

■ Eisberge vor Grönland. Das Klimasystem der Erde besteht grundsätzlich aus der Atmosphäre und dem Ozean, wird aber auch von den Kontinenten oder der Eisbedeckung durch komplexe Prozessen beeinflusst, die Wärme und Energie, aber auch Materie, insbesondere Wasser und Kohlendioxid in unterschiedlicher Geschwindigkeit austauschen. Foto: Rita Willaert, CC-BY-2.0

50

# DAS KLIMAGEDÄCHTNIS DER ERDE

## PROF. DR. EDOUARD BARD

**Position:** Professor des Collège de France in Paris sowie Vize-Direktor des Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE) in Aix-en-Provence, Frankreich

**Spezialgebiet:** Rekonstruktion vergangener Klimaentwicklungen

Foto: GEOMAR



11

Das Gedächtnis eines Menschen ist kurz. Viel zu kurz, um Auskunft über langfristige Klimaentwicklungen geben zu können. Denn diese spielen sich über Jahrhunderte, Jahrtausende oder gar Jahrzehntausende ab. Wollen Wissenschaftler also herausfinden, ob aktuelle Klimaveränderungen vom Menschen künstlich hervorgerufen werden oder ob sie einfach Teil natürlicher Zyklen sind, müssen sie auf andere Informationsquellen zurückgreifen. Zum Beispiel auf das Klimagedächtnis der Erde. Sie tun dies, indem sie unter anderem nach Aufzeichnungen von Klimaveränderungen in den Ablagerungen auf dem Meeresboden, im Eis der Polargebiete oder in fossilen Korallenriffen suchen.



■ Korallenriff bei Tahiti in Französisch-Polynesien. Die Untersuchung der Bohrkerne aus diesem Gebiet ergaben, dass der Meeresspiegel hier in einem Zeitraum von 10.000 Jahren um 130 Meter angestiegen sein muss. Foto: J. Orepüller, IRD

Auf dem Feld der Paläoklimatologie und Paläoozeanographie, das an der Schnittstelle zwischen Klimatologie, Ozeanographie und Geologie liegt, hat Prof. Dr. Edouard Bard neue Untersuchungstechniken entwickelt und grundlegende Beiträge zum Verständnis der Zusammenhänge geleistet. Vor allem für die genauere Datierung vergangener Klimaereignisse sind seine Arbeiten grundlegend. Als herausragendes Beispiel ermöglicht die von Bard gemeinsam mit Kollegen erarbeitete hochpräzise Uran/Thorium-Datierung fossiler Korallen die genaue zeitliche Einordnung von Meeresspiegelschwankungen in der Vergangenheit. Sie dient außerdem als Basis für die Kalibrierung der Radiokarbondatierung ( $^{14}\text{C}$ -Methode), die nicht nur für Klimaforscher, sondern auch für Archäologen und Historiker von größter Bedeutung ist.

Darüber hinaus engagiert sich Edouard Bard intensiv dafür, wissenschaftliche Erkenntnisse auch der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, was er beispielsweise im Rahmen mehrerer populärwissenschaftlicher Bücher zum Thema Klimaschwankungen getan hat.

51

VITA

Edouard Bard erhielt 1985 seinen Masterabschluss in Ingenieur-Geologie an der Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, Frankreich und promovierte 1987 an der Université de Paris 11 Orsay.

Anschließend arbeitete er unter anderem am Lamont-Doherty Earth Observatory der Columbia University, New York, USA und am französischen Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) in Gif-sur-Yvette. Seit 1991 forscht er am CEREGE in Südfrankreich und war in diesem Rahmen bis 2001 Professor an der University Aix-Marseille III. Seit 2001 hat Edouard Bard die Professur „Entwicklung von Klima und Ozean“ am Collège de

France, Paris, inne, während sich sein Labor am CEREGE befindet. Seit 2007 ist er außerdem stellvertretender Direktor des CEREGE.

