

Lebensraum "Meer"  
Heft 24

3. Nachtrag zur  
Anatomie des Zahnwalskopfes, Heft 13/1  
3. Addendum to the  
Anatomy of the toothed whale Head, Vol. 13/1

**Günther Behrmann**

**Altersbestimmungen der Pottwale (Physetericeti)**  
basierend auf Ausfallprodukten des Reaktors von  
Tschernobyl im April 1986

**Determination of the Age of Sperm Whales**  
**(Physetericeti)**  
based on the contamination of teeth by the fall-out from  
the nuclear reactor disaster at Tschernobyl, in April 1986

Nordseemuseum  
Centre for Marine Research and Investigations on Cetacea  
Bremerhaven, Germany

## **Altersbestimmungen der Pottwale (Physetericeti)**

basierend auf Ausfallprodukten des Reaktors von Tschernobyl

von  
**Günther Behrmann**

In der Annahme, dass Elfenbein wie ein Baum wächst, also jährlich ein Zuwachsring entsteht, bestimmte man bisher das Alter der Pottwale, indem man die einzelnen Elfenbeinlagen der Zähne auszählte. Diese Methode hat nie allgemeine Zustimmung gefunden, denn nicht alle Zuwachsringe ummanteln den Zahn vollständig, so kommt man bei mehreren Auszählungen und gleichzeitigem Trassen-wechsel zu unterschiedlichen Ergebnissen (Behrmann, 2001a). Außerdem sind die Dentinlagen der Milch- und Kernzähne so dicht, dass hier eine Auszählung der einzelnen Zuwachsringe sehr schwer ist. Angeregt durch die vorliegenden Berichte über die Kontamination aller Lebewesen mit Ausfallprodukten nach dem Reaktor-unfall von Tschernobyl im April 1986 suchte ich nach einer besseren Methode zur Alterbestimmung von Pottwalen (<http://Medicine-Worldwide.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/strahlenunfall>) .

### **Material und Methode**

Weill alle Zähne zur gleichen Zeit entstehen, etwa 6 bis 7 Wochen nach der Konzeption, habe alle Pottwalzähne einer Dentition auch die gleichen Zahl von Zuwachsringen (Behrmann, 2001b). Alle Pottwale haben auch im Oberkiefer Zähne (Boschma, 1938, 1951), die aber nicht so groß wie die Zähne im Unterkiefer werden, und deshalb sich besser für mikroskopische Untersuchungen eignen. Das Material stammt von 5 Pottwalbullen, die 1984, 1994 und 1997 an den Küsten der Nordsee strandeten. Von jedem Wal wurde aus dem Oberkiefer ein Zahn entnommen und aus jedem Zahn wurden zwei dünne Querschnitte angefertigt: einer für Lichtmikroskopie, der zweite für eine qualitative Elementanalyse (Scanning Electron Microscopy). Nach Beschichtung der für die S-E-M verwendeten Präparate sind die einzelnen Elfenbeinlagen nicht mehr zu erkennen. Für den Vergleich der beiden von einem Zahn stammenden Scheiben wurden die natürlichen Fissuren und Streckenmessungen zur Loka-

lisierung der kontaminierten Areale verwendet. Weil das Elfenbein schichtweise anwächst, hoffte ich, dass die kontaminierten Areale in der Schicht liegen, die 1986 gebildet wurde. Zuerst möchte ich aber erst einmal beschreiben, wie ein Elfenbeinzahn entsteht.

### **Befunde**

Die Zahnbildung beginnt bei Pottwalen genau so wie bei allen anderen Säugern mit der Bildung der Milchzähne (*Dentes decidui*). Diese werden aber nicht abgestoßen, sondern verbleiben im Kiefer und werden nach der Ummantelung mit Elfenbein zum bleibenden Gebiß (*Dentes permanentes*).

Das Überwachsen der Milchzähne beginnt mit der Bildung von Osteozyten, die auf der Schmelzkappe einen hellen Zuwachsring aus Zahnzement entstehen lassen. Die Konsistenz dieses Zuwachsrings ist etwas weicher, so dass beim Austrocknen des Zahnes tiefe Fissuren entstehen (**Abb. 1**). Auf diesem ersten Zuwachsring siedeln sich nun die das Elfenbein bildenden, bis 40 µm großen, von Blutgefäßen reichlich versorgten Eburnoblasten an (**Abb. 2 B**). Sie wachsen wie die Zementoblasten im Mesenchym des Desmodontiums. Diese dunkelbraunen Eburnoblasten ähneln morphologisch den Odontoblasten, sind aber viel größer. Die chemische Komponente von Zahnzement und Elfenbein ist nahezu identisch (**Abb. 2**). Erheblich unterscheiden sich aber beide in ihrer Kristallstruktur (Behrmann, 2001a).

