsten hätte der Wissenschaftler einen buschigen Strauch des mediterranen Gewächses in seinem Garten in Jena. Doch die Pflanze würde das wahrscheinlich nicht lange überstehen. Denn alle paar Jahre gibt es einen sehr strengen Kälteeinbruch – wie zum Beispiel im Winter 2020/21 –, der verhindert, dass ein großer Rosmarinbusch gedeihen kann. Zur Veranschaulichung seiner Forschung zu Klimaextremen kann Markus Reichstein, Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie, den Rosmarin trotzdem nutzen. Denn das sonnenreiche, warme und trockene Klima in Jena ist für die aus dem Mittelmeerraum stammende Pflanze eigentlich ideal

FOTO: DAVID AUSSERHOFER



36

Durch Extremereignisse alarmiert: Markus Reichstein und sein Team kombinieren meteorologische Messungen – zum Beispiel von einer Wetterstation bei Jena – mit Ökosystemdaten. Künstliche Intelligenz hilft ihnen dabei, Klimaextreme und deren Folgen etwa für die Land- und Forstwirtschaft vorherzusagen.

geeignet, und auch die mittleren Temperaturen im Winter stellen kein Problem dar. Aber schon wenige Tage bei Temperaturen unter minus zehn Grad Celsius können dem Strauch den Garaus machen. An dieser Tatsache kann Markus Reichstein die verschiedenen Dimensionen von Klima- und Wetterextremen erklären.

Als Klimaextrem werden länger andauernde außergewöhnliche Ereignisse wie Dürren oder Hitzewellen bezeichnet. Extremwetter beschreibt kurze und ungewöhnlich heftige Ereignisse wie Stürme oder starken Hagel. Eine einheitliche Definition, was nun als Extrem klassifiziert wird, gibt es jedoch nicht: „Zunächst kann man auf die meteorologischen Daten schauen und feststellen, wie häufig oder eben selten ein bestimmtes Ereignis an einem Standort ist – zum Beispiel Temperaturen unter minus zehn Grad Celsius“, erklärt Reichstein. „Man kann aber auch anders auf ein solches Ereignis blicken und analysieren, wie weit dieser Wert vom Mittelwert abweicht. Noch spannender ist allerdings die Frage, welche Auswirkungen das Ereignis hat und ob diese ebenso extrem sind, das heißt ungewöhnlich stark.“ Denn während heimische

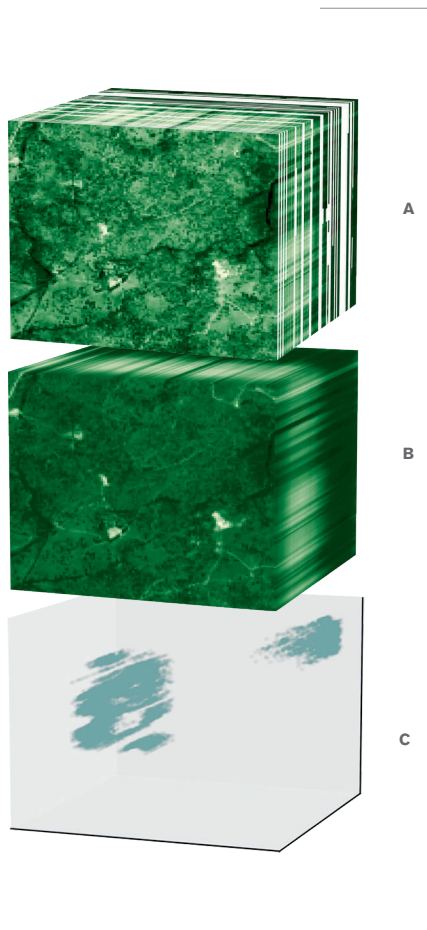
Pflanzen einige sehr kalte Wintertage ohne Probleme wegstecken und die Auswirkungen für sie nicht extrem sind, sind sie das für den Rosmarin sehr wohl.

