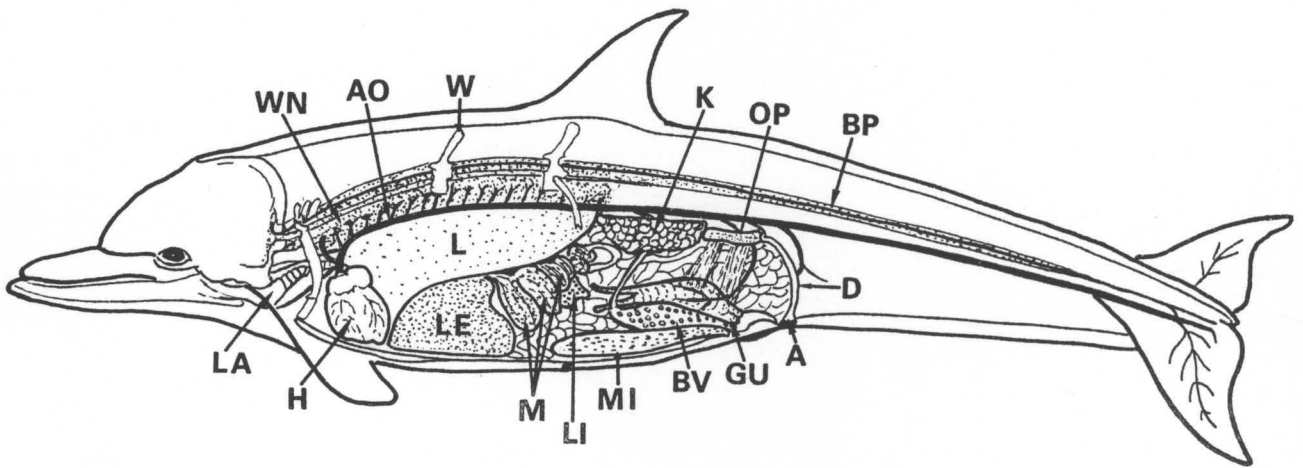


Lebensraum "Meer"
Heft 10

Ergänzende Beiträge zur Anatomie Bezahnter Wale (Odontoceti & Physetericeti)

von
Günther Behrmann



Centre of Marine Research and Investigations on Cetecea
Bremerhaven
2004

Serie Lebensraum "Meer"

Heft Nr.:

- 1. 1979: Arbeitmappe Schule und Museum I,**
- 2. 1980: Evolution der Wale, 1. Aufl.**
- 3. 1980: Gliederfüßer - Krebse**
- 4. 1982: Fische**
- 5. 1982: Evolution**
- 6. 1985: Evolution der Wale, 2. Aufl.**
- 7. 1985: Arbeitsmappe Schule und Museum II**
- 8. 1988: Wie orientieren sich die Wale?, 3. Auflage 1998**
- 9. 1987: Evolution der Wale, 3. Aufl.**
- 10. 1996: Zur Anatomie der Zahnwale, 2. Auflage 2004 ***
- 11. 1996: The nervous system of cetaceans ***
- 12. 1997: Das akustische Orientierungssystem der Zahnwale ***
- 13. 1997: Anatomie des Zahnwalskopfes, 1. und 2. Auflage ***
- 14. 1997: Evolution, 2. Auflage**
- 15. 1997: Gebisse der Zahnwale ***
- 16. 1997: Interessantes aus dem Nordseemuseum**
- 17. 1997: Fische, 2. Auflage**
- 18. 1998: Die Hautfarbe der Wale ***
- 19. 1998: Evolution der Wale, 4. Auflage**
- 20. 1999: Die Ohrplakode der Cetacea und ihre Derivate**
- 21. 1999: New knowledge of the nervous system of cetaceans ***
- 22. 2000: Anatomie des Zahnwalskopfes, 4. Auflage ***
- 23. 2001 Nachträge zum Band 22***
- 24. 2001 Altersbestimmungen der Pottwale ***
- 25. 2002 Evolution der Wale, 5. Auflage**

*** = deutsch und englisch**

Herausgeber:

Der Senator für Wissenschaft und Kunst,

Der Senator für Bildung,

Nordseemuseum Bremerhaven.

Centre for Marine Research and Investigations on Cetacea

Bismarckstraße 4, D-27570 Bremerhaven

E-Mail: guenther.behrmann@gmx.de

Tel. 0471 22634

Lebensraum "Meer"
Heft 10

**Ergänzende Beiträge zur Anatomie
Bezahnter Wale
(Odontoceti & Physetericeti)**

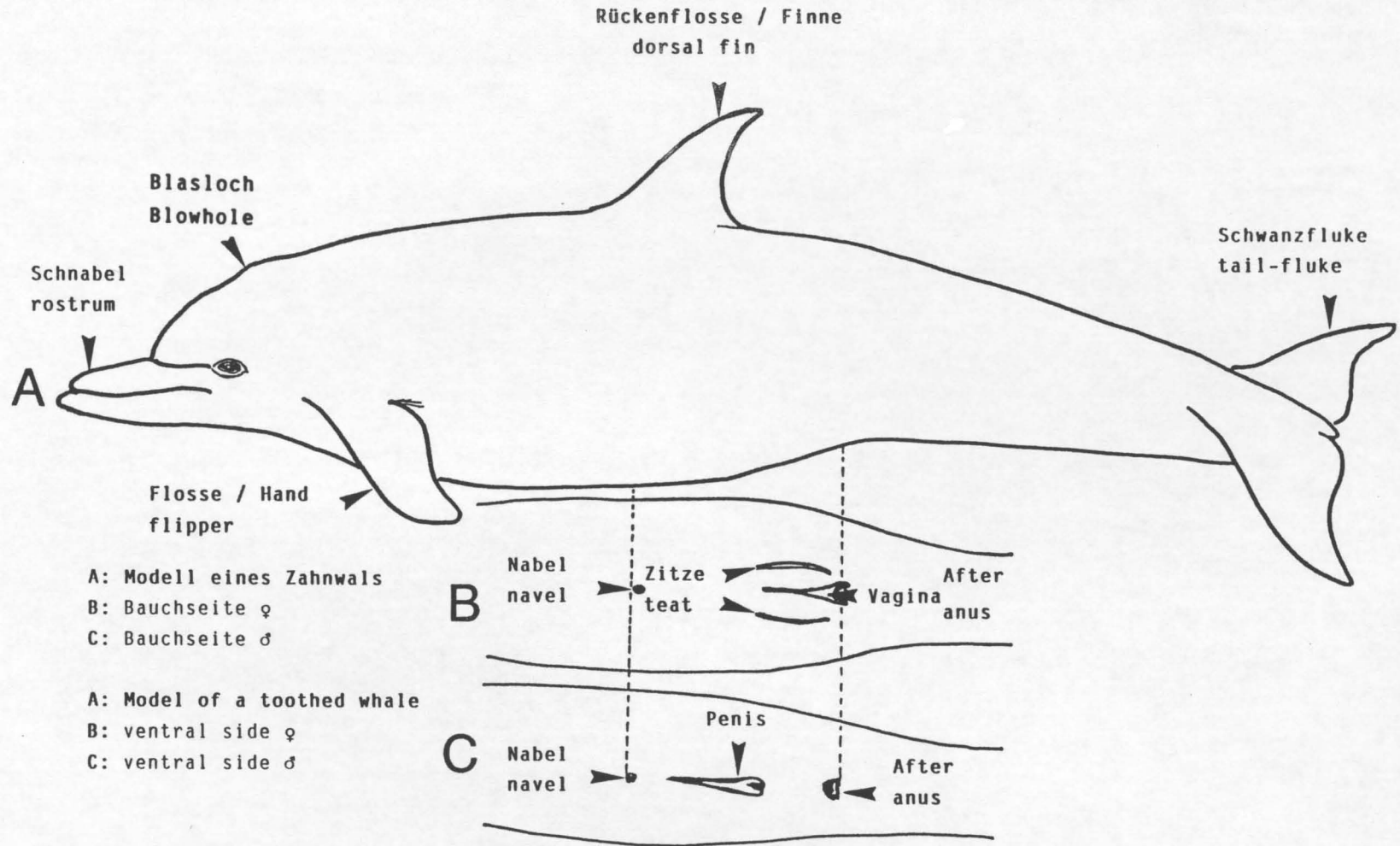
**Von
Günther Behrmann**

**Bremerhaven
2004**

Lebensraum „Meer“ Heft 10 - 2004

Inhaltsverzeichnis

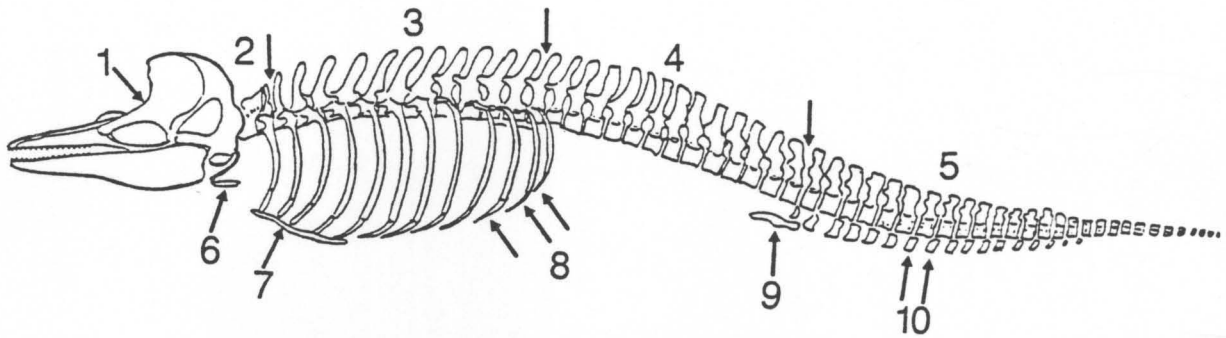
Zahnwalmodell	1
Skelett eines Schweinswals	2
Wirbel und Rippen	3
Beine und Becken	4
Arm und Hand	6
Schädel	9
Blasloch	11
Kopfmuskeln	12
Körpermuskeln	14
Schulterblattmuskeln	15
Pottwalorgane	17
Luftwege	18
Zahnwalorgane	19
Wundernetze	20
Herz	21
Magen	24
Niere	26
Urinsedimente	29
Reproduktionsorgane	34
Haut	36
Hautfarbe	38
Kalkkonkretionen	40
Horne	44
Haare	46
Schuppen	48
Hautkrankheiten	50
Hauttuberkel	53
Zähne, Gebiss	62
Hautschutz	70
Literatur	75



A: Modell eines Zahnwals
 B: Bauchseite ♀
 C: Bauchseite ♂

A: Model of a toothed whale
 B: ventral side ♀
 C: ventral side ♂

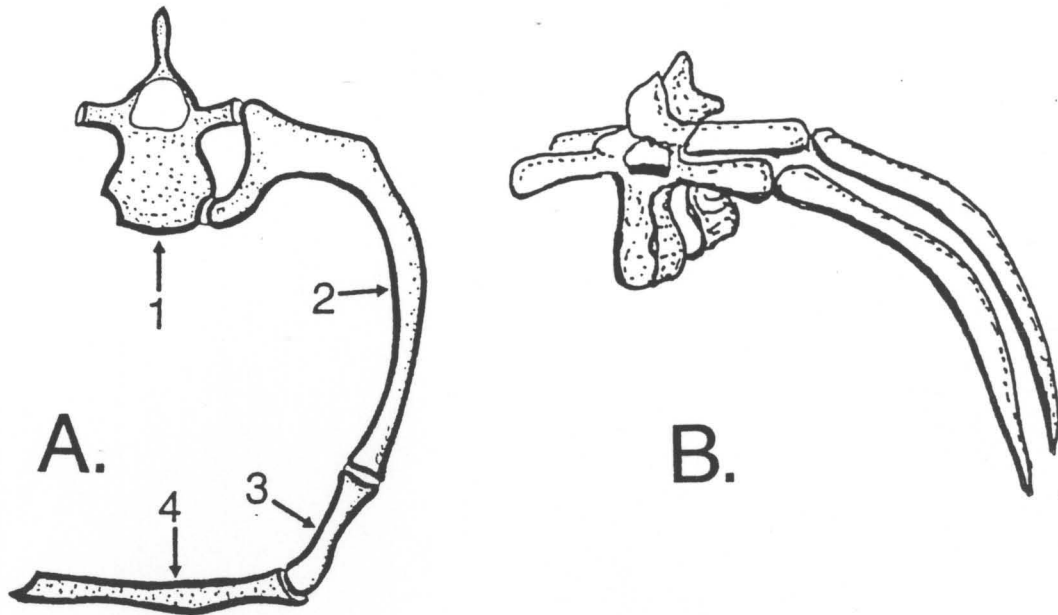
Modell eines Zahnwals
 Pattern of a toothed whale



Ein Zahnwalskelett

A toothed whale skeleton

- 1: Cranium - Schädel - Skull
- 2: Vertebrae cervicalis - Halswirbel - neck-vertebrae
- 3: Vertebrae thoracicae - Brustwirbel - breast-vertebrae
- 4: Vertebrae lumbales - Lendenwirbel - lumbar vertebrae
- 5: Vertebrae caudalis - Schwanzwirbel - tail vertebrae
- 6: Os hyoideum - Zungenbein - tongue-bone
- 7: Sternum - Brustbein - breastbone
- 8: Costae - Rippen - ribs
- 9: Pelvis - Becken - pelvis
- 10: Hämapophysen - Ventralbögen - ventral tailbones



Wirbel und Rippen Vertebrae and ribs

- A:** die vorderen Rippen (1 - 7) haben zwei artikulierende Gelenkverbindungen zu ihren Wirbeln und sind über Bauchrippen artikulierend mit dem Brustbein verbunden.
- B:** die hinteren Rippen (4 - 16) haben nur eine artikulierende Verbindung zum Seitenfortsatz ihres Wirbels, können Bauchrippen besitzen, haben aber keine direkte Verbindung zum Brustbein. Die letzte Rippe kann ohne Verbindungen frei in der Muskulatur liegen.