Radiär wachsen aus den Eburnoblasten lange, mit vielen kleinen Abzweigungen besetzte, bis zu 2 mm lange Kanälchen heraus (**Abb. 2 A**). Die vom Blut herantransportierten Mineralsubstanzen werden in den Eburnoblasten zu einer Matrix angereichert, die über die distal auswachsenden Kanälchen in die Abzweigungen fließt (**Abb. 2 B**). In den die Abzweigungen umgebenden Mesenchymzellen (Eburnozyten, **Abb. 2 C**) entstehen durch Entwässerung der Matrix kleine Elfenbeinperlen, die nach der Auflösung der Zellmembran zusammenwachsen (**Abb. 2 D**). Die Bildung einer Elfenbeinlage beginnt also an den distalen Enden der Kanälchen und setzt sich medial fort. Ist die Bildung einer Elfenbeinlage abgeschlossen,

sterben die das Elfenbein bildenden Zellen ab. Die in ihnen verbleibenden Plasmareste und besonders die dunklen Kerne der Eburnoblasten lassen die untere Schicht des Elfenbeinringes dunkler erscheinen. Weil die peripheren Enden der Kanälchen sehr dünn auslaufen und deshalb dort mehr Elfenbein liegt, scheint dieser periphere Teil viel heller. Diese Elfenbeinringe wachsen aber nicht gleichmäßig um die Milchzähne und die folgenden Dentitionen (Kernzahn) herum; oft entstehen unvollständige Zuwachsringe von unterschiedlicher Mächtigkeit, die dann den Zahn nur teilweise ummanteln (**Abb. 2 A**). Dies hängt von der Lebensdauer der Eburnoblasten und dem Längenwachstum der Kanälchen ab, je besser das Nahrungsangebot ist, desto länger wachsen die Kanälchen. Nach der Ausfüllung des Zuwachsrings beginnt die Neubildung wie beschrieben von vorn und dies wiederholt sich, bei größeren Pottwalzähnen über 80 mal. Ausgewachsene Pottwalzähne können schwerer als ein Kilo werden. Diese Art der Zahnbildung ist schon sehr alt, denn 11 bis 14 Millionen Jahre alte Pottwalzähne enthalten ebenfalls eingebettete Kern- und Ersatzzähne (Behrmann, 2001a).

### **Altersbestimmungen der Pottwale**

Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986 wurde die gesamte nördliche Hemisphäre kontaminiert. Besonders die bis zu 100 µm kleinen Teilchen, bestehend aus allen Materialien des Reaktors, wurden von Wolken und Wind weit verfrachtet und gelangten schnell in den Nordatlantik (Philipsborn, 1988). Dort entluden sich die Wolken, und ihre Fracht gelangte in den biologischen Kreislauf.

Etwa bis Ende Oktober dauert die Fressperiode der Pottwale im Nordatlantik, man kann also davon ausgehen, dass sie nach einigen Tagen kontaminiert waren. In dem oben genannten Bericht werden die Elemente aufgeführt, mit denen alle Lebewesen kontaminiert wurden. Ausgehend von der Tatsache, dass in den Knochen der Menschen Abfallprodukte aus dem Reaktor von Tschernobyl abgelagert sind, wurde mit Hilfe eines **S-E-M** nun in den Zähnen von gestrandeten Pottwalen nach diesen Substanzen gesucht.

1. Probe: Der Zahn des 1984 in der Wesermündung gestrandeten Pottwals hat 54 bis 59 Elfenbeinringe. Dieser Zahn wurde schon 1998 untersucht, wobei ein anderer Kurvenschreiber, aber die gleiche Methode angewendet wurden. Vom Zahnkeim bis zum jüngsten Ring zeigten Elementanalysen keine Kontaminierung (**Abb. 3**). Bei diesem Pottwalbullen hatten die Unterkieferzähne das Ende ihres Wachstums erreicht und bei den Wirbeln und Handknochen waren Epiphysen und Diaphyse (zwischen beiden liegt die Wachstumszone der Knochen) fest miteinander verwachsen, dieser Bulle war also ausgewachsen.

2. und 3. Probe: An den Skeletten von zwei Pottwalbullen, einer strandete 1997 auf Röm und der andere strandete 1997 bei Cuxhaven, sind Epiphysen und Diaphyse noch nicht verwachsen, woraus man ersieht, dass es sich um junge Wale handelt. Der Zahn der zweiten Probe hatte 12 bis 13 Zuwachsringe. Genau so viele Zuwachsringe wurden im Zahn der dritten Probe gezählt. Die Zähne beider Pottwalbullen waren nicht kontaminiert.

Deutliche Unterschiede zeigten dagegen die Elementanalysen der vierten und fünften Probe (**Abb. 4 und 5**). Die vierte Probe stammt von einem Pottwal, der ebenfalls 1997 auf Röm strandete. Nach dem Zustand seiner Knochen handelte es sich auch hier um einen jüngeren Wal. Dieser Zahn hatte 17 bis 21 Zuwachsringe. Die kontaminierten, das Licht stark reflektierenden Elfenbeinpartikel (**Abb. 4 A**) lagen in der Schicht, die die Schmelzkronen des Milchzahns bedeckte.

