



GLETSCHERFORSCHUNG

Gletscher sind Kronzeugen der globalen Erwärmung

GLETSCHERSCHWUND UND NATURKATASTROPHEN SIND ZEUGEN DER GLOBALEN ERWÄRMUNG – AUCH DIE WIRTSCHAFT BLICKT MIT SORGE AUF SIE.

VON GERHARD BERZ

Die starke Zunahme des Gletscherschwundes in den meisten Hochgebirgen der Erde ebenso wie die des Ausmaßes großer Naturkatastrophen, die offenbar in beiden Fällen maßgeblich von der globalen Erwärmung beeinflusst, muss jeden, der sich Gedanken über die Nachhaltigkeit unseres Umganges mit der Umwelt macht, mit Sorge erfüllen. Nur langfristig angelegte, fundierte Untersuchungen der vom Menschen veränderten Umweltbedingungen können eine verlässliche Grundlage für geeignete politische und wirtschaftliche Vorsorgestrategien liefern.

Naturkatastrophen und Klimaänderung

Die Naturkatastrophen haben sich weltweit in den letzten Jahren und Jahrzehnten in der Zahl deutlich erhöht

und im Ausmaß drastisch verstärkt. Betrachtet man die Zeitabstände zwischen einzelnen „Jahrhundert-“ oder „Jahrtausend-Ereignissen“, so scheinen sie sich wie im Zeitraffer zu verkürzen: Es vergeht praktisch kein Jahr mehr, ohne

dass sich irgendwo – oft sogar in der gleichen Region – derartige Extremereignisse wiederholen. Das zeigen z. B. die Stürme, Überschwemmungen und Hitzewellen in Europa oder die tropischen Wirbelstürme im Nordatlantik und Pazifik.

Von Zufall vermag hier niemand mehr ernsthaft zu sprechen, und trotzdem melden sich fast jedes

schon in ähnlicher Weise vorgekommen sei und heute nur viel schlimmere Auswirkungen oder zumindest größere Medienresonanz auslöse. Die anderen machen bedrohliche Trends in Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft dafür verantwortlich und werden dann oft als „Weltuntergangsapostel“ oder „Kassandras“ apostrophiert. Weil die Naturereignisse eine sehr große Variationsbreite aufweisen und die

Der Vernagtferner Mitte August 2003: Nahezu die gesamte Gletscherfläche ist dunkles Eis. Nur an den Rändern sind noch wenige Firnflächen auszumachen, welche aber ebenfalls schmelzen, erkennbar an den eiförmigen Strukturen.



Mal die beiden gleichen Lager von Wissenschaftlern, Journalisten und Politikern lautstark zu Wort: Die einen warnen vor einer Dramatisierung und führen viele Gründe dafür ins Feld, vor allem dass alles auch in früheren Zeiten

historischen Beobachtungen und Ereigniskataloge bis in die jüngste Zeit hinein gravierende Lücken oder Schwachpunkte enthalten, fällt es in der Regel schwer, ein eindeutiges Urteil zu treffen – und beide Seiten fühlen sich wieder einmal bestätigt.



M. WEBER, KOMMISSION FÜR GLAZIOLOGIE

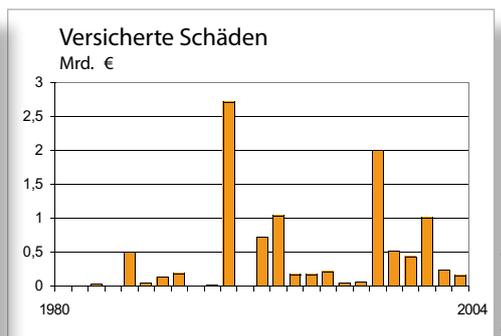
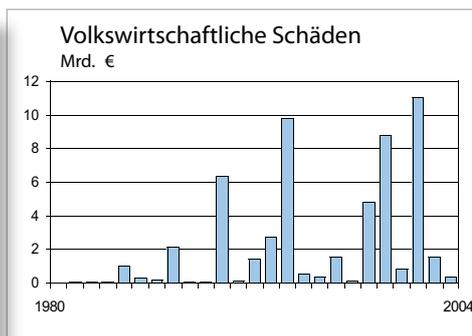
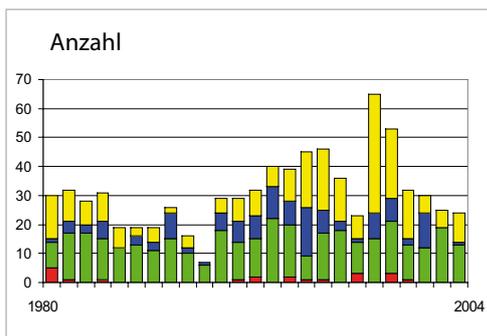
Gebäudeschäden nach dem Hochwasser vom 23.8.1987 im Ötztal bei Lengfeld.