- 1: Vertebra - Wirbel - vertebra
 2: Costa - Rippe - rib
 3: Costa ventralis - Bauchrippe - ventral rib
 4: Sternum - Brustbein - breastbone

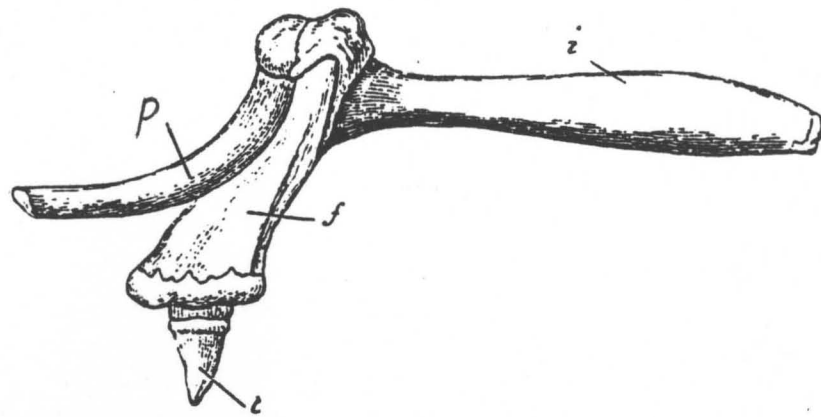
Beine und Becken

Legs and pelvis

Vom Hüftgürtel (*Os coxae*) sind nur noch Rudimente des Beckens (*Pelvis*) erhalten. Die Rudimente erlauben keine eindeutige Aussage, um welche Beckensegmente es sich handelt. Ein Kreuzbein (*Os sacrum*) wurde bisher auch bei den ältesten Fossilien nicht gefunden. Es könnte wesentliche Hinweise auf die Vorfahren der Wale ergeben.

Die Beckenknochen der Wale haben keine feste Verbindung zur Wirbelsäule, sie liegen unterhalb der mächtigen Lendenmuskulatur. Die Becken der männlichen Wale sind größer als die der weiblichen Tiere. Ventral setzen an den Beckenknochen die Penismuskulatur oder die Mutterbänder an. Diese Bereiche sind also eindeutig Schambeinrudimente (*Os pubis*). Weil immer wieder Oberschenkel mit Gelenkkopf gefunden werden, die mit dem Becken mehr oder weniger verbunden sind, müssen beim Walbecken auch Teile vom Sitzbein (*Os ischii*) erhalten geblieben sein.

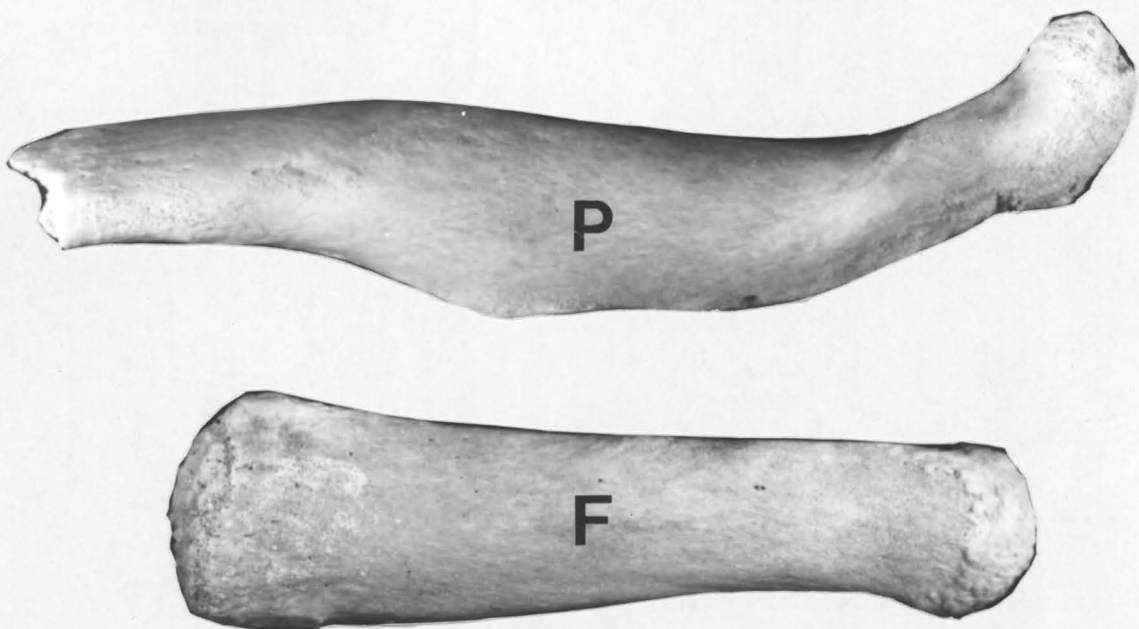
Oberschenkel werden häufig gefunden, andere Bein-knochen sind bei rezenten Walen sehr selten. Wenn solche vorhanden sind, können sie sehr entfernt vom Becken und Oberschenkel liegen; genaue Nachsuche ist also notwendig.



Beine und Becken eines Grönlandwales (*Balaena mysticetus*):

f: Oberschenkel, i: Darmbein, p: Schambein, t: Schienbein.

(Flower, 1870).



**Becken und Oberschenkel eines Pottwals
Physeter macrocephalus.**

Oberschenkel (F), Becken (P).

(Behrmann, 1982).

Arm und Hand

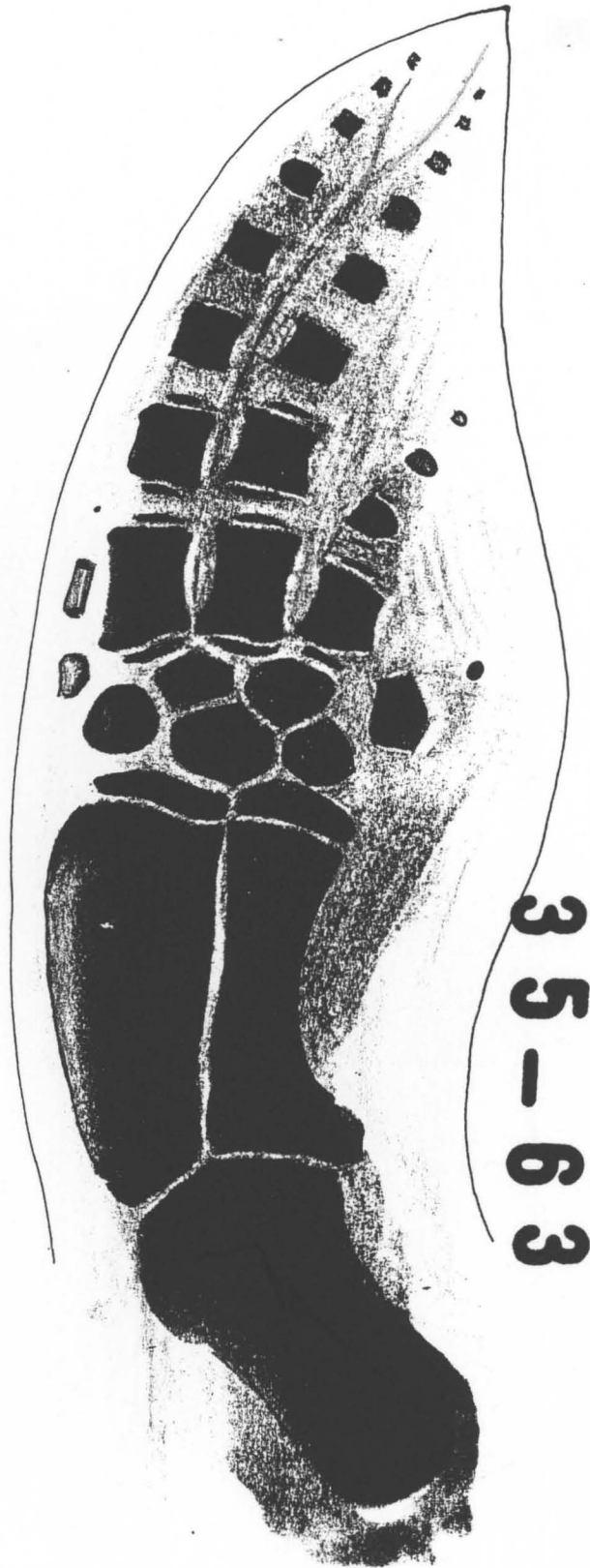
Arm and hand

Die Armknochen sind in ihrer Größe sehr variabel, Form und Größe sind nicht einmal individuell einheitlich. Das Schulterblatt ist flach und die Schulterblattgräte nach vorn verlagert. Der kräftige Rabenschnabelfortsatz ist medial ausgerichtet und über Sehnen mit dem Brustbein verbunden. Embryonal werden die Schlüsselbeine (Clavicula) bei allen Walen noch angelegt (Klima, 1978), sie wachsen aber meistens nicht weiter und bilden sich zurück. Voll ausgebildete Schlüsselbeine wurden bisher nur bei Schwertwalen (*Orcinus orca*) nachgewiesen (Behrmann, 1982).

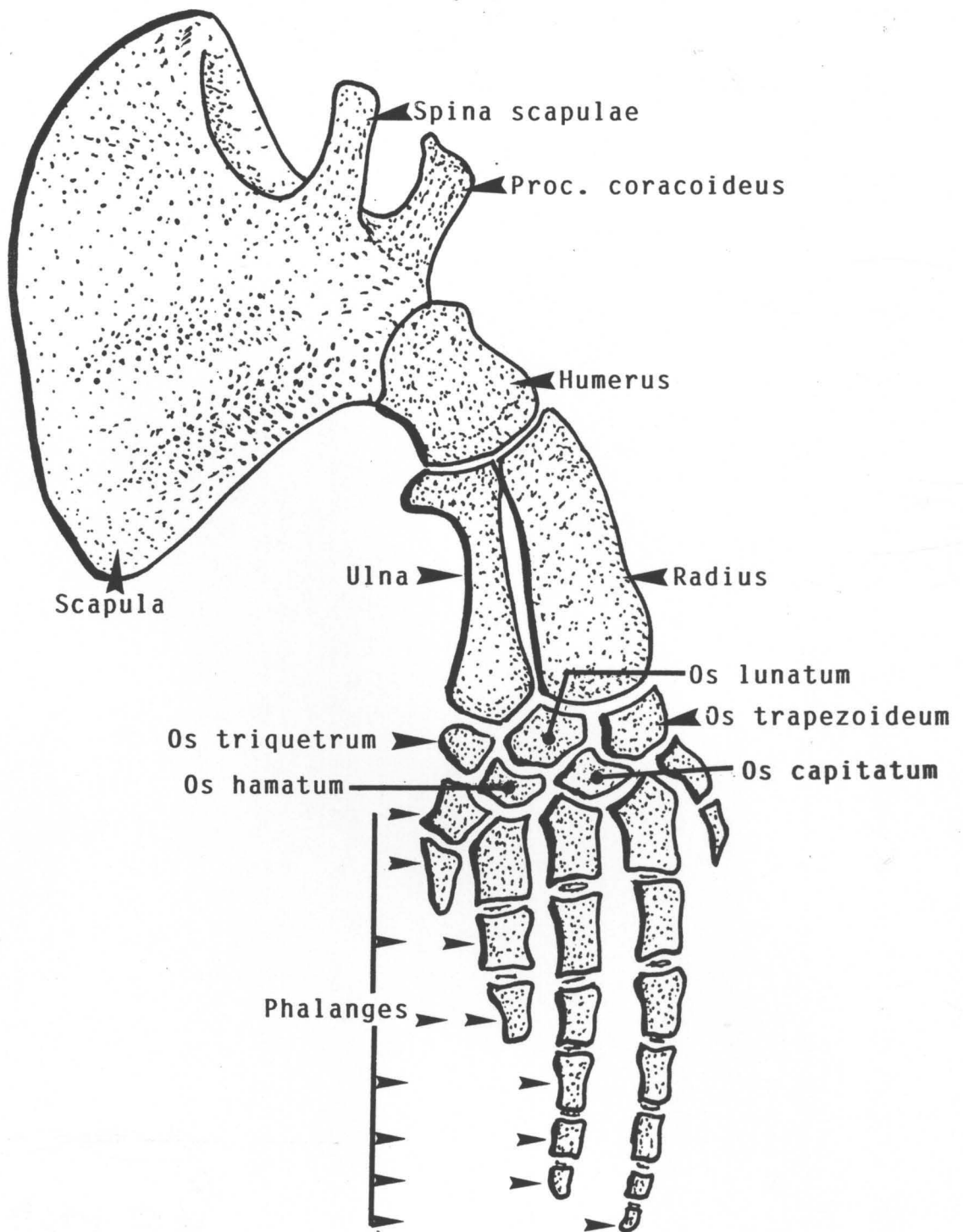
Der Oberarm ist verhältnismäßig kurz und massiv. Die Unterarmknochen, Elle und Speiche, sind verflacht. Bei alten Tieren verwachsen Ober- und Unterarme miteinander.