Den Zahn der fünften Probe lieferte ein Pottwalbulle der 1994 bei Baltrum strandete, sein Zahn hatte 38 bis 42 Zuwachsringe. Nach dem Zustand der Knochen und der Unterkieferzähne handelte es sich um einen älteren Wal. Hier wurden kontaminierte Partikel (**Abb. 5 A**) in der 21. Lage unter dem jüngsten Zuwachsring gefunden. Nach den Befunden von Philipsborn (1988) enthalten nicht viele Zellen sehr kleine Dosen, sondern wenige Zellen eine größere Dosis. Vergleichbar Kontamination lag auch bei den Pottwalzähnen vor. Deren kontaminierten Partikel (**Abb. 4 B und 5 B**) enthielten

Elemente wie Zirkonium, Beryllium, Lithium, Iridium, Eisen und Nickel und Spuren von anderen Elementen, die natürlicherweise nicht in Zähnen vorkommen (s. **Abb. 3**). (

Weil vor und nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl kein vergleichbarer Gau bekannt wurde, kann man davon ausgehen, dass das Material in den Zuwachsringen der Pottwalzähne aus dem genannten Reaktor stammt.

Nachdem der Milchzahn (Probe 4) vollständig ausgewachsen war, wurde dieser bis zur Strandung noch von 17 bis 21 Zuwachsringen überwachsen. Die Kronenbildung eines Milchzahns setzt bei Säugern zwischen dem 5. und 7. Monat nach der Konzeption ein und erreicht wenige Wochen später ihre volle Größe. Übertragen wir dies auf die Pottwale, kann man annehmen, dass der Milchzahn des Pottwals bei der Geburt ausgewachsen ist.

Von der Kontaminierung der Zähne im Jahr 1986 bis zur Strandung wurden im Durchschnitt doppelt so viele Zuwachsringe angelegt wie Jahre vergangen sind. Die Zuwachsringe erlauben also eine Schätzung des Alters, wozu man aber möglichst mehrere Zählungen durchführen sollte. Die beiden Pottwalbullen (Probe 2 und 3) waren nach der Zahl ihrer Zuwachsringe 6 bis 7 Jahre alt, als sie strandeten, kamen also erst nach Tschernobyl auf die Welt und wurden somit auch nicht belastet. Ebenso war der etwa 27 Jahre alte Pottwalbulle, der 1984 vor dem Reaktorunfall strandete, auch nicht belastet.

Die Reproduktions- und Paarungsareale der Pottwale liegen in wärmeren Meeresgebieten, wo das Wasser nicht viel kälter als 15 Grad wird, z. B. bei den Mittelatlantischen Inseln oder im Indischen Ozean. Bullen und Kühe ohne Kälber verlassen nach der Paarung die warmen Meere um reichhaltigere Nahrungsgebiete aufzusuchen, die in den Polarmeeren in der Nähe der Eisgrenzen liegen. Auf den langen Wanderungen zu ihren Nahrungsgebieten und auf den Rückwegen zu den Paarungsgebieten hungern die Pottwale (die Mägen der gestrandeten Pottwale enthielten nur unverdauliche

Nahrungsreste von Tintenfischen), wobei dann die Elfenbeinproduktion verringert oder gar eingestellt wird. Steht wieder genügend Nahrung zur Verfügung, wird auch wieder Elfenbein produziert. Bei den wandernden Pottwalen können in einem Jahr mehrere Wachstumsringe entstehen.

Kühe mit ihren saugenden Kälbern bleiben in den warmen Meeren, bis die Kälber in der Lage sind, größere Wanderungen zu überstehen. In dieser Zeit nehmen sie ohne Unterbrechung Nahrung auf. Wieviel Elfenbeinringe in dieser Zeit gebildet werden, konnte noch nicht untersucht werden, weil geeignete Zähne noch nicht zur Verfügung stehen.

#### Danksagung

Ich bedanke mich bei **Frau U. Bock**, Geologische Abteilung des AWI's, für ihre Hilfe bei den Elementanalysen.

#### Literatur / References

- Behrmann, G., 2001a: Die Phylogenese des homodonten Gebisses der Zahnwale (Odontoceti). In: Lebensraum "Meer", H. 23/2: 1 - 33. Centre of Marine Research and Investigation on Cetacea. / Nordseemuseum Bremerhaven.
- Behrmann, G., 2001b: Odontologie bezahnter Wale. ZMK Magazin für Zahnheilkunde, 17/3: 100-105. Spitta Verlag Balingen.
- Behrmann, G., 2001c: Altersbestimmungen bei Pottwalen mit Hilfe der Zahnstruktur. Magazin für Zahnheilkunde, 17/7: 403 - 407. Spitta Verlag Balingen.
- Boschma, H., 1938: On the teeth and some other particulars of the sperm whales (*Physeter macrocephalus* L.). Temminckia Leiden, Vol. III: 151- 278.
- Boschma, H., 1951: Remarques sur les Cétacés à dents, et en particulier sur le cachalot. Bulletin de l'institut océanographique, Monaco, Vol 48: 991, 1-28.
- Philipsborn, H. von, 1988: Heiße Teilchen aus Tschernobyl. Die Geowissenschaften, 6. Jahrg., Nr 5: 160 - 161.