Dabei ist die Frage, ob und wie die von der Menschheit ausgelöste globale Klimaänderung die Lebensbedingungen der nächsten Generationen auf dieser Erde beeinflussen wird, von existenzieller Bedeutung. Umso wichtiger ist es, so frühzeitig

ker, der auf unbekannte, gefährliche Gewässer zusteuert und dabei noch voll beschleunigt, drängt sich auf. Worauf sollen die verantwortlichen Steuerleute in Politik und Wirtschaft aber nun ihre Entscheidungen gründen, wenn sie umgeben

Notwendigkeit umgehender Gegenmaßnahmen angeht. Weniger sicher sind die Analysen und Prognosen der zu erwartenden Geschwindigkeit und Intensität der klimatischen Veränderungen und, noch weniger, die der davon ausgehenden Konsequenzen, zumal hier zahlreiche sozioökonomische Faktoren und Trends mit hereinspielen.

Trotz allem ist die Beurteilungsbasis weitaus besser, als sie oft, insbesondere in manchen Medien, kolportiert wird, und auch besser als bei vielen anderen Entscheidungsprozessen, z. B. an den Finanz- und Industriemärkten der Welt. Ohnehin müssen Entscheidungen von so großer Trag- und Reichweite wie die des globalen Klimaschutzes für die nächsten Generationen natürlich „auf der sicheren Seite“ liegen. Schwer wiegende Irrtümer oder leichtsinnigen Opportunismus kann sich die Menschheit hier nicht leisten, wenn sie nicht Verteilungskämpfe bzw. Völkerwanderungen ungekannten Ausmaßes oder die Verelendung großer Regionen riskieren will.



MÜNCHENER RÜCK

Naturkatastrophen in den Alpen 1980 bis 2004, Anzahl und Schäden.

wie möglich verlässliche Indizien – noch besser: Beweise – dafür zu finden, wohin „die Reise“ vermutlich gehen wird. Denn je später die Beweislage als ausreichend angesehen wird, desto schwieriger und kostspieliger kann das Um- bzw. Gegensteuern werden; in jedem Fall wird es erheblich länger dauern, bis etwaige Maßnahmen wirksam werden. Das Bild von einem Supertan-

sind von einem „Meer der Unsicherheit“ bzw. einem „Indizien-Dschungel“? Genau genommen ist die Frage des „Ob“ – zum großen Teil auch des „Wie“ – durch die drei bisherigen Statusberichte des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) und viele weitere wissenschaftlich anerkannte Studien längst hinreichend sicher beantwortet, zumindest was die

Gletscher als Kronzeugen

Wenn es ein Indiz für den globalen Klimawandel gibt, das gleichermaßen augenfällig, weit verbreitet und „nachhaltig“ ist, dann das Abschmelzen der Gletscher. Gerade, weil die Gletscher im Laufe der Zeit deutliche Spuren ihrer Veränderungen in der Landschaft und Vegetation, aber auch in

der Historie hinterlassen haben, wissen wir über den Zeitverlauf der Gletscherschwankungen in den letzten Jahrhunderten sehr gut Bescheid und verfügen dank neuer Analysen von Eisbohrkernen aus der Antarktis und Grönland sogar für einige Jahrhunderttausende bzw. Eiszeiten über plausible Vorstellungen von den globalen

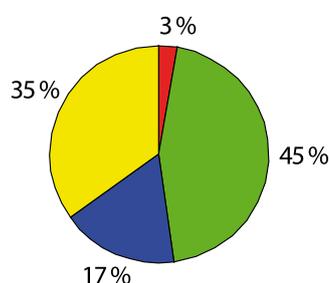
Erdoberfläche in nahezu ungebremstem Tempo, ohne schon die späteren Auswirkungen zu kennen. Das beschleunigte Abschmelzen der Gletscher fast überall auf der Erde ist dafür ein Alarmzeichen, das uns einerseits Aufschluss über die bereits in Gang gekommene Entwicklung gibt und andererseits die Chance eröffnet, die künftige

- Versicherbarkeit und Kreditvergabe auf Grundlage von prospektiven Gefährdungs- und Rentabilitätsabschätzungen, insbesondere für Bauwerke, Infrastruktureinrichtungen und auch landwirtschaftliche Erträge.