Die Zahl und die Länge der Fingerknochen variieren stark und können sogar innerhalb eines Wales unterschiedlich sein. Mehrmals nachgewiesen wurden zusätzliche Finger, die keine Verbindung zu den Handwurzelknochen hatten.

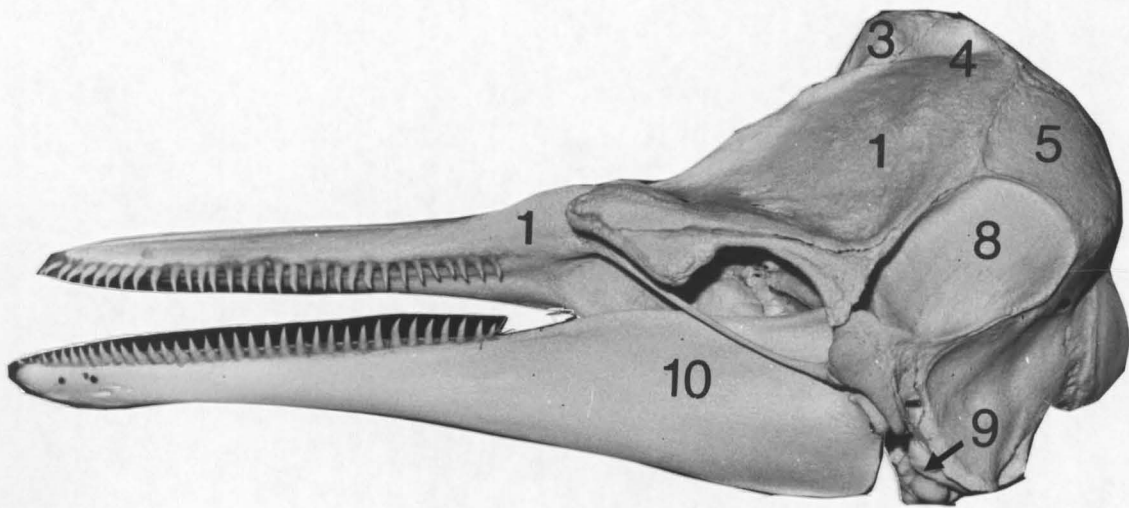
Weil die Mittelhandknochen bei vielen Arten überhaupt nicht ausgebildet werden, oder erst im hohen Alter vollständig verknöchern, bestehen diese bei jüngeren Tieren hauptsächlich aus Knorpel mit einem sehr unförmigen, verknöcherten Zentrum.



Röntgenbild einer Schweinswalhand
(Grobe und Behrmann; 35 KV, 63 Min.)



Arm und Hand eines Zahnwals
 Arm and hand of a toothed whale

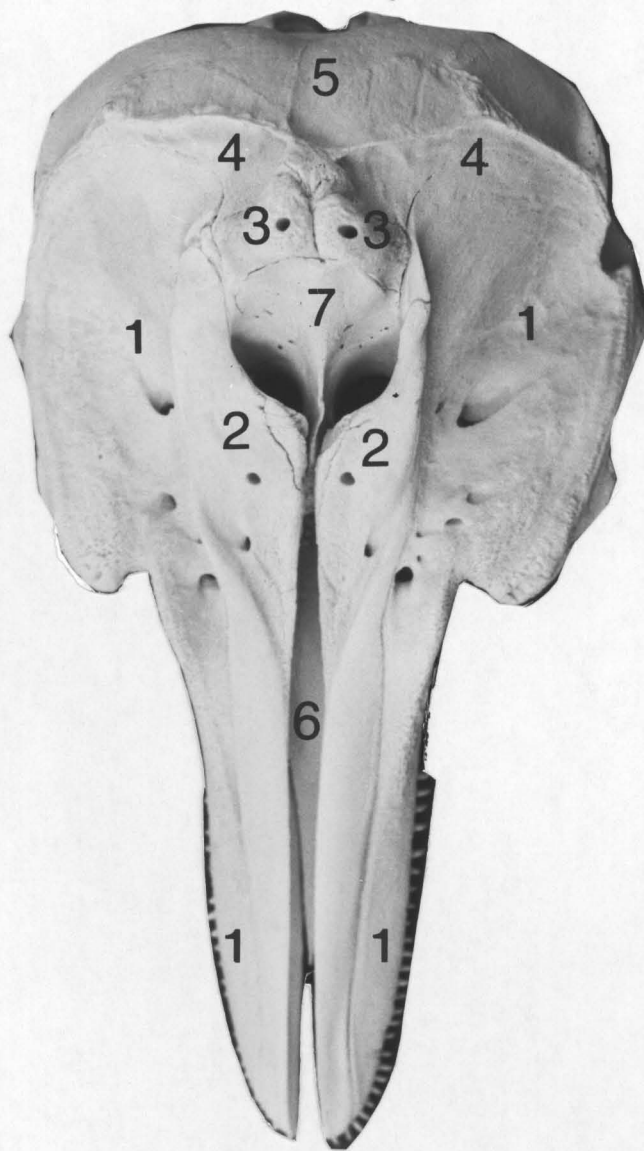


Die Schädelknochen

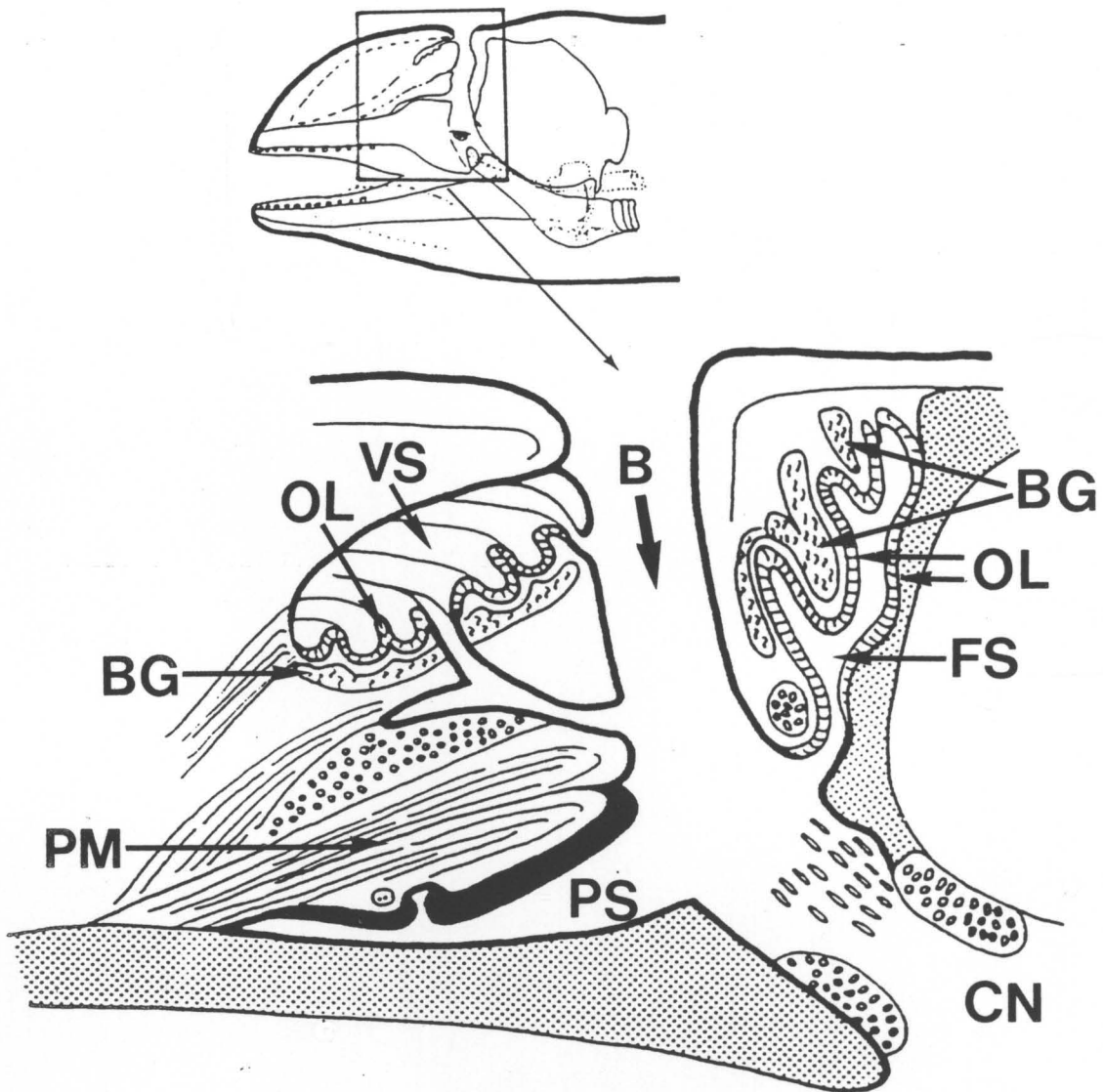
The Skull bones

- 1 Os maxillare - Oberkiefer - upper jaw
- 3 Os nasale - Nasenbein - nasal bone
- 4 Os frontale - Stirnbein - frontal bone
- 5 Os occipitale - Hinterhauptsbein - occipital bone
- 8 Os parietala - Scheitelbein - parietal bone
- 9 Bulla tympanica - Ohrkapsel - ear bone
- 10 Os mandibula - Unterkiefer - lower jaw

(Foto; Behrmann)



- 1 Os maxillare - Oberkiefer - upper jaw
 - 2 Os praemaxillare - Zwischenkiefer - premaxilla
 - 3 Os nasale - Nasenbein - nasal bone
 - 4 Os frontale - Stirnbein - frontal bone
 - 5 Os occipitale - Hinterhauptsbein - occipital bone
 - 6 Vomer - Pflugscharbein - vomer
 - 7 Os ethmoidale - Siebbein - ethmoidal bone
- (Foto; Behrmann)