Günther Behrmann

Centre for Marine Research and Investigation on Cetacea

Bismarckstraße 4

D-27570 Bremerhaven - Germany

E-mail: guenther.behrmann.gmx.de

## Determination of the age of sperm whales (*Physetericeti*)

Based on the contamination of teeth by the fall-out from the nuclear reactor disaster at Tschernobyl, in April 1986, the age of stranded sperm whales was determined

#### Introduction

In assuming that ivory-layers grow very regularly like the year-rings of trees, they were used in the past for the determination of the age of toothed whales (**Fig. 1**) (Behrmann, 2001a). However, it was found out that some ivory layers only cover parts of the preceding layers (**Fig. 2**). So while counting the ivory layers in different directions, sums are not always the same (Behrmann, 2001b).

In looking for a better method to determine age, I found a note about the contamination of human beings with fall-out products from the Tschernobyl nuclear reactor disaster ([http:// Medicine-Worldwide.de/enzyklopaedie/ strahlenmedizin/strahlenunfall](http://Medicine-Worldwide.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/strahlenunfall)), and I tried to determine the age of sperm whales by fall-out products.

#### Material and Method

The material was taken from 5 male sperm whales, which stranded in the German Bight in 1984, 1994, and 1997. From the upper jaw of each whale one tooth was removed, and from each tooth two thin slices were cut to serve as cross sections: one for visual examination by light microscopy, and the other for a qualitative analysis of elements by Scanning-Electron-Microscopy. In studying the forms and the amount of fissures, and by making measurements from the area of contaminated particles up to the most recent ivory-layer, in both cross sections a contaminated layer had been determined (**Fig. 1**).

#### Results

The teeth of the upper jaws were used, because they are smaller and better to handle. All sperm whales possess up to 20 teeth in the upper jaw (Boschma, 1931 and 1951), but as they are some-times

very small, it is very difficult to find them. The teeth of the upper jaw come into being at the same time as the teeth of the lower jaw (Behrmann, 2001b), therefore they have the same number of growth-rings. The dentition of the first teeth (*Dentes decidui*, al. milk-teeth) of sperm whales takes place like in other mammals, with the exception that the milk-teeth remain inside. By a covering with layers of ivory the first teeth grow and become the permanent teeth (*Dentes permanentes*) (**Fig. 2 A**).

The growth of permanent ivory teeth of sperm whales starts with the formation of osteocytes, which build up a layer of tooth cement. In the first layer of tooth cement covering the enamel crown of the milk tooth, by dehydration big fissures arise, which was used to relate both cross sections (**Fig. 1**).

To this, some soft layer eburnoblasts, which originate from the mesenchym of the desmodentium, are added. The brown eburnoblasts, nearly 40  $\mu\text{m}$  in size (**Fig. 2 B**), have the same shape as the smaller odontoblasts, but have much longer channels. The chemical components of tooth-cement and ivory are nearly the same, but they are very different in their cristalline structure.

The eburnoblasts which are rich in blood-vessels, are added to the first teeth. Out of the eburnoblasts many channels with small branches (**Fig. 2 A**) and nearly 2 mm long, grow in distal direction (**Fig. 2 B**). From the mineral substances transported by the blood, a matrix is formed in the eburnoblasts, which flows through the channels into the branches. In the mesenchym cells (eburnocytes) surrounding the tips of the branches (**Fig. 4 C**), by dehydration ivory is formed (**Fig. 2 D**), which continues in medial direction. When the formation of ivory is finished, the cells die, and on the ivory-layer the process starts again. This method leads to the large teeth of sperm whales with a weight of approx. one kilogramme each, and with more than 80 growth-layers. By the rests of the cell-nuclei and plasma, the lower parts of the ivory ring get a darker colour. The layers do not grow symmetrically; often a layer

surrounds the tooth only partially, and with different thickness (**Fig 2 A**).

Using the fall-out of the nuclear reactor I tried to determine the age of sperm whales. Fall-out particles, with a diameter of up to 100  $\mu\text{m}$ , were widely spread by clouds over the northern hemisphere (Philipsborn, 1988). The clouds started raining and thus the North Atlantic Ocean was contaminated with Tschernobyl material. In the very short time of a few days these particles were taken up by the biosphere where sperm whales have their feeding grounds. There the sperm whales stay up to the last weeks of October. Thus it becomes evident that by the food the sperm whales were also contaminated. This has been proved by a Scanning-Electron-Microscope examination.

The analyses of elements started with one sample from the tooth of a sperm whale, which stranded in 1984 in the Weser estuary. The analyses was carried out in 1998 by the same method used for all other samples (but with an older course-writer). From the tooth germ up to the last ring there was no contamination (**Fig. 3**), i. e. no fall-out products were found.