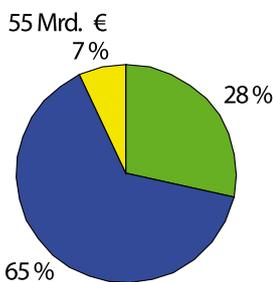
Im Alpenraum sind die Veränderungen besonders ausgeprägt: Der

Naturkatastrophen in den Alpen 1980 bis 2004, Schäden und Schadensarten.

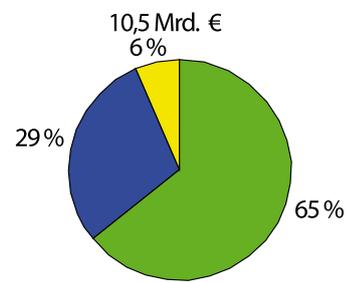
Schadenereignisse: 760



Volkswirtschaftliche Schäden:



Versicherte Schäden:



MÜNCHENER RÖCK

Veränderungen. Dabei ist es den Wissenschaftlern, allen voran dem Astronomen M. Milankovic, schon in der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts gelungen, gerade für die langperiodischen Zyklen eine schlüssige Erklärung mit Hilfe der Variationen von Erdbahn und Achsenneigung zu geben.

Durch das Eingreifen der Menschheit in die natürlichen Gleichgewichtsverhältnisse, das seit etwa 200 Jahren zu einem zunehmend signifikanten und allmählich sogar dominierenden Faktor des Klimageschehens wird, ist allerdings eine neue Situation entstanden: Nicht mehr die gut vorhersagbaren Erdbahnparameter bestimmen über unsere Klimazukunft, sondern wir selbst haben ein gigantisches Experiment mit dem Klima begonnen (siehe Begleitbuch zur Ausstellung *Klima. Das Experiment mit dem Planeten Erde*, Dt. Museum 2002), über das wir jedoch bis heute keinerlei Kontrolle haben. Vielmehr steigern wir weiterhin die Emissionen von klimawirksamen Gasen ebenso wie die Umgestaltung der

Entwicklung ebenso wie die Wirksamkeit von Klimaschutz-Maßnahmen mit Hilfe physikalischer oder semi-empirischer Modelle vorzuberechnen. Je besser die Kausalbeziehungen zwischen den Massenbilanzen der Gletscher und den meteorologisch-hydrologischen Bedingungen erforscht sind, desto sicherer können die Modellprognosen sein.

Und davon hängt viel ab, nicht zuletzt auch für diverse Bereiche der Wirtschaft, wie z. B.:

- Planung und Dimensionierung von wasserbaulichen Maßnahmen (Dämme, Wildbachverbauungen, Stauseen)
- Schutzmaßnahmen für Siedlungen und Infrastrukturen im Alpenraum (Schutzbauten gegen Lawinen, Muren, Felsstürze)
- Ausweisung von Schutzgebieten und Landnutzungsbeschränkungs-zonen
- Wirtschaftlichkeitsüberlegungen für touristische Planungen, insbesondere die (Weiter-)Entwicklung von Wintersport- und Gletscherskigebieten

mittlere Temperaturanstieg seit Beginn des 20. Jahrhunderts wird hier auf rund 2 °C beziffert; das ist doppelt so viel wie für Mitteleuropa und dreimal so viel wie für die ganze Erde. Das liegt vermutlich in erster Linie am starken Rückgang der Schnee- und Eisflächen und der deswegen erhöhten Strahlungsabsorption. Die Auswirkungen sind bereits deutlich am Anstieg der Permafrostgrenze um ca. 300 Höhenmeter und am Vordringen von Fauna und Flora in höhere Lagen bzw. an der Zuwanderung neuer, Wärme liebender Arten zu erkennen.

