

Diss. ETH Nr. 13941

Nachweis von Änderungen im
Kohlenstoffkreislauf durch Vergleich der
Radionuklide ^{10}Be , ^{36}Cl und ^{14}C

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Raimund Albert Muscheler
Dipl. Phys. Universität Konstanz
geboren am 4. September 1970
von Blumenfeld, Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. H. R. Thierstein, Referent
Prof. Dr. T. F. Stocker, Korreferent
Dr. J. Beer, Korreferent

2000

Hans R. Thierstein

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich in erster Linie mit der Untersuchung von Änderungen im Kohlenstoffkreislauf. Die Aussagen dieser Arbeit beruhen auf dem Vergleich von ^{14}C Daten mit ^{10}Be und ^{36}Cl Daten, die in den Summit Eisbohrkernen gemessen wurden. Auf der Basis dieser Radionuklidensätze wurden ausserdem Änderungen im Erdmagnetfeld, in der Sonnenaktivität und im atmosphärischen Transport von ^{10}Be und ^{36}Cl analysiert.

In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie gut sich diese ^{10}Be und ^{36}Cl Daten eignen, die Produktionsrate der Radionuklide zu rekonstruieren. Der Vergleich von verschiedenen ^{10}Be , ^{36}Cl und ^{14}C Datensätzen ergibt, dass der Fluss der Radionuklide nach Summit in erster Näherung proportional zu ihren globalen Produktionsraten ist. Die Radionuklidensätze der Summit Eisbohrkerne eignen sich besser als bisherige Datensätze, die ^{14}C Produktionsrate zu rekonstruieren.

Unter der Annahme, dass auf Zeitskalen länger als 3000 Jahre vor allem Änderungen im Erdmagnetfeld für die gemessenen Variationen in den ^{10}Be und ^{36}Cl Daten verantwortlich sind, wurde das Erdmagnetfeld rekonstruiert. Der Vergleich mit unabhängigen Erdmagnetfeldrekonstruktionen, die für den Zeitbereich der letzten Eiszeit eine sehr hohe Übereinstimmung zeigt, weist auf Unterschiede in der Grössenordnung von circa 25 % beim Übergang von der Eiszeit in das Holozän hin. Verantwortlich dafür sind Änderungen im Transport der Radionuklide oder Unsicherheiten bei der Normierung der Magnetfelddaten.

Auf der Basis der ^{10}Be und ^{36}Cl Daten wurde die Produktionsrate von ^{14}C rekonstruiert. Mit einem Boxdiffusionsmodell wurde mit Hilfe dieser ^{14}C Produktionsrate der atmosphärische ^{14}C Gehalt berechnet. Im Holozän können die Variationen des atmosphärischen ^{14}C Gehalts ausschliesslich Änderungen in der ^{14}C Produktionsrate zugeschrieben werden. Hinweise auf den Einfluss von Änderungen im Kohlenstoffkreislauf auf den atmosphärischen ^{14}C Gehalt konnten für den Zeitbereich der jetzigen Warmzeit nicht gefunden werden.

Die Ursachen des atmosphärischen ^{14}C Verlaufs während der Jüngeren Dryas, einer starken Kaltphase am Ende der letzten Eiszeit, können durch die Kom-

ination von einer verringerten globalen Tiefenwasserbildung und einer mit Hilfe der ^{10}Be Daten berechneten ^{14}C Produktionsrate erklärt werden. Zum ersten Mal konnte durch den Vergleich von ^{10}Be und ^{14}C gezeigt werden, dass eine Reduktion der Tiefenwasserbildungsrate um circa 30 % während der Jüngerer Dryas den ^{14}C Verlauf erklären kann. Dies ergibt ein konsistentes Bild der starken Klimaschwankung während der Jüngerer Dryas. Diese Kaltphase, die besonders ausgeprägt im nordatlantischen Raum auftrat, wird einer Verringerung der Tiefenwasserbildung im Nordatlantik und einem damit verbundenen reduzierten Wärmenachschub durch nachfließendes warmes Wasser aus tieferen Breiten zugeschrieben.