Sample 2 was taken from a sperm whale which stranded in 1997 in Denmark on Römö Island, and which has 10 to 13 ivory-layers. Again there was no contamination. The same number of ivory-layers was found in Sample 3, which came from a sperm whale stranded in the estuary of the German Bight, near Cuxhaven. The growth areas between the different bone parts (diaphyse and epiphyse) were not yet connected, so the skeletons of both sperm whales present bones from young whales.

However significant differences can be seen in the analysis of elements of the tooth of Sample 4, which comes from a sperm whale stranded in 1994 in the German Bight on Baltrum Island. The tooth has 38 to 42 ivory-layers, and the contaminated layer was located 21 layers below the most recent one (**Fig. 4 A**).

Sample 5 was again a tooth taken from the sperm whale which stranded in 1997 in Denmark on Römö Island. This tooth has 17 to 21 ivory-layers above the milk-tooth. The contaminated ivory-layer was located above the enamel crown (Fig. 5 A).

The analysis of elements in both teeth (Fig. 4 B & Fig. 5 B) shows Beryllium, Lithium, Iridium, Ferrum, Nickel, and some other elements which naturally are not stored in teeth.

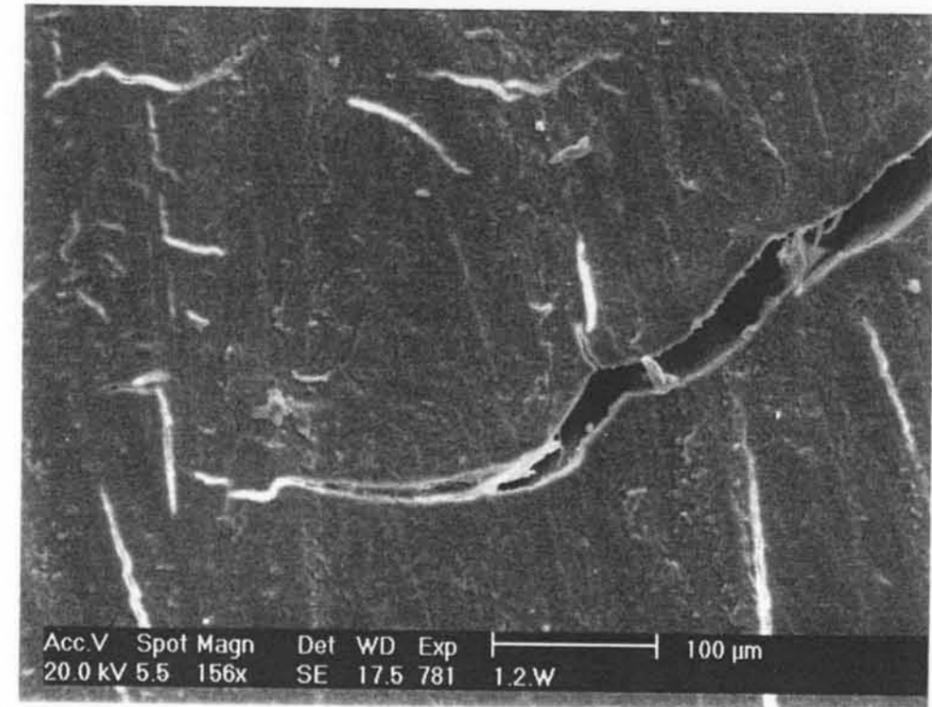
The above demonstrates that in the times after the nuclear Tschernobyl disaster in April 1986, sperm whales were contaminated similar to the bones of human beings (Philipsborn, 1988). Before and after, no similar accidents happened, therefore it is certain that the fall-out material stored in the teeth of our sperm whales originates from Tschernobyl.

In the time from 1986 to the years of stranding, nearly 20 ivory-layers grew up, i. e. about two in one year. The growth of ivory-layers is related to good or bad feeding periods. In the long period of migration to the northerly food grounds near the ice edge of the poles, sperm whales do not take up much food. The stomachs of the sperm whales which stranded in the North Sea contained no food, so the production of ivory stopped. However, in times of high food supply, teeth with two ivory-layers in one year come into being.

All results originate only from male sperm whales. To complete the picture (of the age of sperm whales) I also need teeth of females. After they give birth to a calf, they stay for up to two years in the same area and find continuously food.