Gletscherschwund und Naturgefahren

Diese Veränderungen haben auch für das weitere Umfeld der Alpen erhebliche Bedeutung. Denn die Alpen mit ihren Gletschern, Schneeflächen und Seen gelten als das Wasserschloss Mitteleuropas, aus dem sich zahlreiche große Flüsse, aber auch großflächige Grundwasserströme speisen, die das hier stark erhöhte



M. WEBER, KOMMISSION FÜR GLAZIOLOGIE

Auswirkungen während des Hochwassers am 23. 8. 2005 im Öztal nahe Umhausen.

Niederschlags- und Schmelzwasseraufkommen bis in große Entfernungen rings um die Alpen transportieren.

Die äußerst wichtige Speicher- und Pufferfunktion des „Wasserschlosses“ Alpen wurde schlaglichtartig im (bisher) absolut außergewöhnlichen Hitzesommer 2003 beleuchtet: Ohne die gewaltigen Schmelzwassermassen wären die meisten in den Alpen entspringenden oder durch Zuflüsse von dort gespeisten Flüsse über viele Wochen weitgehend trocken gefallen, die Schifffahrt hätte völlig eingestellt und der Betrieb zahlreicher Kraftwerke (wegen Kühlwassermangel) heruntergefahren werden müssen. Außerdem hätte die Land- und Forstwirtschaft noch wesentlich höhere Schäden erlitten, wie dies in anderen Regionen

West- und Südeuropas zu beobachten war. Insgesamt haben uns die Schmelzwässer aus den Alpen im Sommer 2003 vor den schlimmsten Auswirkungen bewahrt – aber der Preis war hoch.

Denn das Abschmelzen der Alpengletscher erreichte in jenem Sommer Ausmaße, wie sie bisher noch nie beobachtet oder von früher berichtet wurden. Die schützende Altschneedecke war bis in höchste Gipfellagen weggeschmolzen. Ohne die weißen Schneefelder hatten die Berge auch viel von ihrer majestätischen Ausstrahlung verloren – sie wirkten mit ihren graublauen Steinflächen, als hätten sie ihren „Hermelinmantel“ abgelegt. Die aperen Gletscher verloren durch die hohen Temperaturen und die starke Strahlungsabsorption

innerhalb eines Sommers im Mittel rund 10 % ihrer Eismasse, die kleinen Gletscher vermutlich sogar noch viel höhere Anteile.

Am Öztaler Vernagtferner stellte die Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften einen Massenverlust fest, der in etwa doppelt so groß war wie im bisherigen Rekord-Abflussjahr 1990/91. Statistische Analysen deutscher und Schweizer Klimatologen ergaben für die extremen Temperaturwerte von Mai bis August 2003 eine Eintrittswahrscheinlichkeit von einmal in etwa 450 Jahren. Besorgnis erregend an deren Befunden ist vor allem, dass dieser Wahrscheinlichkeitswert in den letzten 20 Jahren infolge der beschleunigten Erwärmung auf das Zwanzigfache zugenommen hat. Anhand neuer Klimamodelle

kommt man schließlich zu dem Ergebnis, dass ein Hitzesommer wie 2003 im letzten Drittel dieses Jahrhunderts eine Eintrittswahrscheinlichkeit von über 50 % haben könnte, also durchschnittlich in jedem zweiten Jahr zu erwarten wäre, wenn sich die Erwärmung ungebremst fortsetzt. Bis dahin werden die meisten, vor allem die kleineren Alpengletscher, längst – im wahrsten Sinn des Wortes – „den Bach hinunter“, also verschwunden sein. Sie stehen dann nicht mehr als Wasserreserve zur Verfügung, so dass die im Sommer 2003 noch abgemilderten Auswirkungen voll zum Tragen kommen werden. Der Hitzesommer 2003 hat uns so gesehen einen Blick in die Zukunft gewährt, den wir intensiv nutzen sollten, um geeignete Vorsorge- und Schutzmaßnahmen zu entwickeln und einzuleiten.

