

Actinium-227 als Tracer für Advektion und Mischung in der Tiefsee

von Walter Geibert

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

Bereits im Jahre 1906 stellte Alexander Nathanson in seinem Werk „Über die Bedeutung vertikaler Wasserbewegungen für die Produktion des Planktons im Meere“ fest, dass der Auftrieb von Tiefenwasser essentiell für die Nährstoffversorgung des Planktons ist. Neben der Rolle des Auftriebs für die Nährstoffverteilung interessiert uns heute zusätzlich seine Bedeutung für den globalen Wärme- und Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre. Auch der vertikalen Mischung von Wassermassen gilt heute in diesem Kontext vermehrte Aufmerksamkeit, da auch diese wesentlichen Einfluss auf Stoff- und Energieflüsse im Ozean hat (Wunsch, 2000; Egbert & Ray 2000). Die Bestimmung der Raten von Auftrieb und vertikaler Mischung ist damit für viele ozeanographische Fragestellungen von entscheidender Bedeutung, insbesondere Modellrechnungen sind hier auf genaue Werte angewiesen. Gleichzeitig stehen wir dabei vor einer schwierigen Aufgabe, denn direkte Messwerte von Auftriebsraten sind kaum erhältlich, und indirekte Schlüsse über vertikale Prozesse sind oft durch horizontale Effekte beeinflusst, die stets um Größenordnungen über den vertikalen liegen. Hier können Tracer weiterhelfen, die möglichst wenig durch lateralen Eintrag beeinflusst sind.

Mit den anthropogenen Einträgen von z.B. Tritium oder Chlorfluorkohlenwasserstoffen stehen heute eine Reihe von Tracern zur Verfügung, um vertikale Transporte von der Oberfläche in die Tiefe nachzuvollziehen. Für den umgekehrten Weg, den Auftrieb und die Mischung von Tiefenwasser, gab es bislang so gut wie keine geeigneten Tracer, die die erforderliche Zeitinformation in der gewünschten Auflösung bereitstellen. Abhilfe verspricht jetzt das natürlich vorkommende Radionuklid Actinium-227, das derzeit allerdings nur mit einem recht hohen messtechnischen Aufwand bestimmbar ist.

Actinium ist eines der seltensten natürlich vorkommenden Elemente überhaupt. Eine vorläufige Schätzung (Geibert 2001) ergab, dass im gesamten Ozean ca. 13 kg ^{227}Ac enthalten sind. Es existiert kein stabiles Isotop von Actinium, und das langlebigste ist das hier verwendete Actinium-227 (^{227}Ac) mit einer Halbwertszeit von etwa 22 Jahren. Infolge der extrem geringen Konzentration ist zur Zeit für die Probenahme eine Anreicherung aus ca. 1-2 m³ Meerwasser erforderlich, um ^{227}Ac über seine Zerfallsprodukte alphaspektrometrisch nachweisen zu können.