Für seine Arbeiten erhielt er zahlreiche Preise und Auszeichnungen, darunter die 1997 Macelwane Medal der American Geophysical Union (AGU), die 1997 Donath Medal der Geological Society of America (GSA) und die 2013 Wegener-Medaille der European Geosciences Union (EGU). Edouard Bard ist Mitglied in der französischen Akademie der Wissenschaften, der Academia Europaea und der US National Academy of Sciences ■





## BOHRKERNE

- Das Bohrschiff DP Hunter. Hiermit wurden mehrere lange Bohrkerne offshore Tahiti während aufwändiger Bohrprojekte im Rahmen des Integrierten Ocean Drilling Programms (IODP) gewonnen. Foto: ECORD/IODP



- Korallenkolonie in einem fossilen Riff auf Sumba, Indonesien. Durch eine Hebung des Meeresbodens ist es hier möglich, Proben dieses zuverlässigen Archivs auch an Land zu gewinnen. Foto: Edouard Bard

52

### Anwendungen der Radiokarbon-datierung

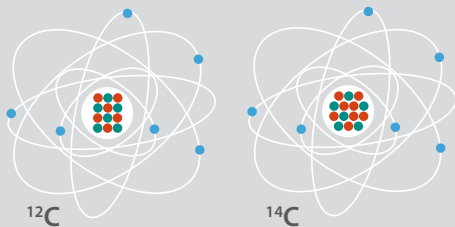
Edouard Bard war Ende der 1980er Jahre an den ersten Messungen des  $^{14}\text{C}$ -Gehalts von Wasserproben aus dem Ozean mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) beteiligt. Diese Methode ermöglicht es, auch sehr kleine Mengen von  $^{14}\text{C}$  präzise zu bestimmen und damit das ge-

naue Alter von kohlenstoffhaltigen Material anzugeben. Daneben dient das Vorkommen von  $^{14}\text{C}$  aber auch als Indikator für wichtige Prozesse im Ozean. Hier konnte Edouard Bard beispielsweise anhand von aufgezeichneten Änderungen des  $^{14}\text{C}$ -Gehalts nachweisen, dass sich eine Kaltphase, die sich ereignete, nachdem die letzte Eiszeit bereits zu Ende war (die soge-

nannte jüngere Dryas-Zeit vor 13.000-11.500 Jahren), mit einer drastischen Abschwächung der Tiefenwasserzirkulation des Nordatlantiks im Zusammenhang stand. Diese Arbeiten verknüpfte Edouard Bard mit der Entwicklung neuartiger Techniken zur Rekonstruktion der Meeresoberflächentemperaturen, zum Beispiel mittels organischer Biomarker.

## DAS ISOTOP $^{14}\text{C}$

● Proton ● Neutron ● Elektron



- Isotope nennt man natürliche Varianten eines Elements, mit einer unterschiedlichen Anzahl von Neutronen in ihrem Atomkern. Das Kohlenstoff-Isotop  $^{12}\text{C}$  ist stabil, während  $^{14}\text{C}$  instabil und somit radioaktiv ist. Alle Organismen nehmen während ihres Lebens eine geringe Menge von  $^{14}\text{C}$  auf, wovon die Hälfte innerhalb von 5.730 Jahren zerfällt (Halbwertszeit). Wenn man bei einer kohlenstoffhaltigen Probe das Verhältnis von  $^{12}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$  misst, kann man so das genaue Alter bestimmen. Mit präzisen Instrumenten können Fossilien bis zu einem Alter von 50.000 Jahren datiert werden (nach dieser Zeit sind alle Vorkommen des radioaktiven Isotops bereits zerfallen).



- Der Teilkollaps des Laurentidischen Eisschildes auf Nordamerika während der Heinrich-Ereignisse hatte einen massiven Transport von Eisbergen in den Nordatlantik und damit einen großen Schmelzwassereintrag zur Folge.