Heiße Sommer bergen neben der Trockenheit auch die Gefahr vermehrter Starkregenereignisse und Sturzfluten in sich. Dieses scheinbare Paradoxon erklärt sich dadurch, dass die Atmosphäre bei hohen Temperaturen mehr Wasserdampf aufnehmen kann, also ein höheres Niederschlagspotenzial

aufweist, und es zudem zu mehr und heftigeren Unwettern kommt. Letzteres hängt damit zusammen, dass sich die Landflächen stärker erwärmen als die Ozeane und deswegen die Luftmassengegensätze zwischen Meer und Land größer werden. Wenn nun, wie üblich, eine sommerliche Hitzeperiode durch eine vom Nordatlantik anrückende Kaltfront beendet wird, dann prallen hier zunehmend gegensätzliche Luftmassen aufeinander und verstärken die Energie der Gewitterfronten. Intensivere Gewitter mit höheren Niederschlagsintensitäten verstärken in gebirgigem Gelände die Gefahr von Sturzfluten, Muren und Erdbeben, insbesondere wenn sie auf die infolge der vorangegangenen Hitzeperiode stark erhöhten Gletscherabflüsse treffen. Derartige Katastrophenkonstellationen haben sich in den Alpen in den letzten 20 Jahren in großer Zahl abgespielt (z. B. Ötztal 1987, Veltlin 1987, Brig 1993, Norditalien 1994 und 2000, Nordalpen 1999 und 2005) und werden sich bei zunehmenden Sommertemperaturen wahrscheinlich weiter häufen.

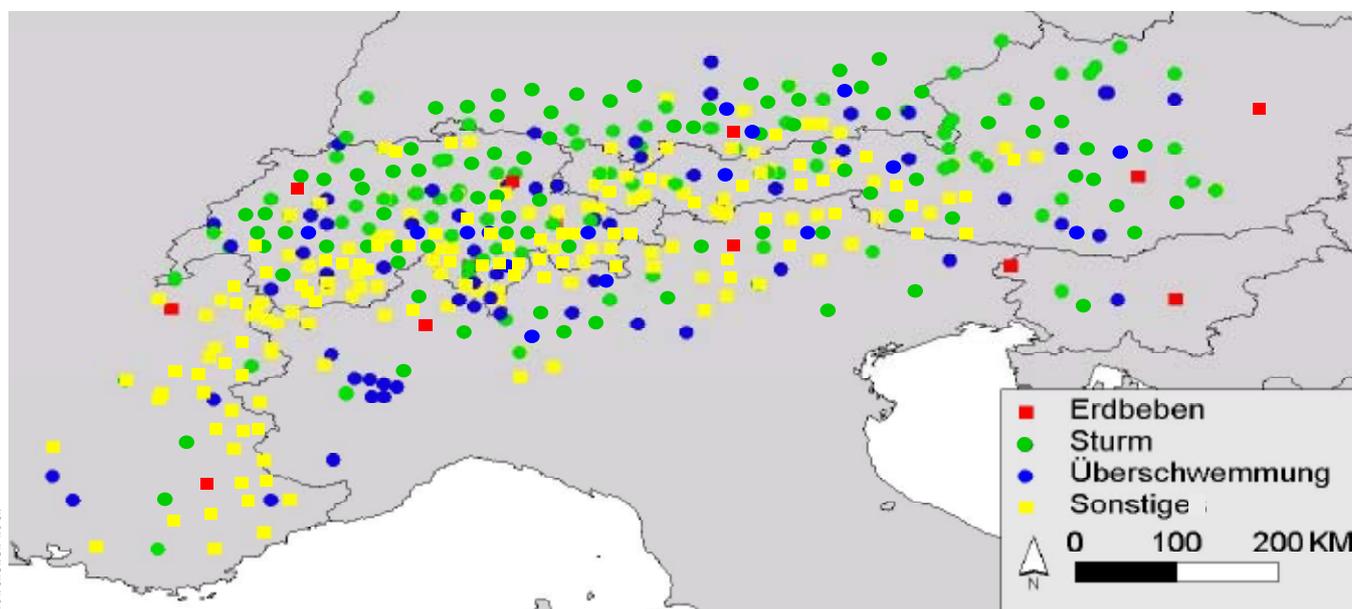
Im Winter ist mit einem noch deutlicheren Anstieg der Temperaturen