Das Blasloch mit seinen Nebenräumen

The blowhole with its derivatives

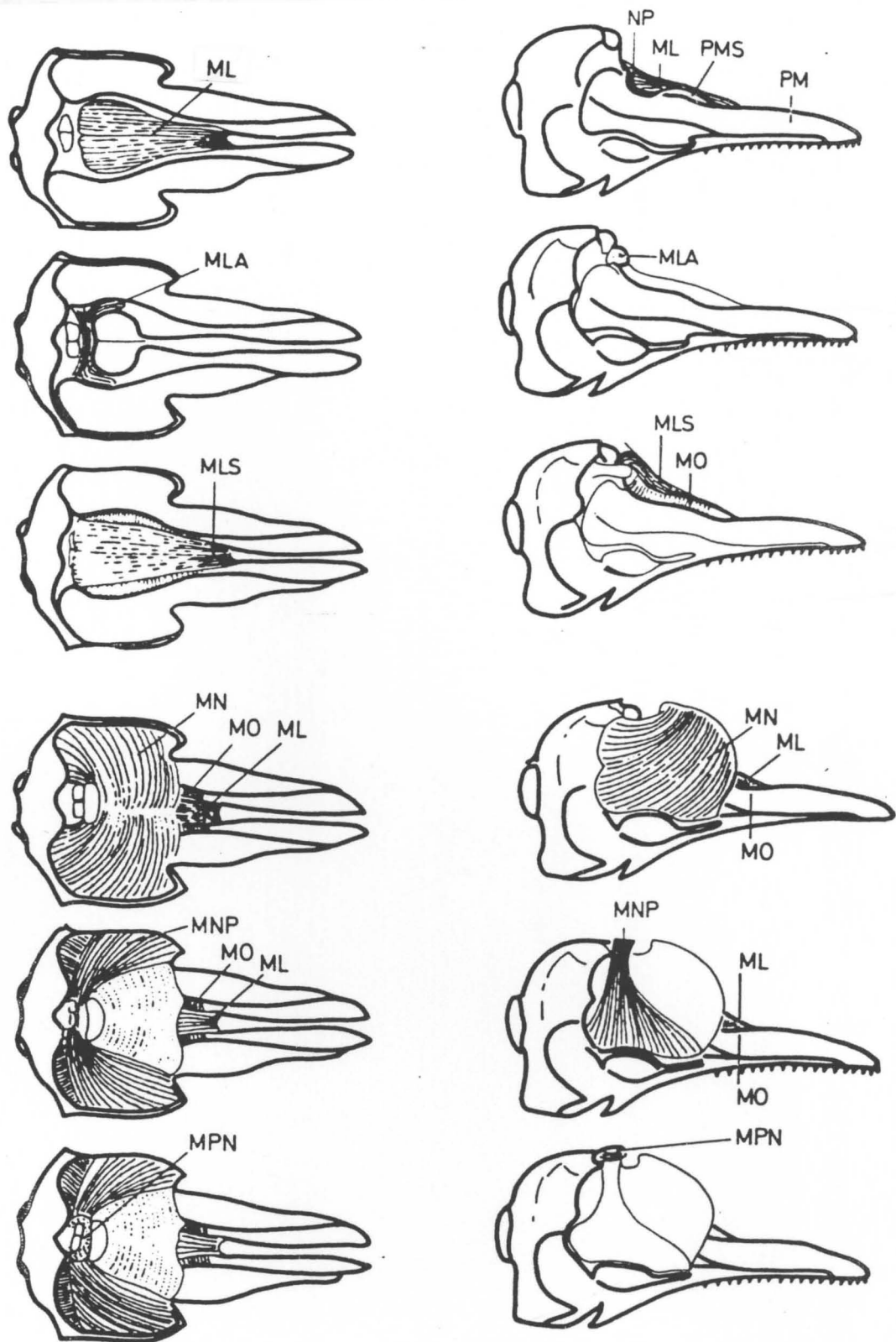
- B Blasrohr - Blowhole
 BG Bowman'sche Drüsen - Bowman glands
 CN Nasenhöhle - nose hole
 FS Stirnsack - frontal sac
 OL Riechhäute - olfactory cuticles
 PM Stopfenmuskel - plugmuscle
 PS Zwischenkiefersack - premaxillar sac
 VS Vestibularsack - vestibular sac
 (Behrmann, 1997)

Die wichtigsten Kopfmuskeln

The important muscles of the head

- ML** Musculus maxillolabialis - Oberkieferlippenmuskel - upper jaw labial muscle
- MLA** Musculus maxillolabialis pars arcuata - hinterer gebogener Oberkieferlippenmuskel - back part of upper jaw and labial muscle
- MLS** Musculus maxillolabialis superior - oberer Oberkieferlippenmuskel - highest upper jaw labial muscle
- MN** Musculus maxillonasalis - Oberkiefernasenmuskel - upper jaw nasal muscle
- MNP** Musculus maxillonasalis pars posterior - oberer Nasenverschlussmuskel - upper nose closing muscle
- MO** Musculus orbicularis oris - Lippenringmuskel - labial ring muscle
- MPN** Musculus procerus nasi - Blaslochöffner - nostril opening muscle
- NP** Musculus maxillolabialis interior - Nasenstopfenmuskel - nasal plug muscle
- PM** Os praemaxillare - Zwischenkiefer - premaxilla
- PMS** Saccus praemaxillaris - Oberkiefersack - premaxillar sac

(Behrmann, 1997)



Die wichtigsten Kopfmuskeln
 The important muscles of the head
 (Behrmann, 1997)

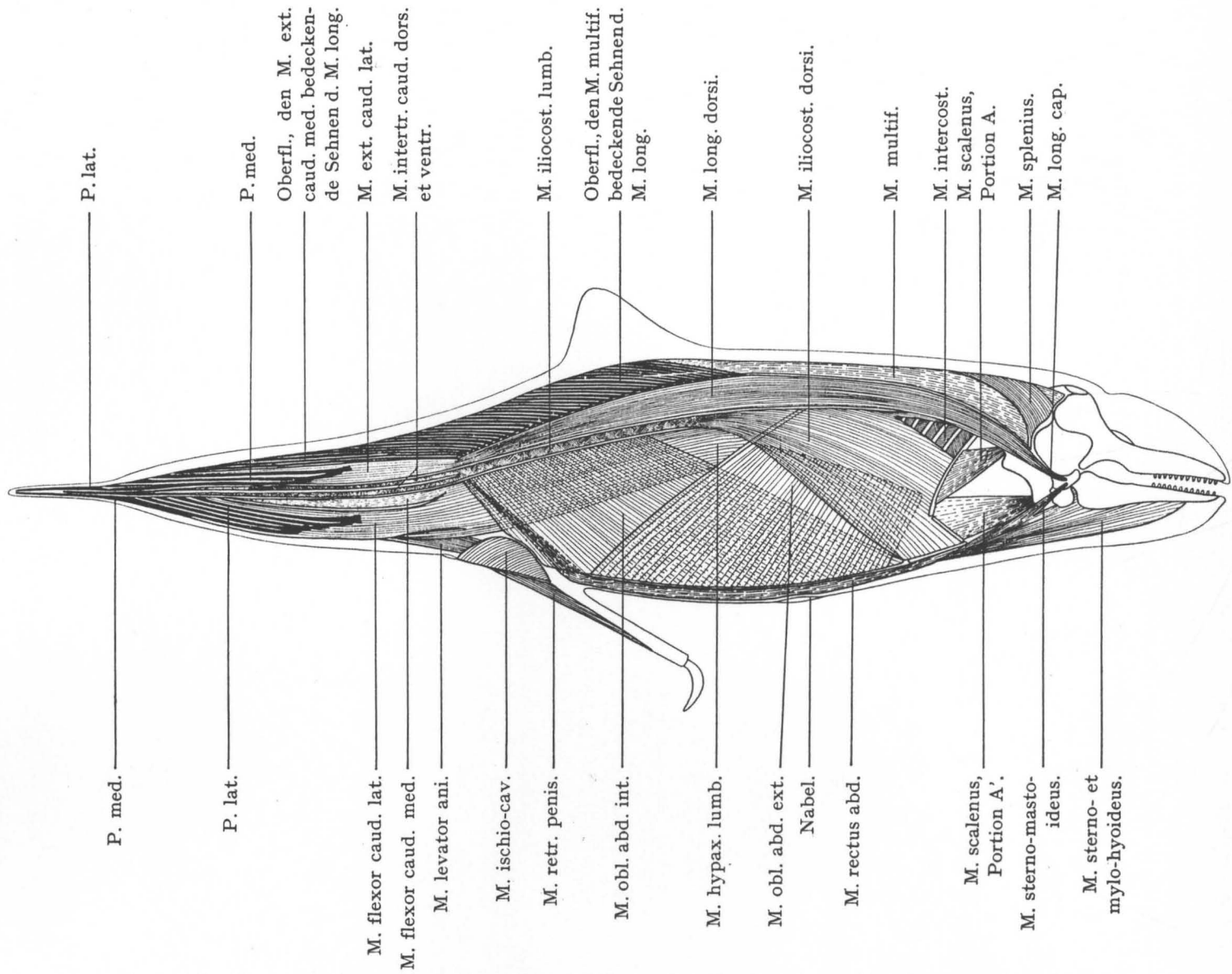
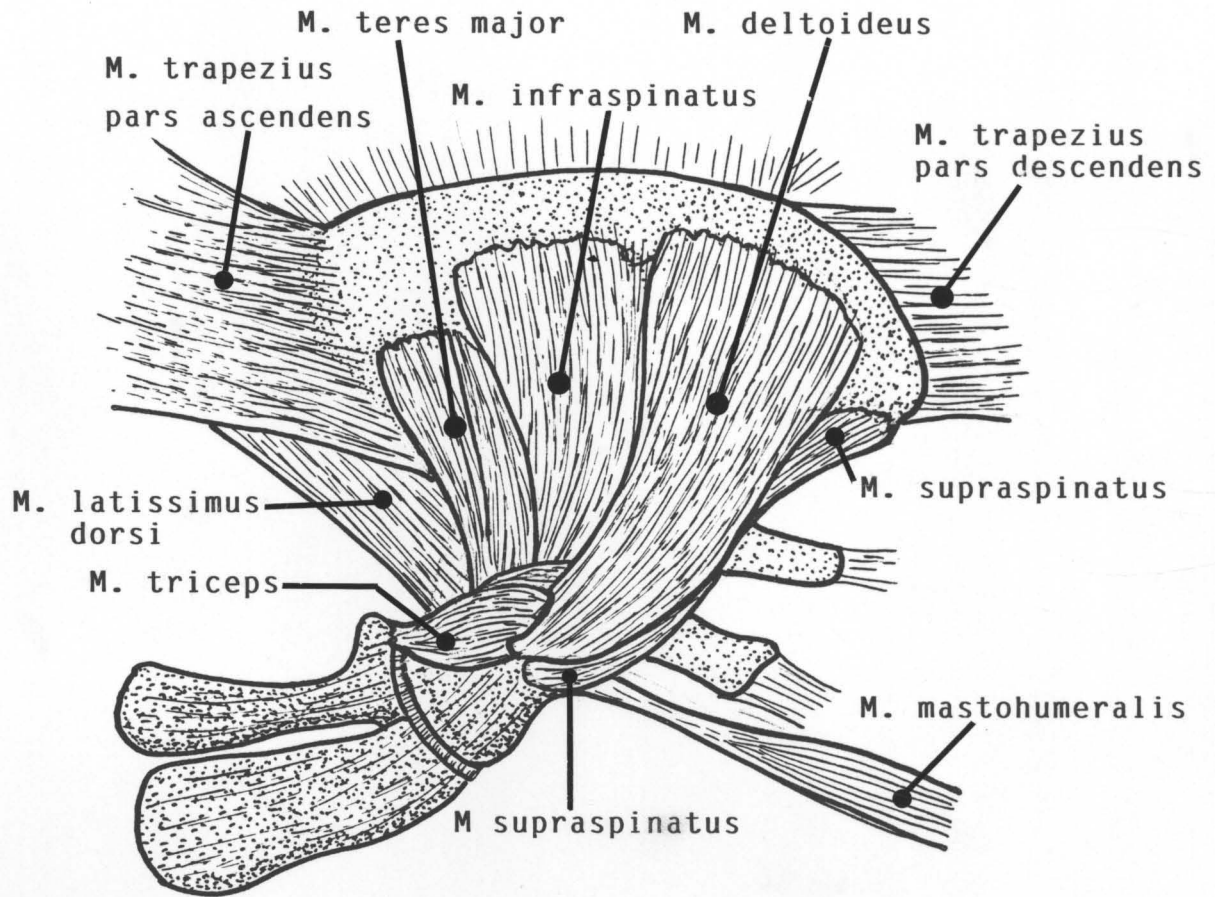
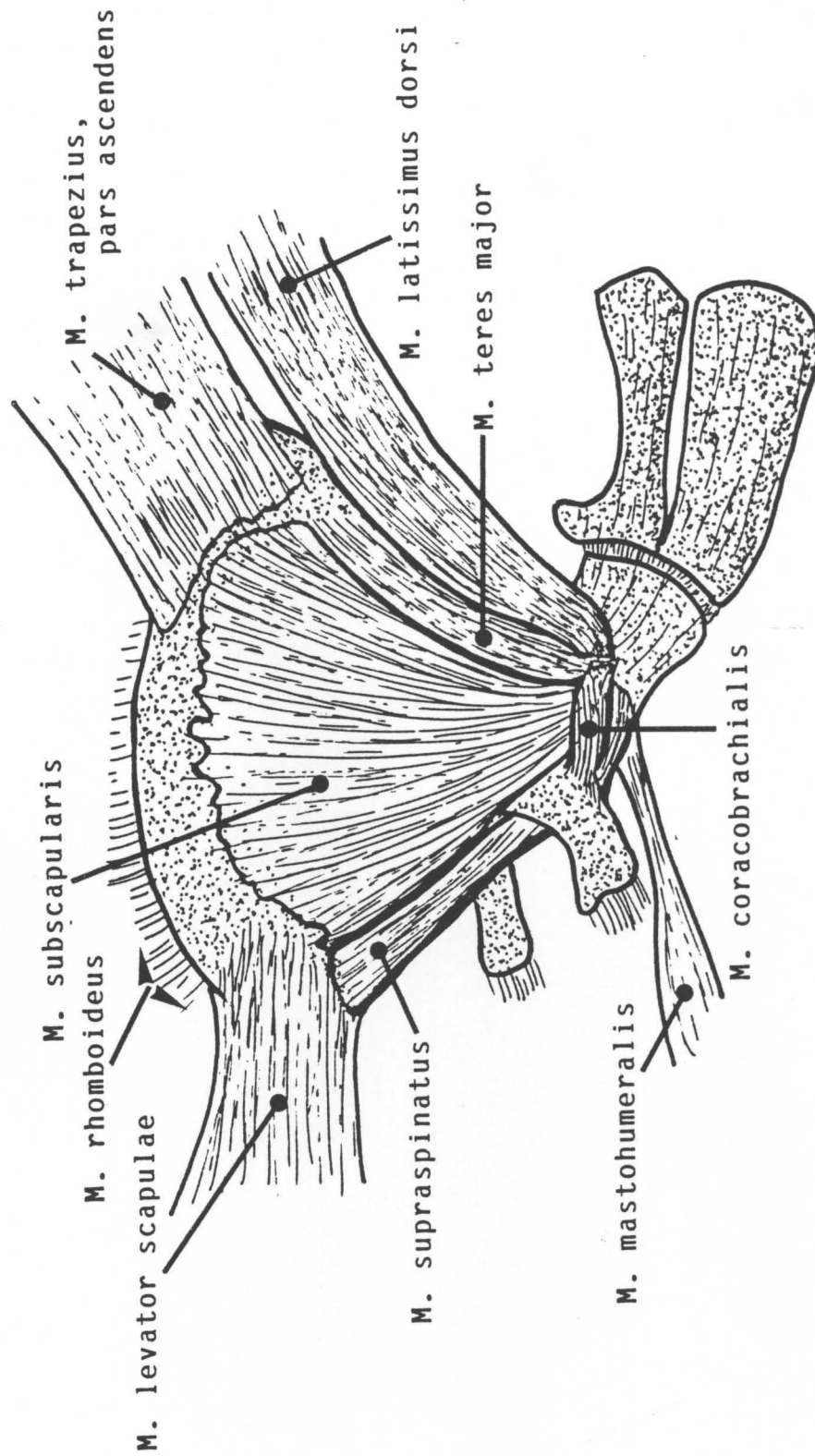