Die weitreichenden Folgen von Klimaextremen waren in Deutschland in den vergangenen Jahren kaum zu übersehen, und manche kamen ziemlich unerwartet. Der heiße und sehr trockene Sommer 2018 stellte Forst- und Landwirte vor große Probleme und hat in deutschen Wäldern Schäden hinterlassen, die immer deutlicher sichtbar werden. Die außergewöhnliche Trockenheit führte in einigen Teilen Deutschlands auch zu großflächigen Waldbränden. Mit diesen direkten Folgen war durchaus zu rechnen. Überraschender war beispielsweise, dass der niedrige Wasserstand im Rhein zu Lieferengpässen führte und dass Kraftwerken das Kühlwasser ausging. Die extremen klimatischen Bedingungen hatten also sowohl auf die Menschen als auch auf die Natur gravierende Auswirkungen – und waren auch in der Öffentlichkeit ein wichtiges Thema.

Für viele Ökosystemforscherinnen und -forscher, darunter auch Markus Reichstein, war jedoch bereits ein anderes Extremereignis ein Weckruf: die Hitzewelle in Europa im Sommer 2003. Die hohen Temperaturen und die durch verschiedene klimatische Effekte erhöhte Verschmutzung der Luft kosteten mehrere Zehntausend Menschen das Leben. Neben Menschen und Wirtschaft litt damals auch die Natur arg unter der Hitze. Anhand umfangreicher Daten von Messstationen und Fernerkundungssatelliten konnten Forschende die Folgen der Hitzewelle für die Ökosysteme im Detail analysieren. Markus Reichsteins Forschung konzentrierte sich damals auf den Kohlenstoffkreislauf und insbesondere auf die Kohlenstoffbilanz zwischen Biogeosphäre und Atmosphäre. Der Wissenschaftler ging also der Frage nach, wie viel Kohlendioxid etwa Pflanzen und Boden aus der Luft aufnehmen und an sie abgeben. Welchen starken Einfluss Klimaextreme auf den globalen Kohlenstoffkreislauf haben, zeigte sich deutlich in den Daten der damaligen Hitzewelle: Normalerweise binden die Pflanzen auf der europäischen Landmasse während ihrer Wachstumsperiode im Sommerhalbjahr große Mengen CO₂. Dies wird, im Gegensatz zu einer Kohlenstoffquelle,

„Das Ziel muss eine gegenüber Klimaextremen widerstandsfähige Gesellschaft sein.“

MARKUS REICHSTEIN



A
Datenwürfel
zur vergangenen
Entwicklung

B
Vorhersage
durch
maschinelles
Lernen

C
Extrahierte
Extrem-
ereignisse

Ortsgenaue Warnung: Das Jenaer Team analysiert für verschiedene Flecken Europas (grüne Quadrate), wie sich Ökosysteme abhängig vom Klima in der Vergangenheit entwickelt haben, und erstellt entsprechende Datenwürfel (A). Anhand von Klimaprognosen sagen die Forschenden dann künftige Veränderungen in dem Ökosystem voraus (B) und ermitteln darin Extremereignisse (C).

37

als Kohlenstoffsénke bezeichnet. Doch durch die Auswirkungen von Hitze und insbesondere von Wassermangel wuchsen die Pflanzen im Jahr 2003 deutlich weniger. Die Senke über Europa war in der Folge nicht nur wesentlich schwächer ausgeprägt, die europäischen Ökosysteme wurden sogar zu Kohlendioxidquellen.

Diese Erkenntnis schreckte die Forschungsgemeinschaft auf. Bis dato waren die Forschenden davon ausgegangen, dass der menschengemachte Klimawandel dazu führen werde, dass Pflanzen in mittleren und höheren Breiten in Zukunft mehr CO₂ binden. Denn die Erderwärmung und der erhöhte Kohlendioxidanteil in der Atmosphäre würden, so glaubte man, dazu führen, dass die Pflanzen früher im Jahr und stärker wachsen.