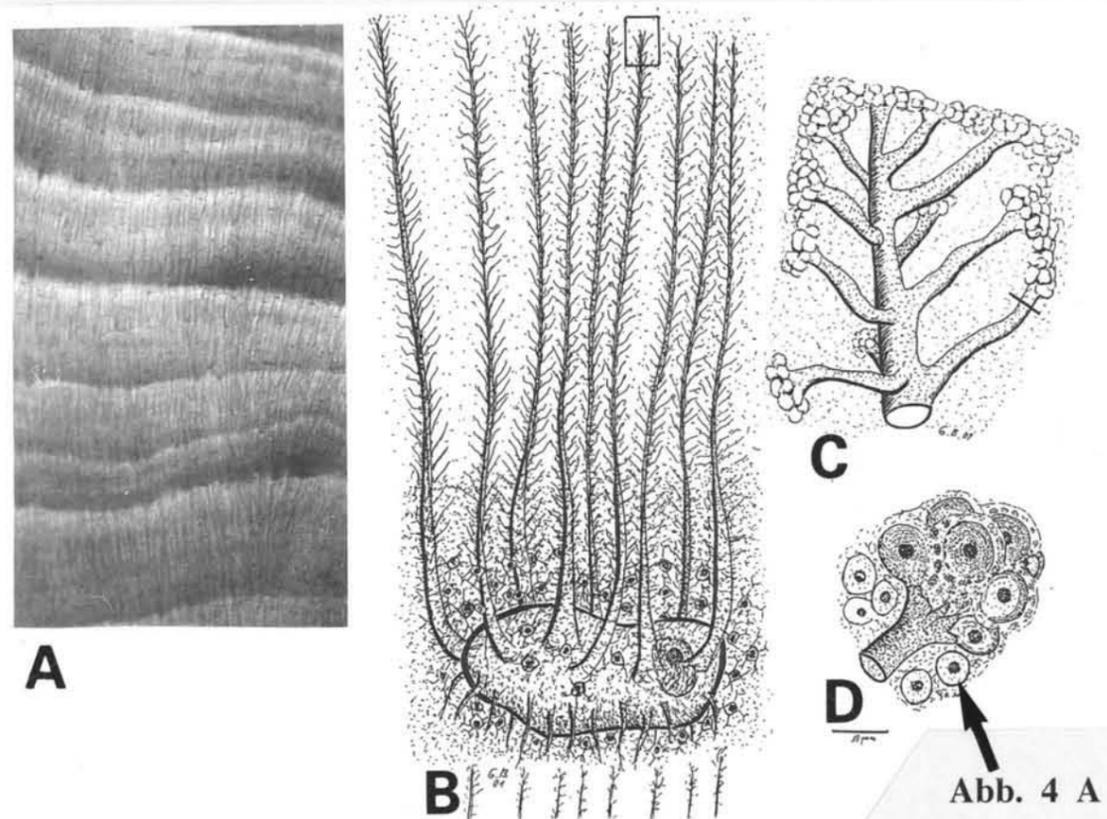
#### Acknowledgment

I am indebted to my colleague Mrs Ute Block of the AWI Geology Department, who helped me in making the element analyses.



**Abb. 1.** Durch Austrocknung entstehen in der ersten Zahnzementlage oberhalb der Schmelzkrone des Milchzahns tiefe Fissuren, die zum Vergleich beider Zahnquerschnitte verwendet wurde.

**Fig. 1.** In the first layer of tooth cement covering the enamel crown of the milk tooth, by dehydration big fissures arise, which was used to relate both cross sections.