ABB. 102. *Phocaena phocaena* L. Schematische Zeichnung der oberflächlichen Muskeln von rechts. Hauptsächlich nach Ex. M. Haut, Bindegewebe und alle oberflächlichen Faszien sind entfernt, vom Kopfe ist nur der Schädel eingezeichnet um die Insertion der Rückenmuskeln zu zeigen. Da die Bauchhaut weggenommen wurde liegt der Penis in seiner ganzen Länge frei.

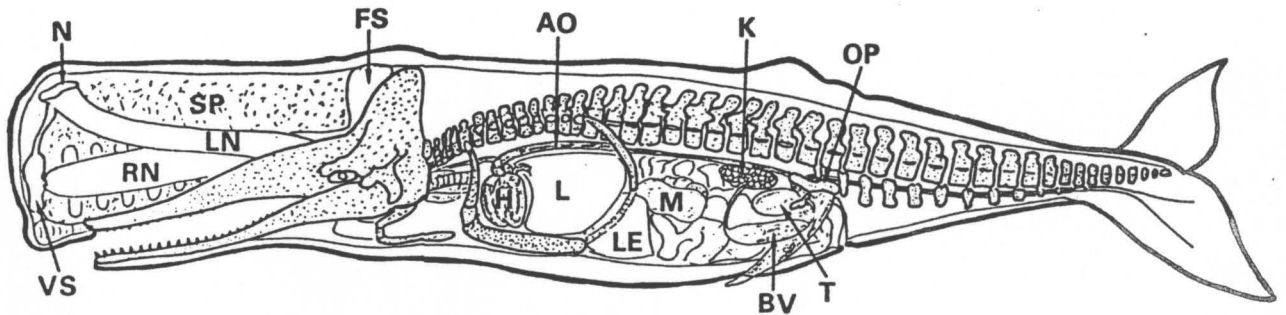
Die äußeren Muskeln
The muscles of the surface
(Slijper, 1973, S.219)



Die Muskeln auf dem Schulterblatt
 The muscles on the scapula
 (Behrmann)



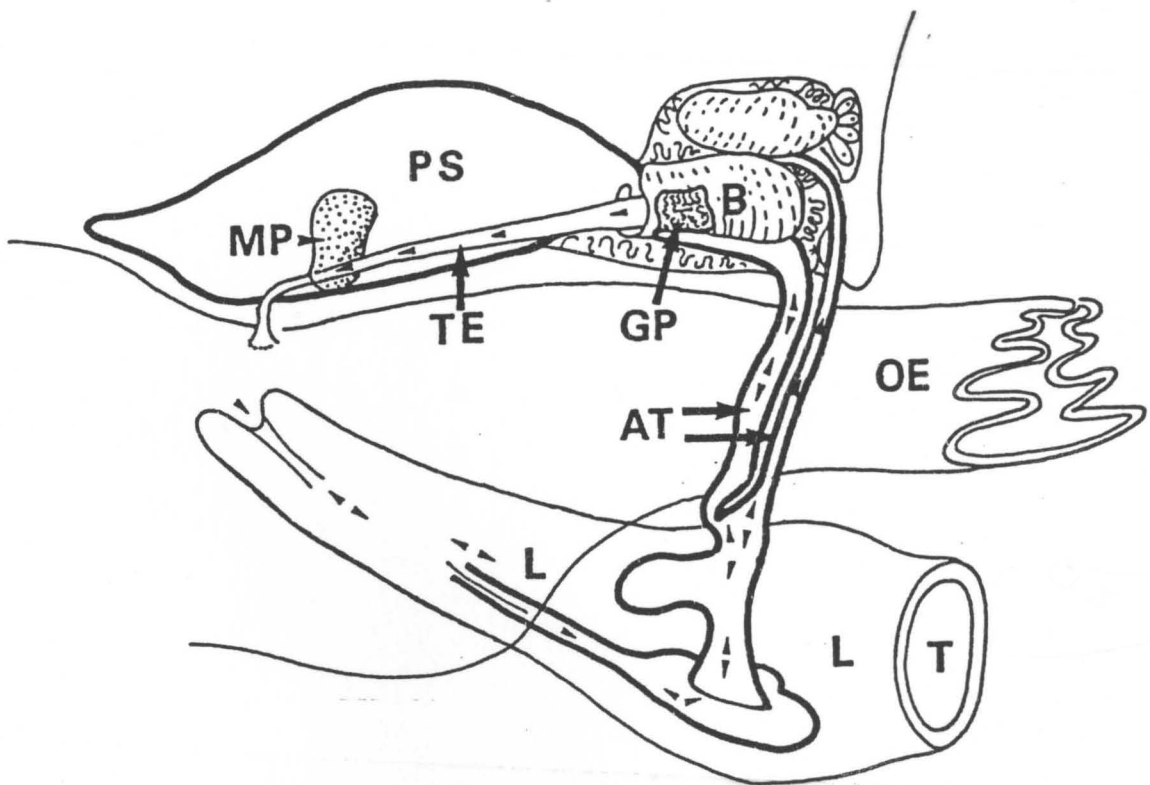
Die Muskeln unter dem Schulterblatt
 The muscles below the scapula
 (Behrman)



Die inneren Organe des Pottwals

The inner organs of a sperm whale

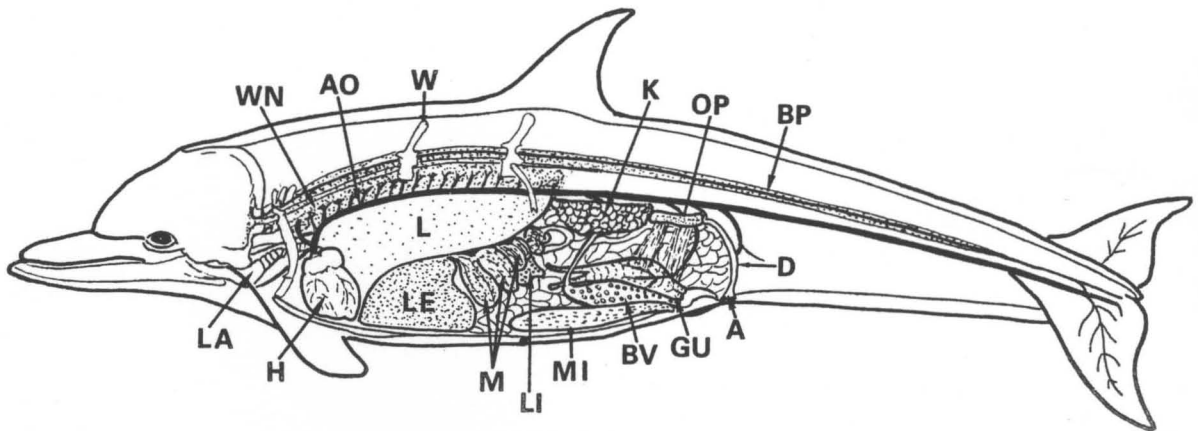
- AO: Aorta - Hauptschlagader - main artery
 BV: Vesica urinaria - Harnblase - urinary bladder
 FS: Saccus frontalis - Stirnsack - frontal sac
 H: Cor - Herz - heart
 K: Renes - Niere - kidney
 L: Pulmones - Lunge - lung
 LE: Hepar - Leber - liver
 LN: Nostril sinistra - linkes Nasenrohr - left nostril tube
 M: Gaster - Magen - stomach
 N: Naris - Blasloch - nostril tube
 SP: Spermacetiorgan- spermaceti organ
 T: Testes - Hoden -testes
 RN: Nostril dextra - rechtes Nasenrohr - right nostril tube
 VS: Saccus vestibularis - vorderer Nasensack - vestibular sac



Die Luftwege unterhalb der Schädelbasis

The air-passages below the skull-base

- AT** Tuba aera - Lufttuben - air tubes
B Bulla tympanica - Ohrkapsel - ear-capsule
GP Rudimente der Ohrspeicheldrüse - rest of the salivary-gland
L Larynx - Kehlkopf - Larynx
MP Membrana pterigoidis - Pterygoidmembran - pterygoidal membrane
OE Pharynx - Speiseröhre - gullet
PS Sinus pterigoideus - Luftsack - pterygoid-sinus
T Trachea - Luftröhre - trachea
TE Tuba Eustachii - Eustachische Tube - Eustachian tube



Die inneren Organe eines Zahnwals

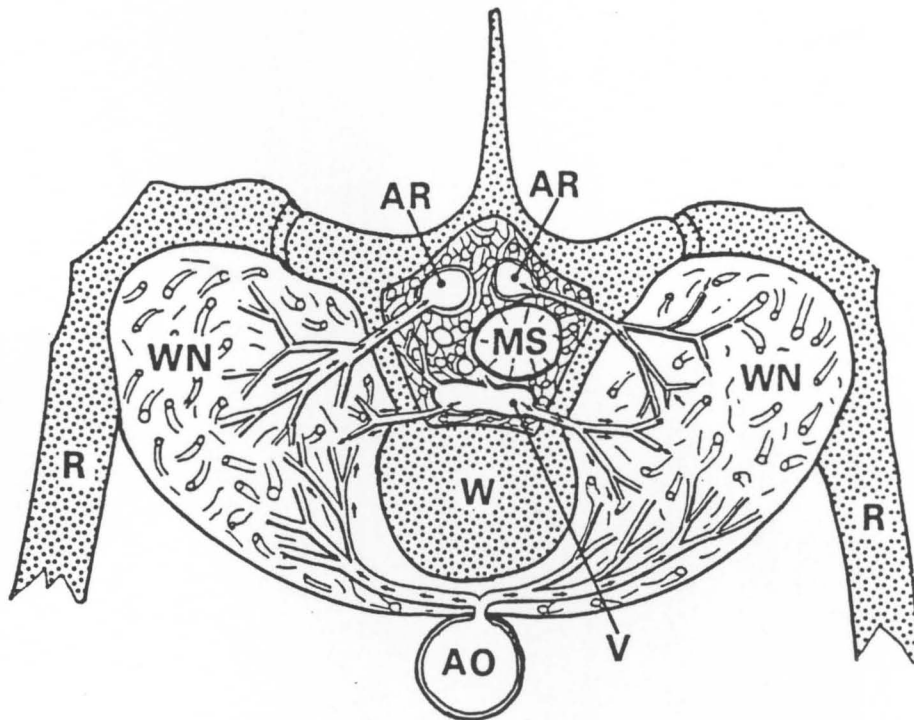
The inner organs of a toothed whale

- A:** Anus - After - anus
AO: Aorta - Hauptschlagader – main artery
BP: Vasa sanguinea - Blutgefäße - blood vessel
BV: Vesica urinaria - Harnblase - urinary bladder
D: Intestinum - Darm - intestines
GU: Uterus bicornis - Gebärmutter - uterus
H: Cor - Herz - heart
K: Renes - Niere - kidney
L: Pulmones - Lunge - lung
LA: Larynx - Kehlkopf - larynx
LE: Hepar - Leber - liver
LI: Lien - Milz - Spleen
M: Gaster - Magen - stomach
MI: Corpus mammae - Milchdrüse - lacteal gland
OP: Os pelvis - Becken - pelvis
W: Vertebra - Wirbel - vertebra
WN: Rete mirabilia - Wundernetz - vascular network