Dadurch sollten der Anstieg des Kohlendioxidgehalts durch vom Menschen verursachte Emissionen und damit der Klimawandel verlangsamt werden. „Aber die Hitzewelle von 2003 war ein augenöffnendes Ereignis“, sagt Markus Reichstein. Denn bereits damals deutete alles darauf hin, dass der Klimawandel künftig mehr Extreme wie Dürren und Hitze mit sich bringen werde. Und es zeigte sich, dass ein solches Ereignis in der Lage ist, eine Kohlenstoffsénke zeitweise in eine Kohlenstoffquelle zu verwandeln. Nimmt die Vegetation dauerhaft Schaden oder stirbt ab, kann sich der Effekt über die Jahre noch verstärken. Reichsteins Team fand heraus, dass der Einfluss von Klimaextremen auf den globalen Kohlenstoffkreislauf in etwa so groß ist wie die gesamte Kohlenstoffsénke auf den Landmassen der Erde. Und wenn Klimaextreme zunehmen, könnte der





FOTO: SHUTTERSTOCK/HIKRCN

Dem Klimawandel ausgeliefert: Eine Dürre zwang 2011 eine Million Menschen in Ostafrika, aus ihrer Heimat zu fliehen. Vorhersagen derartiger Ereignisse könnten helfen, Vorkehrungen gegen solche Katastrophen zu treffen.

der CO₂-Gehalt der Atmosphäre weiter steigen – eine Rückkopplung zwischen Atmosphäre und Biosphäre, die den Klimawandel noch beschleunigt.

Wie gravierend sich Extremereignisse auf Mensch und Natur auswirken, hängt natürlich auch von ihrer Häufigkeit und Heftigkeit ab. Vorhersagen, ob der Klimawandel zu mehr Extremen führt, helfen also bei der Abschätzung dessen, was auf uns zukommt. Lange beruhten derlei Prognosen auf abstrakten Überlegungen. Detaillierte Vorhersagen waren nicht möglich, weil die Datenlage zu den seltenen Extremereignissen im komplexen Klima- und Wettersystem nicht ausreichte. Doch aus grundlegenden thermodynamischen Überlegungen schlossen Forschende, dass der Klimawandel Extreme wahrscheinlicher und somit häufiger machen werde. Denn der weltweite Anstieg der Temperaturen bedeutet, dass mehr Energie im Erdsystem steckt, dass mehr Wasser verdunstet und die Atmosphäre auch mehr Wasser aufnehmen kann. Das Wetter nimmt also Fahrt auf – es kommt zu mehr Extremen wie Hitzewellen, Starkregen oder Stürmen.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Meteorologische Extremereignisse wie Hitzewellen, Dürren, Stürme und Starkregen dürften mit dem Klimawandel zunehmen; in manchen Fällen ist der Zusammenhang bereits erwiesen.

Forscherinnen und Forscher des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie nutzen meteorologische und ökologische Daten sowie künstliche Intelligenz, um Klimaextreme und ihre Folgen besser zu verstehen und vorherzusagen.

Mit ihrem Ansatz haben sie nachgewiesen, dass die Hitze- und Dürreperiode, die 2010 in Russland herrschte, in landwirtschaftlich geprägten Regionen wie erwartet zu einem Einbruch des pflanzlichen Wachstums führte, in von Wäldern geprägten Breiten jedoch mit einer Zunahme der Biomasseproduktion verbunden war.

Prognosen von Klimaextremen und deren Folgen können dazu beitragen, dass sich Gesellschaften darauf vorbereiten können.

Wie sich in den vergangenen Jahren zeigte, lag die Klimawissenschaft mit dieser Argumentation richtig. Denn es gelang Forscherinnen und Forschern tatsächlich, die Zunahme von Extremen auf den Klimawandel zurückzuführen. Ihre Analyse stützt sich dabei auf verbesserte globale und regionale Klimamodelle, die auf leistungsfähigen Computern berechnet werden. Am besten gelingt die Zuschreibung momentan für Hitzewellen, für andere Extremereignisse wie Dürren, Starkregen oder Überschwemmungen sind die Aussagen weniger belastbar. Die Forschenden stellen dabei keinen kausalen Zusammenhang zwischen einem spezifischen Ereignis und dem Klimawandel her, sondern berechnen, wie viel wahrscheinlicher ein solches Extrem durch den Klimawandel geworden ist. Dazu vergleichen sie die Wahrscheinlichkeit eines Extremereignisses in einer Welt *ohne* den menschengemachten Klimawandel mit der Wahrscheinlichkeit in einer Welt *mit* Klimawandel. Das ist in etwa so, als würde man zwei Würfel viele Male werfen, um zu vergleichen, wie häufig eine bestimmte Zahl jeweils vorkommt. Einen der Würfel, nämlich jenen unserer realen Welt, hat der Klimawandel gezinkt. Für die verheerenden Buschfeuer in Australien in den Jahren 2019 und 2020 hat eine Analyse der Forschungsinitiative World Weather Attribution beispielsweise ergeben, dass das Risiko für ein derartiges Ereignis durch den Klimawandel um mindestens 30 Prozent gestiegen ist.