## RADIOKARBONDATIERUNG

■ Das 2014 installierte Beschleuniger-Massenspektrometer AixMIDACAS am CEREGE: Kleinste Mengen des natürlichen Kohlenstoffisotops  $^{14}\text{C}$  können hier mit hochpräzise bestimmt werden und so eine genaue Datierung kohlenstoffhaltigen Materials ermöglichen. Foto: Edouard Bard

So konnte er zeigen, dass andere drastische Abkühlungsphasen im Nordatlantik während der letzten Eiszeit (die sogenannten Heinrich-Ereignisse) auf kurzfristige Zusammenbrüche des kontinentalen Laurentidischen Eisschildes zurückzuführen waren. Die dramatischen Eisvorstöße und der Abfluß des Schmelzwassers ins Meer führten zu einem erhöhten Süßwassereintrag, der die atlantische Ozeanzirkulation weitgehend zum Erliegen brachte, da kein Tiefenwasser mehr gebildet werden konnte.

### Schwankungen des Meeresspiegels der Vergangenheit

Edouard Bard hat im Laufe seiner Karriere viele Rekonstruktionen der Temperaturen des Oberflächenwassers des globalen Ozeans mit unterschiedlichen geochemischen Methoden durchgeführt und deren Zusammenhänge mit klimatischen Prozessen untersucht. Einer der wichtigsten Parameter ist in diesem Zusammenhang die natürliche Änderung des Meeresspiegels, deren exakter Rekonstruktion sich Edouard Bard besonders verschrieben hat. Auch hier

stand zunächst ein Ende der 1980er Jahre entwickeltes geochemisches Werkzeug, die präzise Datierung von Korallen mittels der Uran/Thorium-Methode, im Zentrum des Interesses von Edouard Bard. Diese Methode ermöglicht es, anhand von Bohrkernen aus Korallenriffen, die ja nur innerhalb weniger Meter unterhalb des aktuellen Meeresspiegels wachsen können, Änderungen des Meeresspiegels genau zu datieren. Anhand mehrerer Bohrkern aus Barbados und Tahiti fand Edouard Bards Team heraus, dass der Meeresspiegel am Ende der letzten Eiszeit vor 21.000 Jahren 130 Meter niedriger war als heute und dann im Zuge des Abschmelzens der kontinentalen Gletscher bis vor 6.000 Jahren in mehreren Phasen auf das heutige, vorindustrielle Niveau anstieg. Er konnte außerdem zeigen, dass es in dieser Zeit kurzfristige abrupte Anstiege um mehrere Meter pro Jahrhundert gab, die durch Schmelzwasserpulse ausgelöst wurden und die sogar schneller abliefen als der vorhergesagte Anstieg innerhalb des kommenden Jahrhunderts.

### Kalibration der Radiokarbonmethode

Als Kombination seiner Forschungsaktivitäten auf dem Feld der Radiokarbon- und Uran/Thorium-Datierungen konnte er durch präzise Anwendung beider Methoden auf Proben der gleichen Korallen zeigen, dass insbesondere in der letzten Kaltzeit vor 20.000-30.000 Jahren Altersunterschiede zwischen beiden Methoden von bis zu 4.000 Jahren auftraten. Diese Unterschiede konnten primär auf ein schwächeres Magnetfeld und damit eine erhöhte atmosphärische Produktion des  $^{14}\text{C}$  zurückgeführt werden. Seine eigenen und viele andere nachfolgende Messungen führten zu einem international koordinierten Kalibrationsprogramm der  $^{14}\text{C}$ -Alter (IntCal), das heute nicht nur eine genaue Datierung, sondern auch eine Vielzahl von anderen Anwendungen des  $^{14}\text{C}$  und anderer Isotope ermöglicht, die ebenfalls von diesen Schwankungen der Produktionsraten betroffen waren ■

Mehr zu diesem Thema: [www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/bard\\_essay.pdf](http://www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/bard_essay.pdf)