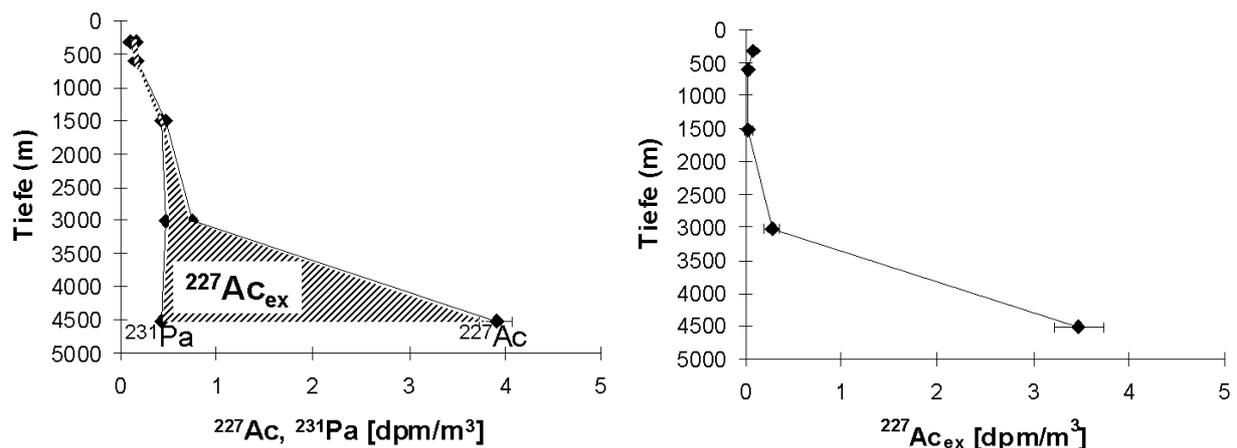


Abbildung 1: Links ist die vertikale Verteilung der Aktivität von ^{231}Pa und ^{227}Ac in der Wassersäule (Einheit dpm= disintegrations per minute= Zerfälle pro Minute) dargestellt. Der Anteil von ^{227}Ac , der die Aktivität von ^{231}Pa überschreitet, muß aus Sedimenten freigesetzt worden sein (grau schattiert dargestellt) und wird mit $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$ bezeichnet. Rechts ist für dasselbe Profil im Südostpazifik nur die resultierende Verteilung von $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$ dargestellt (modifiziert nach Geibert et al. (2002). Man erkennt, dass maximale Aktivitäten nahe dem Tiefseeboden (hier 5046 m) auftreten. In der oberen Wassersäule ist an dieser Stelle kein $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$ zu finden, mit Ausnahme eines schwachen Maximums nahe der Oberfläche, das vermutlich eine Folge lateralen Eintrags ist. Die gezeigten Fehlerbalken beziehen sich auf 1 σ .

Actinium-227 entsteht als Zwischenprodukt einer der drei natürlichen Zerfallsreihen, der von Uran-235 (^{235}U). ^{235}U ist im Ozean recht gleichförmig verteilt. ^{235}U zerfällt über einen Zwischenschritt zu Protactinium-231 (^{231}Pa , Halbwertszeit 32500 Jahre), welches im Gegensatz zu Uran im marinen Milieu partikelreaktiv ist. ^{231}Pa ist besonders in langsam akkumulierenden Tiefseeböden angereichert, da seine Konzentration im Sediment mit größerer Wassertiefe und sinkender Akkumulationsrate zunimmt. ^{231}Pa wiederum zerfällt zu ^{227}Ac . Dieser Vorgang kann entweder bereits in der Wassersäule stattfinden, oder erst im Sediment. Da ^{227}Ac wesentlich weniger partikelreaktiv ist als ^{231}Pa , kann es vom Sediment teilweise wieder an die Wassersäule abgegeben werden.

Es sind also zwei Komponenten von ^{227}Ac in der Wassersäule zu unterscheiden: Zum einen der Anteil, der mit ^{231}Pa in der Wassersäule im radioaktiven Gleichgewicht steht, und ein weiterer Anteil, der aus Tiefseesedimenten stammt. Ist die Aktivität von ^{231}Pa in der Wassersäule bekannt, so kann der hieraus stammende Actiniumanteil zuverlässig bestimmt werden, und das überschüssige ^{227}Ac (auch ^{227}Ac excess oder abgekürzt $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$) kann der Quelle Tiefseeboden zugeordnet werden (Abb. 1 a, b). Aus der vertikalen Verteilung von $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$ lassen sich dann Rückschlüsse über die Geschwindigkeit des vertikalen Transportes von Stoffen in Nähe des Tiefseebodens ziehen. Dieses Verfahren wurde schon 1984 von Nozaki zur Bestimmung diapkyknischer Mischungskoeffizienten angewendet, geriet allerdings aufgrund des hohen Aufwandes für die Messung von ^{227}Ac und ^{231}Pa wieder weitgehend in Vergessenheit.

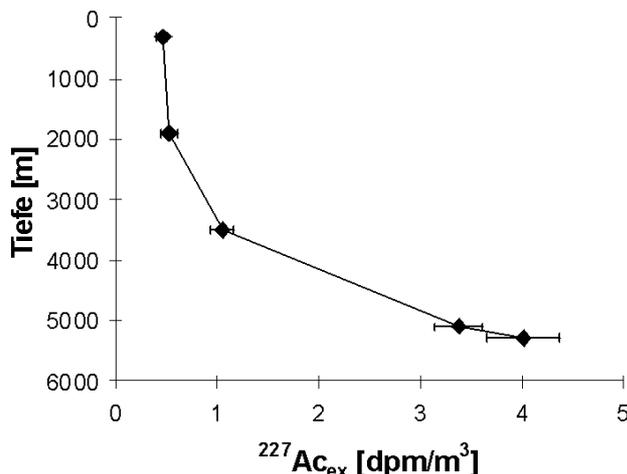


Abbildung 2 (modifiziert nach Geibert et al. 2002): Im Weddellwirbel ergibt sich ein anderes Bild der Actiniumverteilung als im Südostpazifik (Abb. 1 b): Auch hier ist zwar das Maximum bodennah, doch $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$ erreicht als Folge des tiefen Auftriebs die Oberfläche.