Markus Reichstein will noch einen Schritt weitergehen: Er will Klimaextreme nicht nur rückblickend dem Klimawandel zuschreiben, er möchte sie vielmehr möglichst genau für eine Region oder einen Ort vorhersagen. Seine Gruppe setzt dabei auf große Datenmengen und künstliche Intelligenz, um zunächst ein besseres Verständnis für Klimaextreme zu entwickeln. Dadurch will das Team eine räumlich hochaufgelöste Prognose von Klimaextremen und vor allem ihrer Auswirkungen ermöglichen und somit zu einem Frühwarnsystem beitragen. Zu diesem Zweck führen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Vielzahl von Daten zusammen und bringen dabei ganz unterschiedliche Informationen miteinander in Verbindung. So kombinieren sie etwa meteorologische Messdaten mit Daten, die Ökosysteme beschreiben. Methoden der künstlichen Intelligenz helfen ihnen, die Daten zu verarbeiten und zusammenzuführen. So können sie zum Beispiel Temperatur- und Niederschlagswerte mit der aus Satellitenbildern ermittelten pflanzlichen Aktivität vergleichen und zusätzlich die oberflächennah gemessene Kohlenstoffdioxidkonzentration analysieren. Für alle Größen, die den Zustand eines Ökosystems charakterisieren, erzeugen die Forschenden eine Weltkarte. So entsteht beispielsweise eine Trockenstress-Karte, die dann für viele zurückliegende Zeitpunkte, das heißt mit hoher zeitlicher Auflösung, vorliegt. Die Zeit-Scheibchen bilden neben Längen- und Breitengraden die dritte Dimension dieses sogenannten Datenwürfels. Letztlich können die Forschenden so zum Beispiel beurteilen, wie stark Trockenheit die Vegetation im Laufe der Zeit geschädigt hat und schädigen wird. Die besondere Stärke des Ansatzes liegt darin, dass sich räumliche Zusammenhänge erschließen und die zeitliche Entwicklung deutlich wird. Auf diese Weise spüren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Anomalien auf. Für diese Abweichungen von der Norm, die ein Extrem kennzeichnen, analysieren sie dann die verschiedenen Zustandsgrößen und erhalten so ein mehrdimensionales Bild des komplexen Zusammenspiels.

Klimaextrem mit ambivalenten Folgen

Wie verschiedene Faktoren zur Entstehung eines Klimaextrems beitragen und dessen Auswirkungen beeinflussen, untersuchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einem vergangenen Extremereignis: einer Hitzewelle, die 2010 in Russland herrschte. Damals stiegen die Temperaturen dort auf über 38 Grad Celsius und lagen einige Wochen lang mehr als zehn Grad Celsius über dem Durchschnitt. Gleichzeitig herrschte eine massive Dürre – eine verheerende Kombination: Es gab Ernteausfälle, Waldbrände und Torffeuere. Auch hier starben Zehntausende Menschen, nicht nur aufgrund der hohen Temperaturen, sondern auch wegen der durch Trockenheit, Hitze und Brände

verursachten Luftverschmutzung. Reichsteins Team fand in der Datenwürfel-Analyse allerdings heraus, dass die Folgen für die Natur nicht so eindeutig negativ waren. Denn das meteorologische Extremereignis passte räumlich und zeitlich nicht ganz mit der Entwicklung der pflanzlichen Produktivität zusammen. Zwar zeigte sich in den von Landwirtschaft geprägten mittleren Breiten der erwartete Effekt: Der heiße und trockene Sommer führte dazu, dass die Pflanzen nicht mehr weiterwuchsen und verdorrten, die pflanzliche Produktivität brach ein. Doch in den höheren Breiten mit ausgedehnten Wäldern lösten das milde Frühjahr und der ungewöhnlich heiße Sommer frühes und starkes Pflanzenwachstum aus. Das meteorologische Extremereignis hatte also in verschiedenen Regionen ganz unterschiedliche Auswirkungen auf die Ökosysteme.