im Alpenraum zu rechnen. Damit steigt die Schneefallgrenze nach oben und die – voraussichtlich deutlich zunehmenden – Niederschläge fließen aus immer größeren Höhenbereichen unmittelbar in die Flüsse ab. Weil auch die Schneeschmelze früher einsetzt, verschieben sich die jährlichen Abflussspitzen der Alpenflüsse vom Frühsommer immer weiter in den Frühling. Im Sommer fehlt dann die Schneeschmelze, um die Niedrigwasserstände als Folge der verringerten Niederschläge und der erhöhten Verdunstung zu kompensieren. Zusammengefasst bedeutet dies, dass das Abflussverhalten der Alpenflüsse zu deutlich größeren Schwankungen, also zu mehr Extremsituationen, tendiert. Darauf müssen sich Land- und Forstwirtschaft, Energie- und Wasserwirtschaft und die Flussschifffahrt beizeiten einstellen.

Globaler Risikofaktor und Forschungsbedarf

Ähnliche Veränderungen wie in den Alpen sind in den meisten Hochgebirgsregionen der Erde zu beobachten. Die Gletscherschmelze ist also ein globaler Indikator der Klimaänderung. Sie wirkt sich in

Naturkatastrophen in den Alpen 1980 bis 2004, regionale Verteilung.



großen Regionen als wichtiger Risikofaktor aus. Ihre wissenschaftliche Dokumentation, Analyse und mit Hilfe prognostischer Modelle abgeschätzten Zukunftsperspektiven sind deshalb für viele Bereiche von Wirtschaft und Politik von erheblicher Relevanz. Im Unterschied zu verschiedenen anderen Feldern der Klimafolgenforschung liegen hier gut verstandene Ursache-Wirkung-Beziehungen vor. Diese sind

Gletscheränderungen eine hohe „Anschau“lichkeit auf, die wir alle bei einem Aufenthalt im Hochgebirge mit eigenen Augen eindeutig erkennen können oder die uns in eindrucksvollen Dokumentationen wie der Ausstellung *Gletscher im Treibhaus* 2004 im Museum des Deutschen Alpenvereins in München präsentiert wurden. Diese klaren Belege der Klimaänderungseffekte üben gerade auf wissen-

Veränderungen dieses Teils der so genannten Kryosphäre der Erde kommen zu können. Messreihen von hoher wissenschaftlicher Qualität wie die der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften vom Vernagtferner – mit der seit über 30 Jahren betriebenen Pegelstation zur Erfassung des Gletscherabflusses als großer Besonderheit – haben hierbei einen herausragenden



M. WEBER, KOMMISSION FÜR GLAZIOLOGIE

Kleine Gebirgsbäche können sich unter extremen Bedingungen zu reißenden Flüssen entwickeln und erhebliche Schäden anrichten, wie im Auguthochwasser 2005 im Ötztal.

auch nicht von so starken zeitlichen Variabilitäten geprägt wie z. B. die Hurrikanaktivitäts- und El-Niño-Verläufe, bei denen sich die Trends der letzten Jahrzehnte bisher nicht eindeutig vom statistischen Rauschen abheben.

Die über längere Zeiten integrierte Reaktion der Gletscher, also quasi die „Trägheit“ der Gletscheränderungen, stellt sich hier als großer Vorteil heraus, da sie einerseits mit der Geschwindigkeit der Klimaänderung und andererseits mit den Reaktionszeiten vieler natürlicher Systeme gut korrespondiert. Zugleich weisen die Merkmale der

schaftliche Laien in wirtschaftlichen und politischen Entscheidungspositionen eine besonders hohe Überzeugungskraft aus.

Dies setzt allerdings voraus, dass die wissenschaftliche Analyse auf international qualifizierten bzw. standardisierten und möglichst weit zurückreichenden Beobachtungsreihen beruht und diese schlüssig zu interpretieren vermag. Die Glaziologen in aller Welt bedürfen hierzu mehr als die meisten anderen Naturwissenschaftler eines Netzes von Langzeitbeobachtungen, um zu verlässlichen Beschreibungen von historischen, gegenwärtigen und zukünftigen

Stellenwert. Die Bedeutung solcher Forschungsergebnisse reicht weit über den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn hinaus und gewinnt nicht zuletzt auch auf wirtschaftliche und politische Entscheidungen, insbesondere langfristige Vorsorgestrategien, zunehmenden grundsätzlichen Einfluss.

Der Autor war bis 2005 Leiter der GeoRisikoForschung der Münchener Rückversicherungsgesellschaft, München.