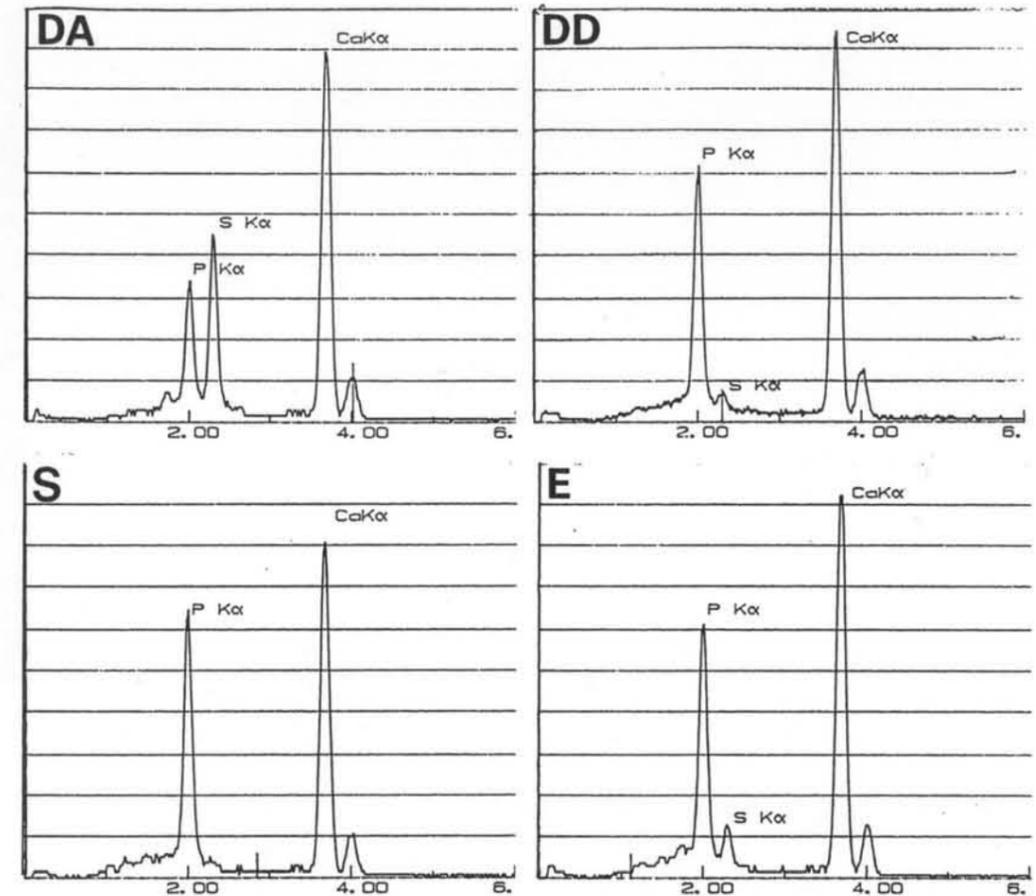


**Abb. 2.**

- A: Segment aus dem Querschnitt durch den Pottwalzahn, Vergrößerung 200 x. Photo: Behrmann
- B: Ein Eburnoblast, Vergrößerung etwa 1200 x.
- C: Eine Kanälchenspitze mit beginnender Elfenbeinbildung, Vergrößerung etwa 2000 x.
- D: Erodierende Kanälchenspitze mit Eburnozyten, Vergrößerung etwa 3000 x. Grafik: Behrmann

**Fig. 2.**

- A: A segment from the cross section of the sperm whale tooth magnification 200 x. Photo: Behrmann.
- B: An eburnoblast, magnification approx. 1200 x.
- C: A tip of a small channel at the beginning of the ivory production. magnification approx. 2000 x.
- D: Eroding tip of a small channel with eburnocytes, magnification approx. 3000 x. Graph: Behrmann

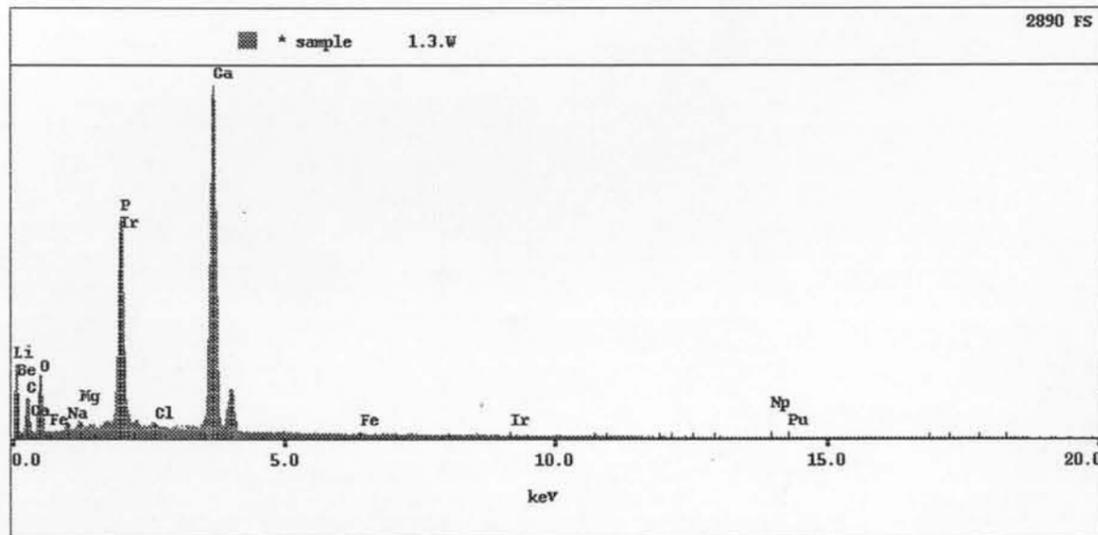
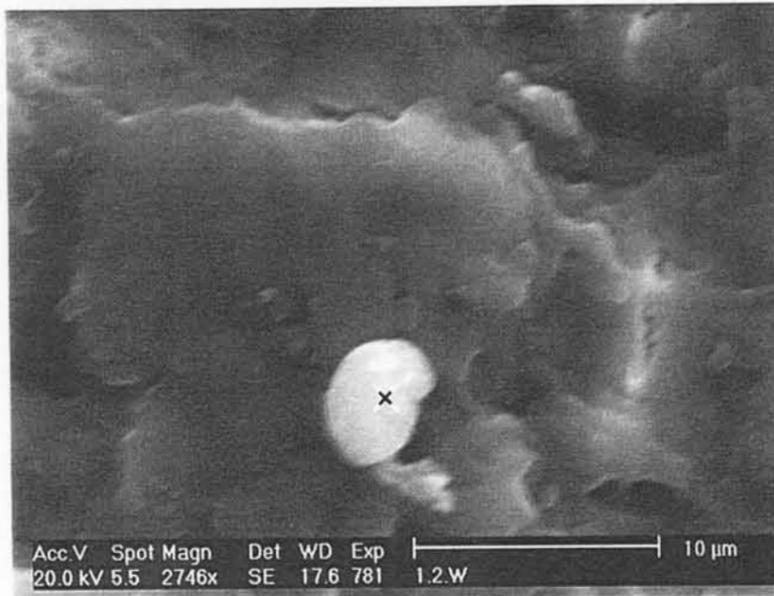


**Abb. 3.** Pottwalbulle, gestrandet 1984

Die qualitativen Elementanalysen der einzelnen Zahnregionen. Zahnkeim (DA), Dentin (DD), Elfenbein (E) und Schmelz (S). Außer Kalziumphosphat und Schwefel wurden keine weiteren Elemente nachgewiesen. S. E. M : Bock.