Vorhersage auf 20 Meter genau

Für eine belastbare Vorhersage von Klimaextremen ist es entscheidend, aus möglichst vielen verschiedenen solcher Ereignisse zu lernen. Denn erst aus der eingehenden Analyse vieler Daten ergibt sich ein klares und allgemeineres Bild der komplexen Zusammenhänge. Genau das ist die Stärke von künstlicher Intelligenz, genauer gesagt: der Methoden des maschinellen Lernens, das Muster in unbekannten Daten erkennen kann. Markus Reichsteins Forschungsgruppe arbeitet daher mit Bernhard Schölkopf, Direktor am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, und weiteren Forschern des Europäischen Labors für Lernende und Intelligente Systeme (ELLIS) daran, Algorithmen des maschinellen Lernens weiterzuentwickeln und für die Erdsystemforschung zu nutzen. Mithilfe der künstlichen Intelligenz untersuchen die Jenaer Forschenden nicht nur, wie sich Extremereignisse auswirken. Die Analysen sollen auch das Verständnis der kausalen Zusammenhänge verbessern, wie sich Ökosysteme und Klima gegenseitig beeinflussen. In den Datenwürfeln häufen sich inzwischen die Klimaextreme, die sich weltweit in den vergangenen Jahrzehnten ereigneten. Und so hoffen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, dass die künstliche Intelligenz in den Daten aufschlussreiche Muster erkennt. Dadurch könnten auch Risikofaktoren oder indirekte Folgen mit einem Klimaextrem in Verbindung gebracht werden, die sonst kaum damit assoziiert werden würden. „Wenn wir die Ergebnisse dieser Analysen mit etabliertem Klimawissen und mit Modellen zusammenführen, wäre es in Zukunft möglich, das Risiko eines Klimaextrems und vor allem dessen Auswirkungen auf 20 Meter genau vorherzusagen“, erklärt Markus Reichstein.

Mit den Erkenntnissen, die der Geowissenschaftler und seine Kolleginnen und Kollegen in aller Welt inzwischen zu Klimaextremen gewonnen haben, möchte er auch in Gesellschaft und Politik Gehör finden. Unter-

stützt wird er dabei am Max-Planck-Institut für Biogeochemie von Dorothea Frank: „Wir wollen ein Bewusstsein für die Gefahr schaffen, die dadurch entsteht, dass der Klimawandel extreme Wetter- und Klimaereignisse immer wahrscheinlicher macht“, sagt die Forscherin, die für viele Projekte und Initiativen in diesem Kontext mitverantwortlich ist. Denn klar ist: Selbst wenn die Anstrengungen, den Klimawandel zu verlangsamen und zu stoppen, erfolgreich sind, werden Klimaextreme zunächst weltweit verstärkt auftreten. Die Naturgewalten treffen dabei auf sich ständig ändernde gesellschaftliche Bedingungen. Die Jenaer Forschenden wollen daher Erkenntnisse aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen nutzen, um die Gesellschaft besser auf die Herausforderungen vorzubereiten, die der Klimawandel mit sich bringt. „Gerade bei systemischen Risiken, welche durch Wechselwirkung natürlicher Systeme mit Wirtschaft, Politik und Individuen entstehen, ist es für das Verständnis entscheidend, aus naturwissenschaftlicher, ökonomischer, psychologischer, soziologischer und historischer Perspektive auf die Entwicklung zu blicken“, sagt Reichstein.