Neue Daten zur Verteilung von ^{227}Ac aus dem Weddellwirbel, der Drake Passage, dem Südostpazifik und der Arktis zeigen, dass ^{227}Ac neben der Anwendung zur Bestimmung diapkyknischer Mischungskoeffizienten auch Potential zur Bestimmung von Auftriebsraten hat (Geibert et al. 2002). Im Weddellwirbel wurde $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$ in der gesamten Wassersäule gefunden (Abb. 2), was in diesem Ausmaß nur durch den dort stattfindenden relativ raschen Auftrieb zu erklären ist. Eine vorläufige Abschätzung der Auftriebsrate aus zwei $^{227}\text{Ac}_{\text{ex}}$ -Profilen (8°E und 35°E bei ca. 63°S) ergab einen Wert von ca. 55 m Auftrieb des Tiefenwassers pro Jahr. Eine Expedition in diese Region mit dem Forschungsschiff „Polarstern“ im Winter 2002/03 soll die Lücken zwischen den beiden recht weit auseinanderliegenden Profilen schließen und damit eine genauere Schätzung der Auftriebsrate erlauben.

Dabei soll auch ein neues Verfahren zur Messung von ^{227}Ac getestet werden. Das Verfahren beruht auf der Messung gasförmiger Zerfallsprodukte von ^{227}Ac (Moore und Arnold 1996) und verspricht einen deutlich geringeren messtechnischen Aufwand als bei der bisher erforderlichen Anreicherung. Diese mögliche Vereinfachung lässt eine häufigere Anwendung dieses Tracers in der Zukunft erwarten. Die Ausarbeitung der für andere Radionuklide bereits angewendeten Messmethode wird von der DFG im Rahmen des Projekts „Actinium-227, Radium-223 und Radium-224 als Tracer für Stoffeinträge in der Tiefsee“ gefördert und erfolgt am Alfred-Wegener-Institut in Zusammenarbeit mit dem ICBM Oldenburg. Sollte sich dieser vereinfachte Weg der Actiniummessung als gangbar erweisen, steht der Meeresforschung ein neuer tiefenwasserspezifischer Tracer zur Verfügung.

Danksagung

Herzlicher Dank gilt der Annette Barthelt-Stiftung für die Auszeichnung der Dissertation, die diesem Beitrag zugrunde liegt, mit dem Preis für Meeresforschung und die damit verbundene Förderung. Dr. M.M. Rutgers van der Loeff, Prof. Dr. D. Fütterer sowie viele helfende Kollegen und Freunde haben das Zustandekommen dieser Arbeit erst ermöglicht.

Literatur

Egbert, G.D. & R.D. Ray (2000) Significant dissipation of tidal energy in the deep ocean inferred from satellite altimeter data.-Nature 405, 775-778.

Geibert, W. (2001) Actinium-227 als Tracer für Advektion und Mischung in der Tiefsee.- Ber. Polar- und Meeresforschung 385, 112 S.

Geibert, W., M.M. Rutgers van der Loeff, C. Hanfland & H.-J. Dauelsberg (2002) Actinium-227 as a deep-sea tracer: sources, distribution and applications.- Earth Planet. Sci. Lett. 198, 147-165.

Moore, W.S. & R. Arnold (1996) Measurement of ^{223}Ra and ^{224}Ra in coastal waters using a delayed coincidence counter.- J. Geophys. Res. 101 (C1), 1321-1329.

Nathanson, A. (1906) Über die Bedeutung vertikaler Wasserbewegungen für die Produktion des Planktons im Meere.- Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften XXIX/V, Leipzig, Teubner, 352-441.

Nozaki, Y. (1984) Excess ^{227}Ac in deep ocean water.-Nature 310, 486-488.

Wunsch, C. (2000) Moon, tides and climate.- Nature 405, 743-744.