**Fig. 3.** Sperm whale male, stranded in 1984

The qualitative analyses of the elements of the several dental tooth regions. Tooth bud (DA), dentin (DD), ivory (E) and enamel (S). Beside calcium-phosphate and sulfur other elements were not found. S. E. M.: Bock.



**Abb. 4.** Pottwalbulle, gestrandet 1994

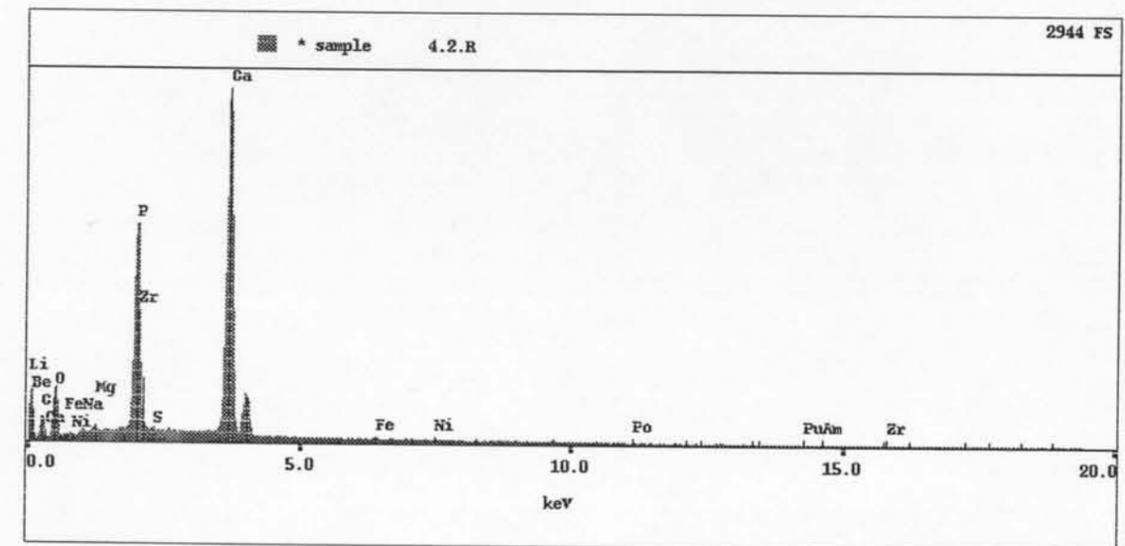
**A:** Das kontaminierte Elfenbeinkörnchen mit Zielkreuz.

**B:** Die qualitative Elementanalyse zeigt eine hohe Belastung mit fremden Elementen, die natürlicherweise nicht in Zähnen vorkommen: Lithium (Li), Beryllium (Be), Iridium (Ir) traten in größeren Mengen auf; von Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Sauerstoff (O), Magnesium (Mg), Kohlenstoff (C), Plutonium (Pu), Zirkonium (Zr) und Nickel (Ni) wurden nur Spuren gefunden. S. E. M.: Bock.

**Fig. 4.** Sperm whale male, stranded in 1994

**A:** The contaminated ivory corpuscle with cross lines.

**B:** The qualitative analysis of elements demonstrates a high contamination with foreign elements which normally do not belong to teeth: Lithium (Li), Beryllium (Be) and Iridium (Ir), appear in larger quantities; Iron (Fe), Copper (Cu), Oxygen (O), Magnesium (Mg), Carbon (C), Plutonium, (Pu), Zirkonium (Zr) and Nickel (Ni) were only found in traces. S. E. M.: Bock.



**Abb. 5.** Pottwalbulle, gestrandet 1997

**A:** Das belastete Elfenbeinkörnchen mit Zielkreuz.

**B:** Diese qualitative Elementanalyse zeigt die gleiche Belastung wie in Abb. 4: Zirkonium (Zr), Lithium (Li), Beryllium (Be) und Iridium (Ir) in größeren Mengen; Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Sauerstoff (O), Kohlenstoff (C), Plutonium, (Pu), Zirkonium (Zr) und Nickel (Ni) nur in Spuren. S. E. M.: Bock.

**Fig. 5.** Sperm whale male, stranded in 1997.

**A:** The contaminated ivory corpuscle with cross lines.

**B:** This qualitative analysis shows the same contamination as in fig. 4.: Zirkonium (Zr), Lithium (Li), Beryllium (Be) and Iridium (Ir) in larger quantities; Iron (Fe), Copper (Cu), Oxygen (O), Carbon (C), Plutonium, (Pu), Zirkonium (Zr) and Nickel (Ni) only in traces. S. E. M.: Bock.