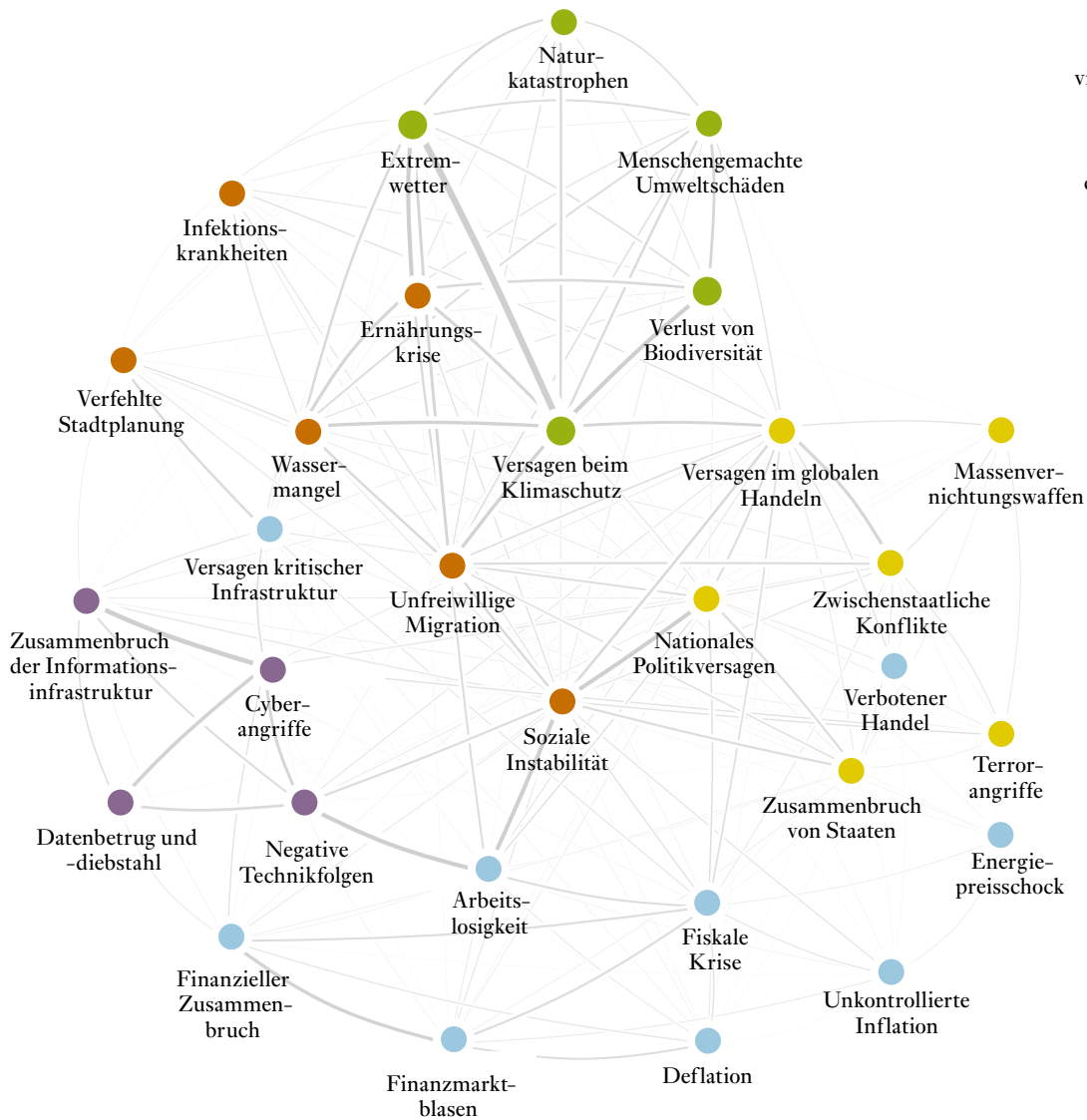
Aktuell versuchen Dorothea Frank und Markus Reichstein mit der Risk-KAN-Initiative, die zahlreiche internationale Kolleginnen und Kollegen zusammenbringt, den wissenschaftlichen Austausch zu Extremereignissen, Katastrophenvorsorge und Governance zu stärken. Gemeinsam wollen sie Handlungsempfehlungen für den Umgang mit systemischen Risiken erarbeiten. Denn extreme Klima- und Wetterereignisse stellen Staaten und Gesellschaften zunehmend auf die Probe. Während reiche und hoch entwickelte Länder die schlimmsten Folgen von Extremereignissen oftmals noch abwenden können, bedrohen daraus entstehende Katastrophen in Entwicklungsländern viele Menschenleben und machen humanitäre Hilfseinsätze notwendig. Ein Beispiel sind die Dürre in Ostafrika 2011 und die daraus folgende Hungersnot in Ländern wie Äthiopien und Somalia. Diese Katastrophe gefährdete mehr als zehn Millionen Menschen, kostete mehrere Hunderttausend Menschen das Leben und führte dazu, dass fast eine Million Menschen aus ihrer Heimat fliehen mussten. Die Weltbank schätzt, dass bis 2050 bis zu 143 Millionen Menschen zu Klimaflüchtlingen werden könnten, viele davon durch die Auswirkungen von Klimaextremen. Deshalb ist es jetzt nötig, aktiv zu werden, präventiv Maßnahmen zu ergreifen und Investitionen zu tätigen. „Das Ziel muss eine nachhaltige und dabei gegenüber Klimaextremen möglichst widerstandsfähige Gesellschaft sein“, sagt Markus Reichstein. Die möglichen Maßnahmen sind vielfältig und hängen stark vom jeweiligen Ort ab: In