Das Wundernetz

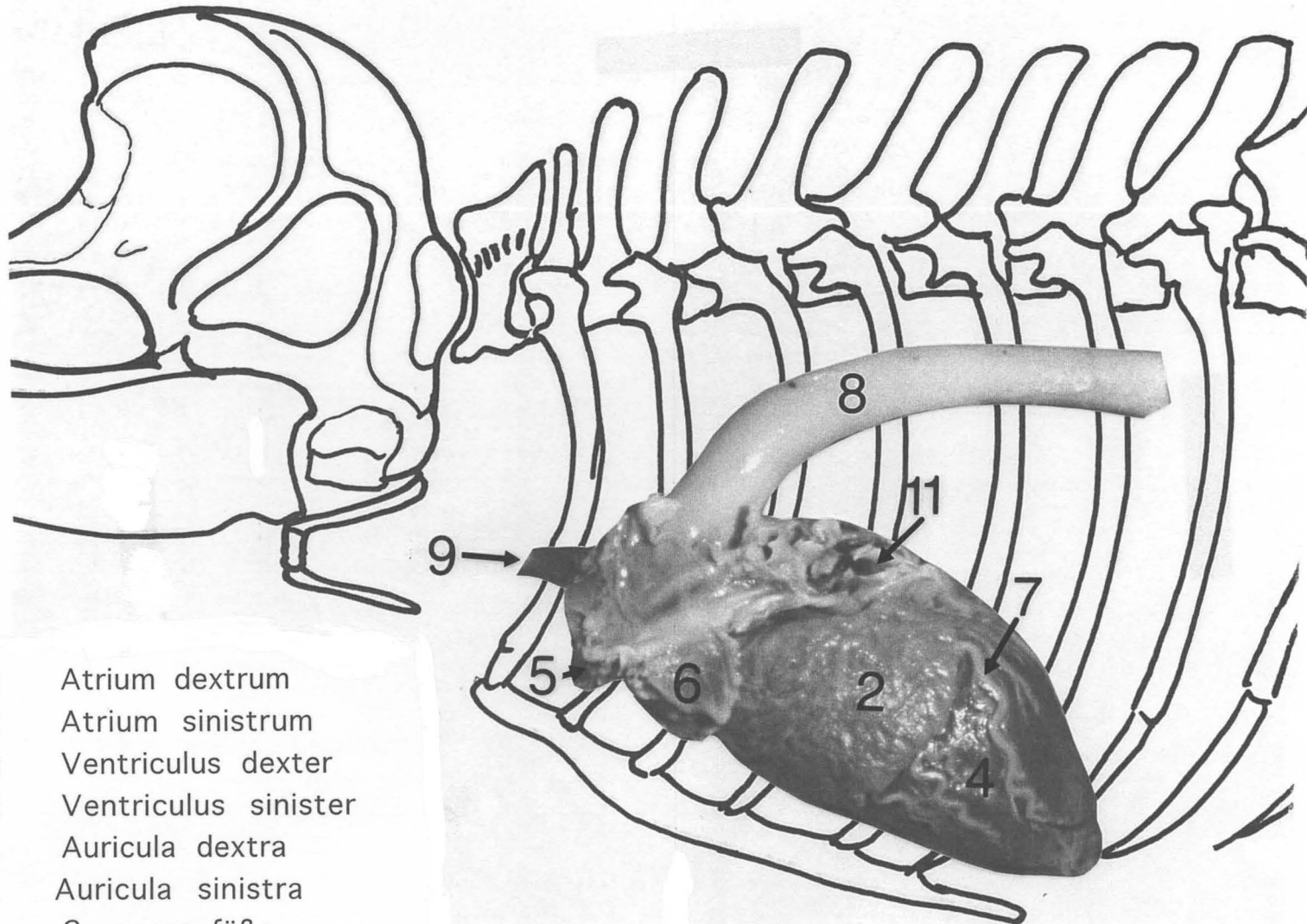
Miraculous network

Bei allen Walen wurden Wundernetze (Rete mirabilia) nachgewiesen. Sie umkleiden das Rückenmark und den caudalen Hirnbereich. Andere Wundernetze liegen im Bereich der Geschlechtsorgane (Scrotum), unterhalb der Schädelbasis und oberhalb der Lunge. Die Wundernetze bestehen aus sich ineinander verschlingenden Venen und Arterien. Das von der Peripherie in den Körper fließende venöse Blut kühlt das in den Körper strömende arterielle Blut ab und verhindert so, dass wichtige Organe überhitzt werden.



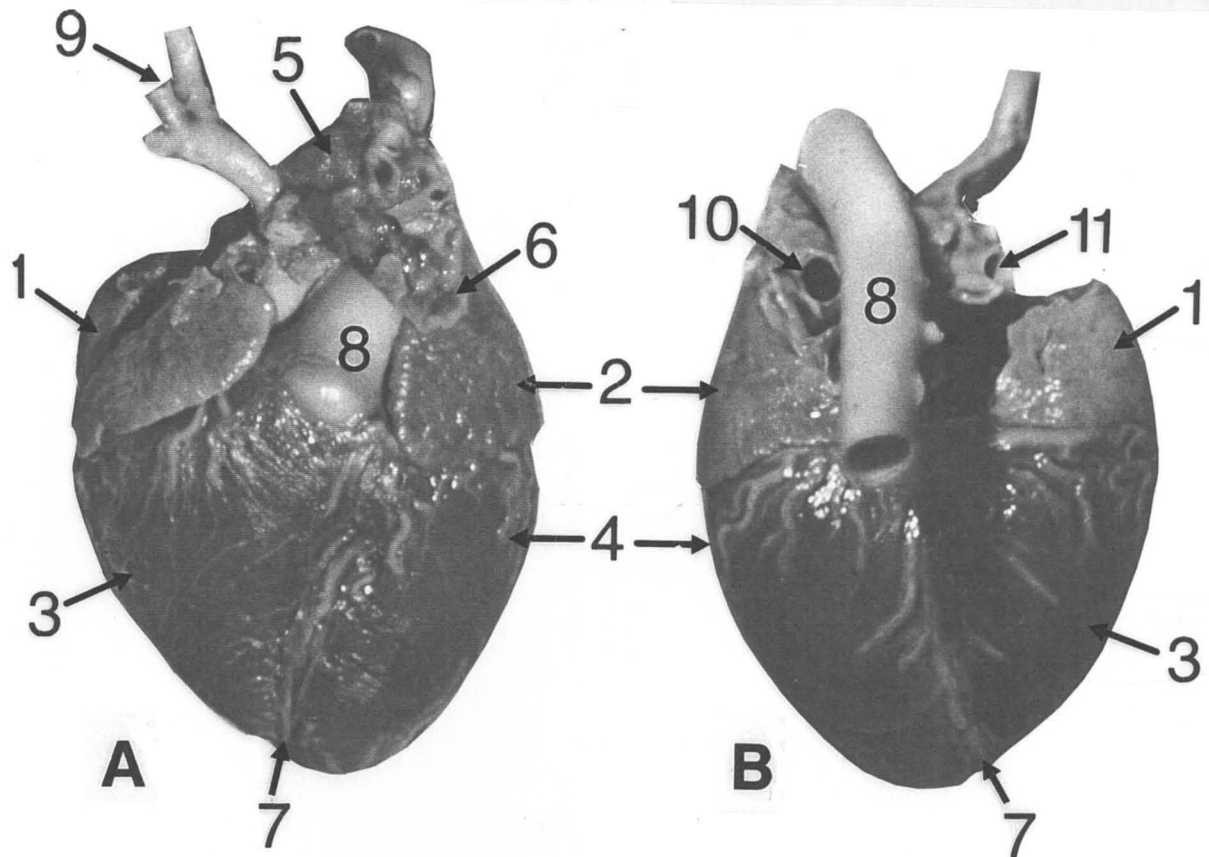
Querschnitt durch das Wundernetze im Bereich des 5. Brustwirbels.

- AO: Aorta - Hauptschlagader - main artery
- AR: Arteria - Arterie - artery
- MS: Medula spinalis - Rückenmark - spinal cord
- R: Costa - Rippe - rib
- V: Vena - Vene - vein
- W: Vertebra - Wirbel - vertebra
- WN: Rete mirabilia - Wundernetz - miraculous network



- 1: Atrium dextrum
- 2: Atrium sinistrum
- 3: Ventriculus dexter
- 4: Ventriculus sinister
- 5: Auricula dextra
- 6: Auricula sinistra
- 7: Coronargefäße
- 8: Aorta
- 9: Arteria carotis
- 10: Vena pulmonales
- 11: Arteria pulmonalis

Das Herz eines Schweinswals
 The heart of a harbour porpoise
 (Foto: Baum)



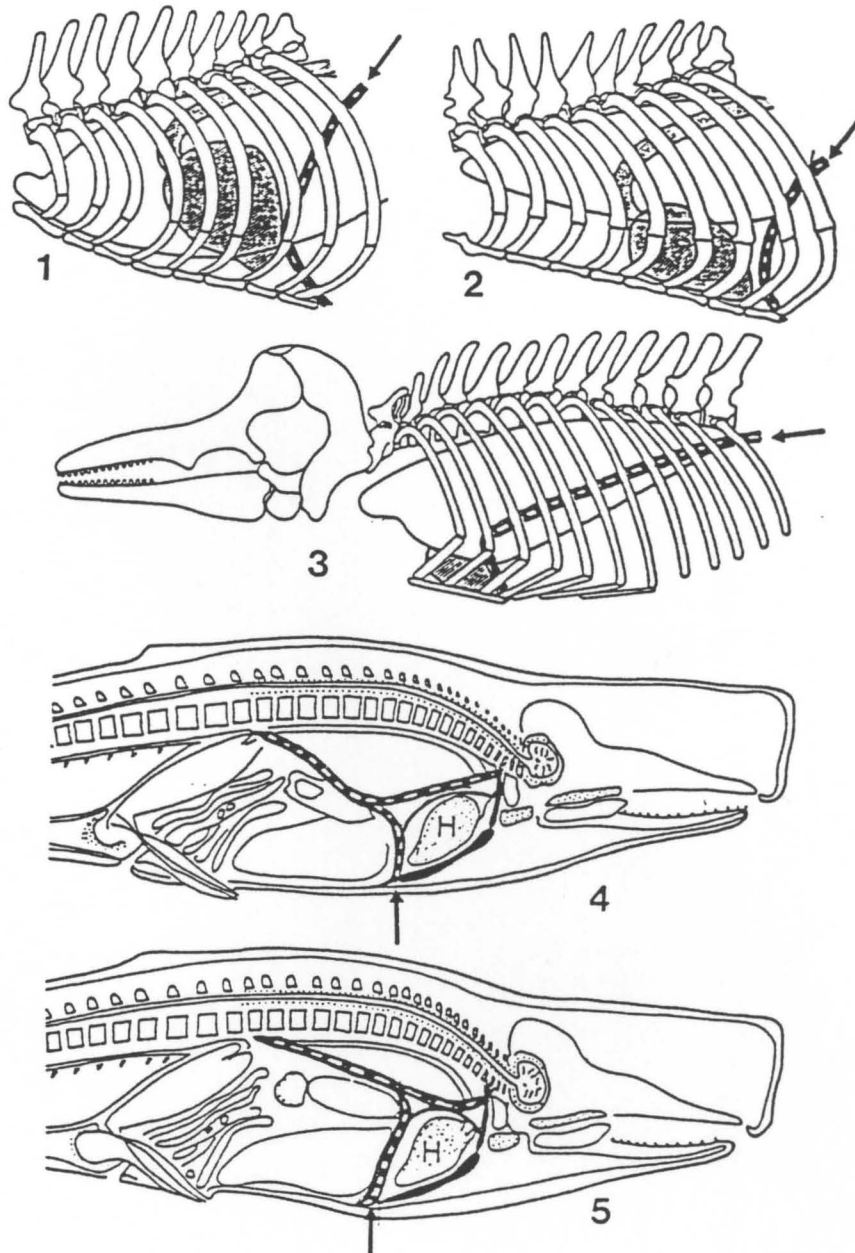
Das Herz (Cor) eines Schweinswals
The heart (Cor) of a harbour porpoise

A: Ventralansicht, **B:** Dorsalansicht

(Foto: Baum)

- 1: Atrium dextrum
- 2: Atrium sinistrum
- 3: Ventriculus dexter
- 4: Ventriculus sinister
- 5: Auricula dextra
- 6: Auricula sinistra
- 7: Coronargefäße
- 8: Aorta
- 9: Arteria carotis
- 10: Vena pulmonales
- 11: Arteria pulmonalis