Rekonstruktionen des atmosphärischen ^{14}C Gehalts für die letzten 50'000 Jahre zeigen für die letzte Eiszeit relativ zu heute signifikant erhöhte Werte. Diese hohen Werte können anhand der ^{10}Be Daten ohne starke Änderungen im Kohlenstoffkreislauf nicht erklärt werden. Auch mit Hilfe der unabhängigen Magnetfeldrekonstruktionen kann der ^{14}C Verlauf nur unter der Berücksichtigung von Änderungen im Kohlenstoffkreislauf erklärt werden. Es wird ein Szenario vorgestellt, wie die Differenzen zwischen den ^{10}Be und ^{14}C Daten durch Berücksichtigung von Änderungen in der Tiefenwasserbildung erklärt werden können.

Abstract

This work addresses the question of whether high-resolution time-series of cosmogenic ^{10}Be and ^{36}Cl from the Summit ice cores (Central Greenland) can be used to detect changes in the carbon cycle influencing the atmospheric ^{14}C content. Based on these radionuclide records, investigations were made of changes in solar activity, the geomagnetic field, the atmospheric transport of ^{10}Be and ^{36}Cl and the carbon cycle.

In a first step the ^{10}Be and ^{36}Cl data were analysed to assess the possibility of reconstructing past ^{14}C global production rates. The comparison of different ^{10}Be , ^{36}Cl and ^{14}C data sets indicates that the flux of the radionuclides to Summit is, to a first approximation, proportional to their global production rates. The Summit radionuclide data are shown to be of great value for the reconstruction of past ^{14}C production rates.

Changes in the geomagnetic dipole field were reconstructed on the assumption that such changes, on time scales longer than 3000 yr, are the main cause of fluctuations in the fluxes of radionuclides to Summit. During the last Ice Age, this reconstruction agrees extremely well with independent reconstructions based on sedimentary records. However, at the transition between the Ice Age and the Holocene, a difference of about 25 % is observed. This discrepancy can be attributed to changes in the transport of the radionuclides to Summit or to uncertainties in the normalisation of the geomagnetic field data.

Based on the ^{10}Be and ^{36}Cl data, the ^{14}C production rate time-series was reconstructed. By applying a box diffusion model to this time-series, the equivalent time-series of the atmospheric ^{14}C content was then calculated. During the Holocene, variations in the atmospheric ^{14}C content can be attributed solely to equivalent variations in the ^{14}C production rate. No indication was found that changes in the carbon cycle had any influence on the atmospheric ^{14}C concentration.

The ^{10}Be data indicate that the ^{14}C variation that occurred during the Younger Dryas, the most recent cold period of the last Ice Age, can be attributed to changes in the ^{14}C production rate combined with a reduction in global deep water formation. A comparison of the ^{10}Be and ^{14}C records points to a

reduction of about 30 % in global deep water formation during the Younger Dryas. This result is in agreement with the theory that the Younger Dryas cold period was caused by a reduction in North Atlantic Deep Water formation, resulting in a consequent reduction in heat transport from lower to higher latitudes.

Reconstructions of the atmospheric ^{14}C content over the last 50,000 yr indicate that ^{14}C concentrations during parts of the last Ice Age were significantly higher than they are today. These high ^{14}C values are not consistent with the ^{10}Be data unless changes in deep water formation are assumed. In addition, independent geomagnetic field reconstructions cannot explain the complete structure of the ^{14}C record during the last Ice Age and Holocene based solely on a changing ^{14}C production rate. All these calculations indicate strong changes in the rate of deep water formation at the transition from the Ice Age to the Holocene. A scenario is presented to explain the differences between the ^{10}Be and ^{14}C data by including the influence of changes in deep water formation.