GLOSSAR

KLIMAEXTREM
heißt ein länger andauerndes außergewöhnliches Ereignis wie eine Dürre oder eine Hitzewelle. Im Unterschied dazu wird als Extremwetter ein kurzes, ungewöhnlich heftiges Ereignis wie ein Sturm oder Starkregen bezeichnet.

KOHLSTOFFSENKE
heißt ein Teil des Erdsystems, der mehr Kohlenstoff vor allem in Form von Kohlendioxid aufnimmt, als er abgibt. Die wichtigsten Kohlenstoffsenken sind die Ozeane, sie nehmen etwa 30 Prozent des menschengemachten Kohlendioxids auf.

MASCHINELLES LERNEN
ist ein Ansatz der künstlichen Intelligenz, bei dem Algorithmen in großen Datenmengen Muster erkennen, etwa den Zusammenhang zwischen meteorologischen Daten wie Niederschlagsmengen und vermindertem Pflanzenwachstum. Forschende können solche Folgen dann vorhersagen.



Vernetzte Risiken:
Klimaextreme können viele direkte und indirekte Folgen nach sich ziehen, nicht nur für die Natur (grün), sondern auch für die menschliche Existenz und Gesundheit (braun), für die nationale und globale Politik (gelb), die Wirtschaft (blau) und die technische Sicherheit (violett).

Küsten- oder Flussnähe mögen höhere Dämme und Flutmauern nötig sein, während andernorts neue Nutzpflanzen eingeführt werden müssen, die dürreresistenter sind.

Dabei tragen belastbare Vorhersagen der Auswirkungen von Klimaextremen, wie sie Reichsteins Team entwickelt, dazu bei, Gesellschaften widerstandsfähiger zu machen. Beispielsweise arbeitet das Team gerade an einem großen, EU-geförderten Forschungsprojekt mit, das diesen Ansatz in Afrika etablieren soll. Denn ein Frühwarnsystem verschafft den Menschen in einer betroffenen Region Zeit, sich auf ein Extrem vorzubereiten. Nötige Finanzmittel könnten schon vorab freigegeben werden, um den Menschen vor Ort zu helfen und eine Katastrophe zu verhindern. Vorhersagebasierte Katastrophenhilfe kommt heute bereits zum Einsatz, könnte aber in Zukunft stark ausgebaut werden und würde von zuverlässigen und genauen Prognosen profitieren. Markus Reichstein ist von der

Stärke seines datenbasierten Forschungsansatzes überzeugt und hält ihn sogar für erweiterungsfähig: Indem die Forschenden mithilfe künstlicher Intelligenz Klima- und Ökosystemdaten sowie sozioökonomische Daten analysieren, könnten sie auch die Verletzlichkeit von Gesellschaften gegenüber Klimaextremen überprüfen. Doch selbst wenn vulnerable Gesellschaften identifiziert werden oder ein auf Datenwürfeln basierendes Frühwarnsystem Alarm schlägt – entscheidend ist am Ende stets, wie die Menschen darauf reagieren. Ausgerechnet die Corona-Pandemie macht Dorothea Frank und Markus Reichstein in dieser Hinsicht etwas Mut. „Denn diese Krise hat gezeigt, dass unsere Gesellschaft – in Deutschland und weltweit – durchaus dazu in der Lage ist, schnell und entschlossen zu handeln“, sagt Dorothea Frank. „Diese Entschlossenheit ist auch notwendig, um jetzt der Klimakrise zu begegnen und die massiven Auswirkungen von Extremereignissen abzuwenden.“

🔊 www.mpg.de/podcasts/extreme