Herz und Zwerchfell Heart and diaphragm



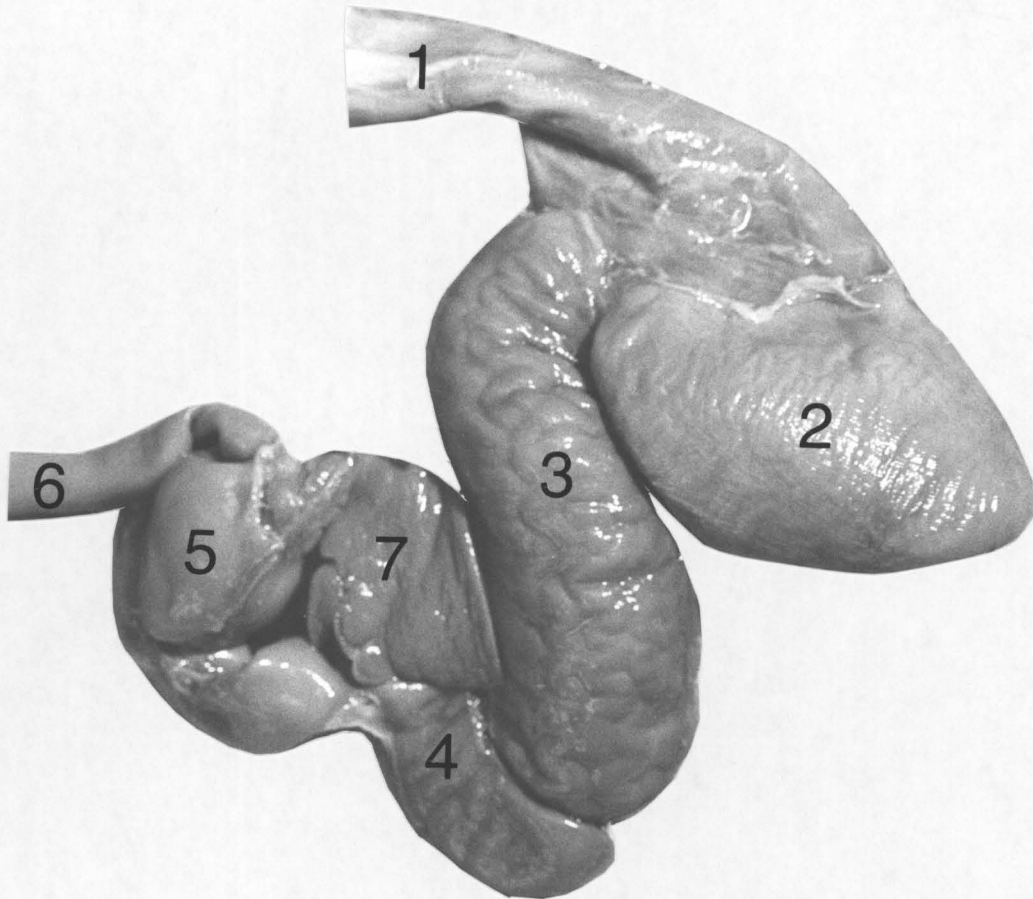
Die Lage des Herzens und des Zwerchfells (Diaphragma) beim Haushund (1), bei einer Katze (2), beim Schweinswal (3) (Slijper, 1973) und beim Pottwal (4 und 5; Behrmann). Durch die horizontale Verlagerung vergrößerte sich das Zwerchfell der Wale, wodurch mehr Atemluft ausgetauscht werden kann. Gleichzeitig schützt das Zwerchfell das Herz. Wird der Bauch eingedrückt (5), strafft sich das Zwerchfell und zieht den Herzbeutel vom Herzen ab.

Der vordere Darmtrakt eines Schweinswals

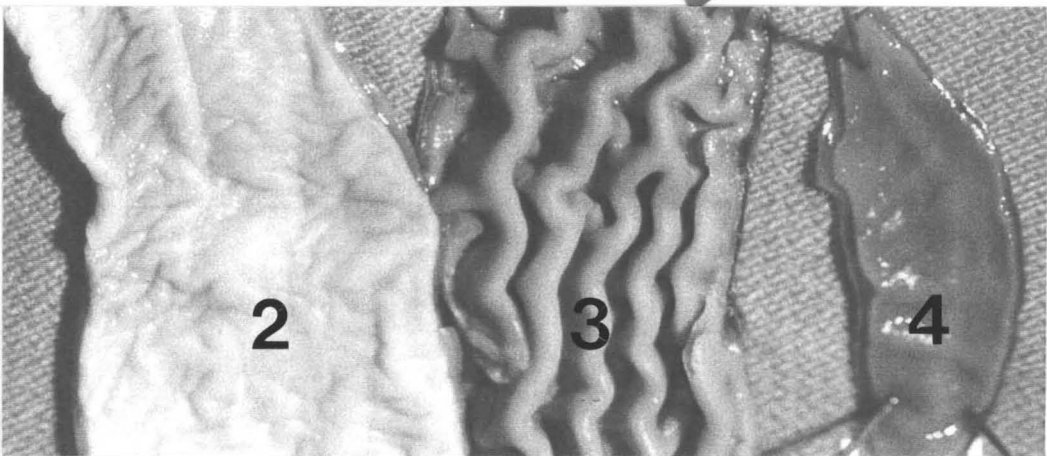
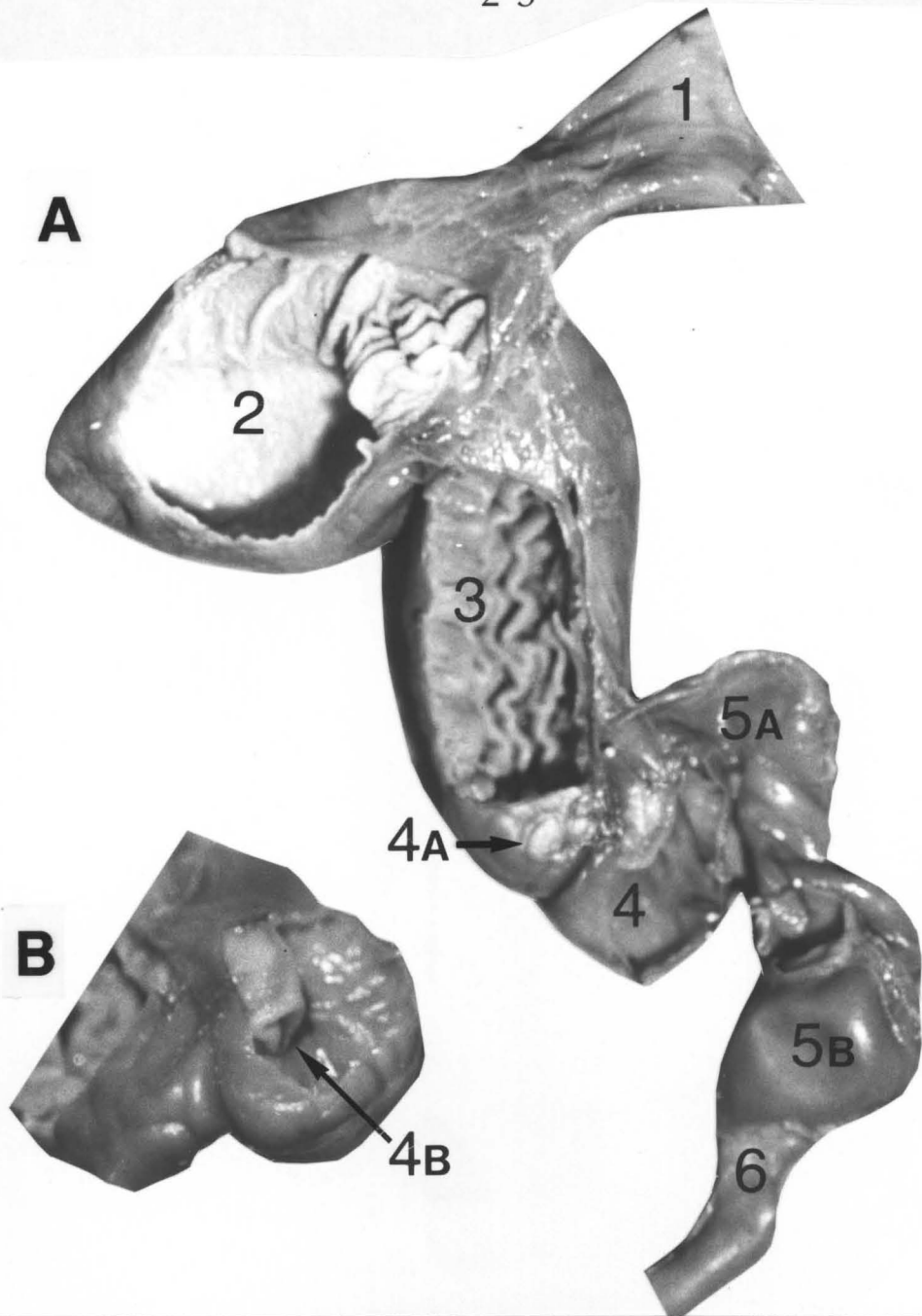
The frontal tract of the stomach of the harbour porpoise

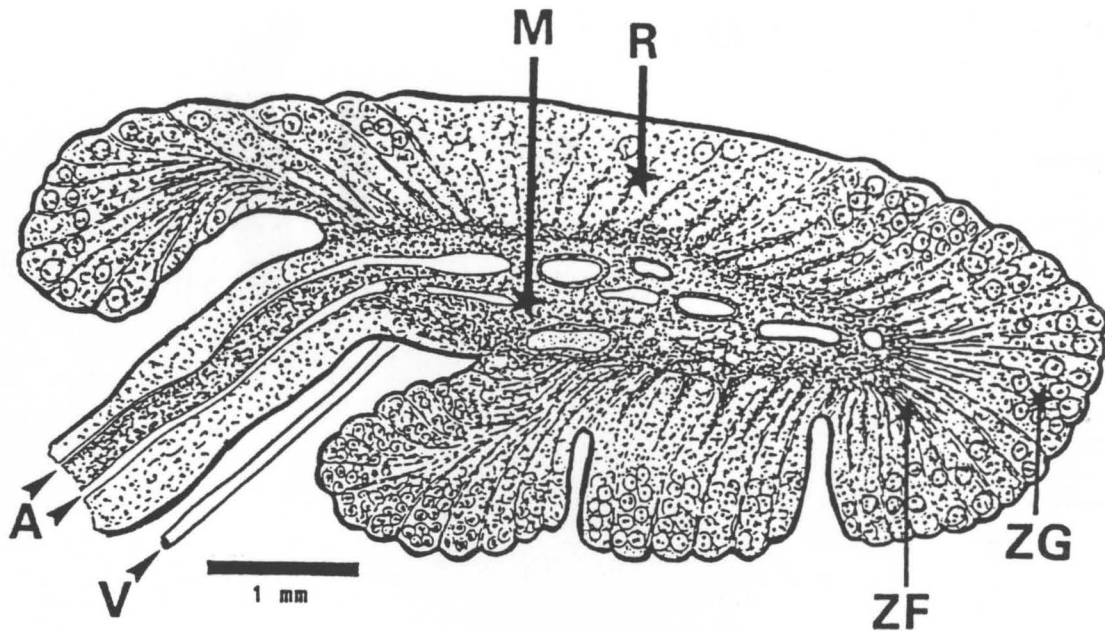
(Foto: Baum)

Die Speiseröhre umrundet den Kehlkopf und wird ventral durch Ausweitung zu einem Kropf. Dieser wurde früher als Vormagen beschrieben, woraus man dann den Rückschluss zog, dass die Wale von den Herbivoren abstammen. Hauptmagen und Nachmagen ähneln aber den Mägen von Carnivoren.



- 1: Oesophagus - Speiseröhre - gullest
- 2: Inguvis - Kropf - goitre
- 3: Corpus ventriculi - Hauptmagen - main stomach
- 4: Pylorus - Nachmagen - pyloric stomach
- 4A: Musculus sphincter pylori - Magenschließmuskel - pyloi-muscle
- 4B: Vulva pylori - Magenausgang - exit of the stomach
- 5: Duodenum -Zwölffingerdarm - duodenum
- A: pars superior B: pars descendens
- 6: Intestinum - Dünndarm - intestine
- 7: Lien - Milz - spleen



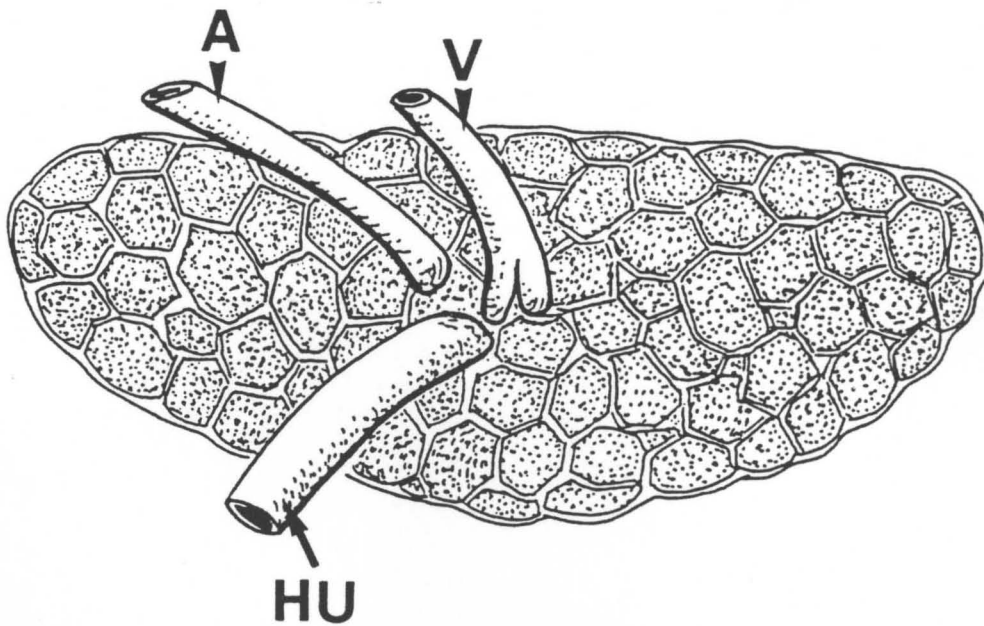


Nebenniere

Adrenal gland

Längsschnittmodell einer Nebenniere (Glandula suprarenalis).

- A:** Arteria auprarenalis - Arterie – adrenal artery
- M:** Medulla adrenalis - Mark – adrenal marrow
- R:** Cortex adrenalis - Rinde – adrenal cortex
- V:** Vena supraadrenalis - Vene – supraadrenal vein
- ZF:** Zona fasciculata - Markstrahlen - marrow-beams
- ZG:** Zona glomerula – Bowman´sche Kapsel - glomerul capsule (Behrmann)



Niere

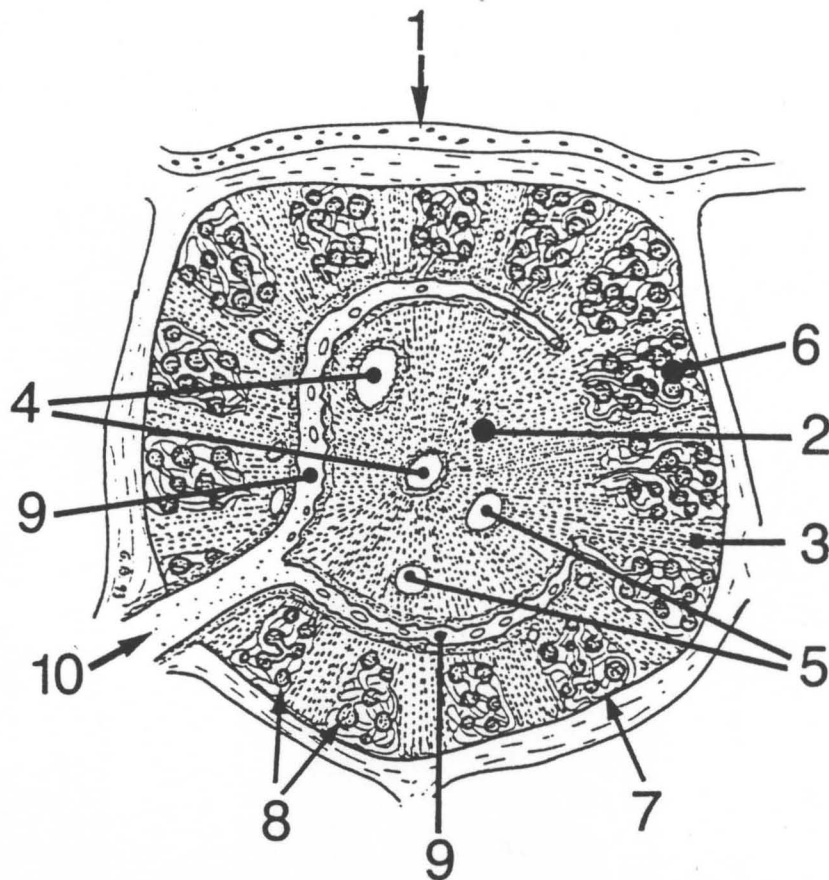
Kidney

Die Niere (Renes) der Wale besteht aus vielen kleinen Nieren (Renculi). Durch diese Segmentierung vergrößert sich die Oberfläche, was die Wale in die Lage versetzt, größere Mengen Blut zu reinigen.

A: Arteria renalis - Nierenarterie - kidney artery

HU: Urethra - Harnleiter - urethra

V: Vena renalis - Nierenvene - kidney-vein
(Behrmann)



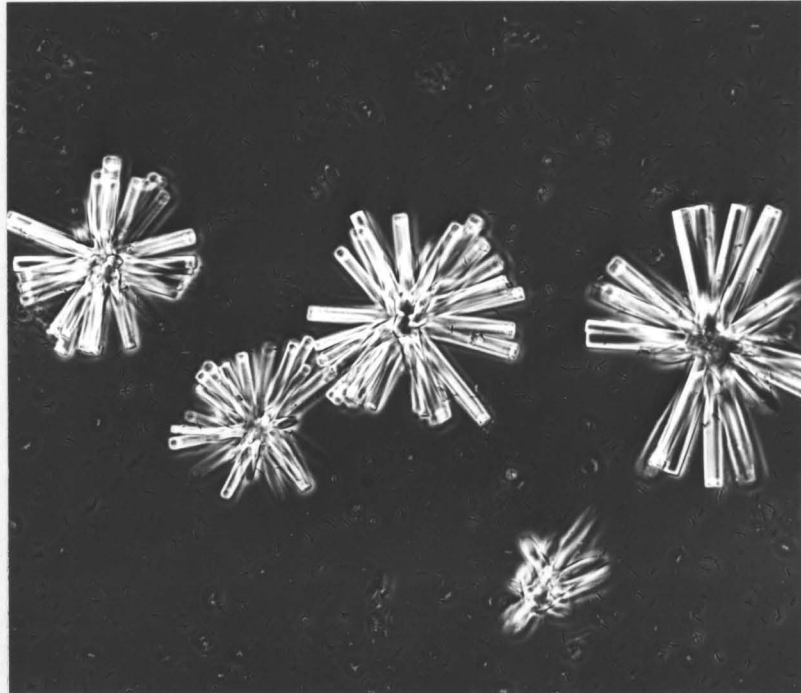
Modell einer kleinen Niere (Renculus).

Model of a small kidney (Renculus)

(Behrmann)

Jede kleine Niere ist ein selbstständiges Organ.

- 1: Capsula fibrosa - Organkapsel - organ-capsule
- 2: Medula/Pyramide - Nierenmark - kidney-marrow
- 3: Columnae renalis - Markstrahlen - marrow-beams
- 4: Arteria renalis - Nierenarterie - kidney-artery
- 5: Vena renales - Nierenvene - kidney-vein
- 6: Corpusculum renale / Nephron - Nierenkörperchen - kidney corpuscle
- 7: Kapillarplexus - Schleifen - kidney windings
- 8: Glomerulus - Glomeruluskapsel - glomerule capsule
- 9: Pelvis renalis - Nierenbecken - kidney pelvis
- 10: Urethra - Harnleiter - urinal tube



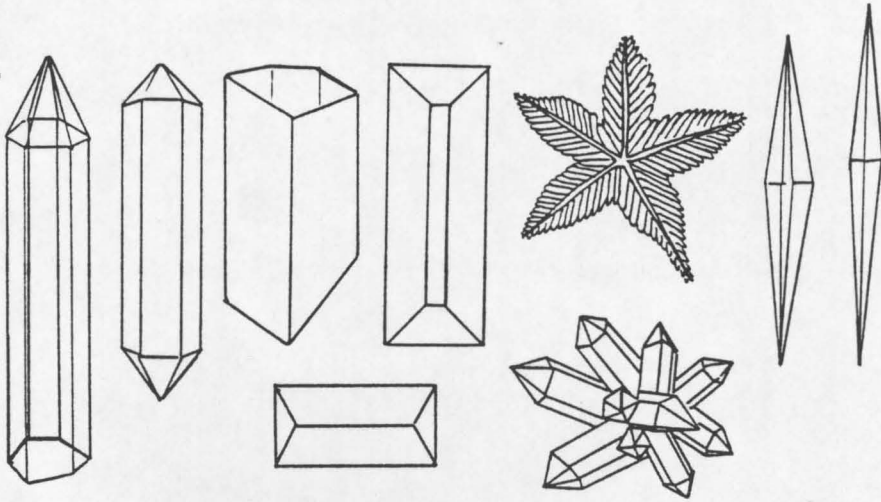
Calciumphosphat
(Foto: Behrmann)

Urinsedimente
Uric sediments
(Behrmann)

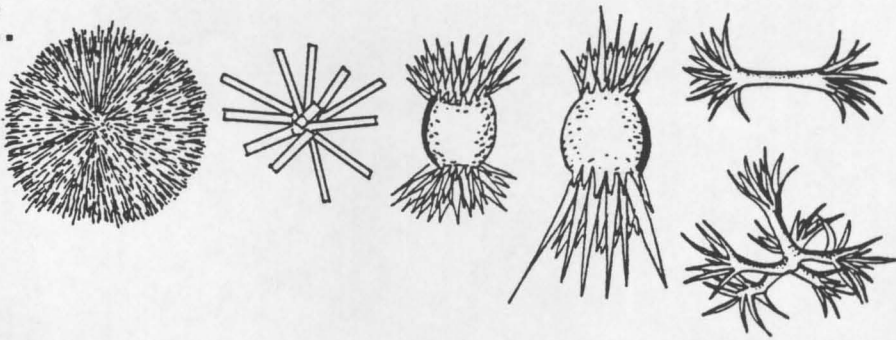
- 1: Ammonium-Magnesium-Phosphat
- 2: Calciumphosphat
- 3: Reste von Granulozyten oder Epithelzellen
- 4: Calciumoxalate
- 5: ornithinartige Kristalle
- 6: Harnsäurekristalle
- 7: Cysteine
- 8: Cholesterine
- 9: Hippursäure
- 10: nicht identifizierte Kristalle
- 11: Sulfonamide

Die Urinsedimente der Wale sind, mit der Ausnahme von 5, mit denen von Säugern vergleichbar.

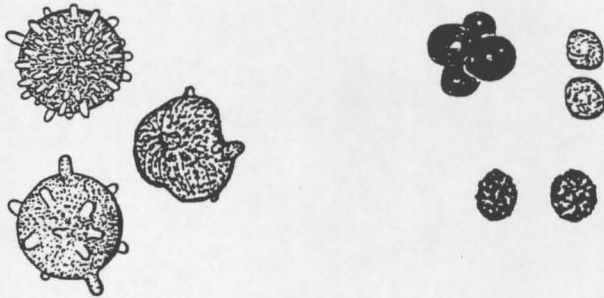
1.



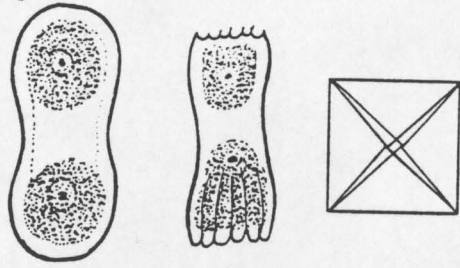
2.



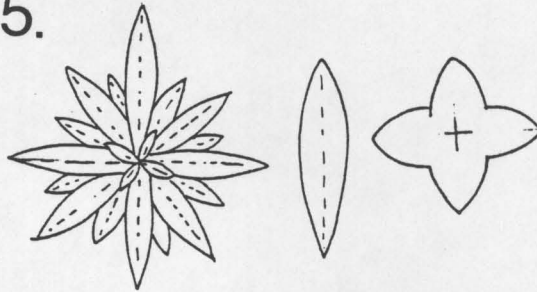
3.



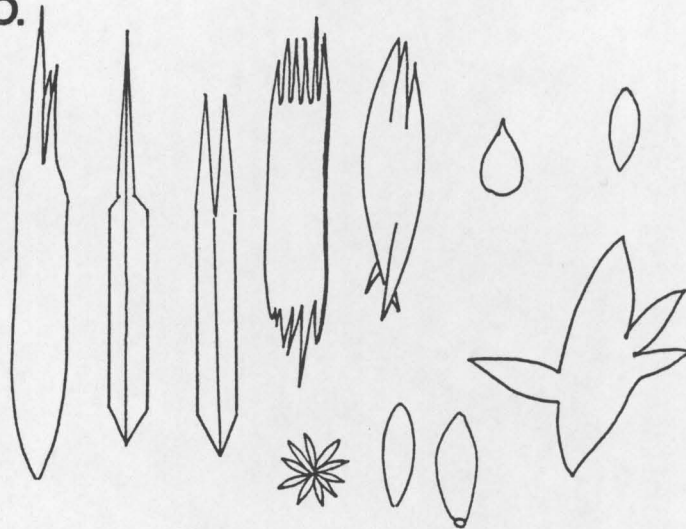
4.

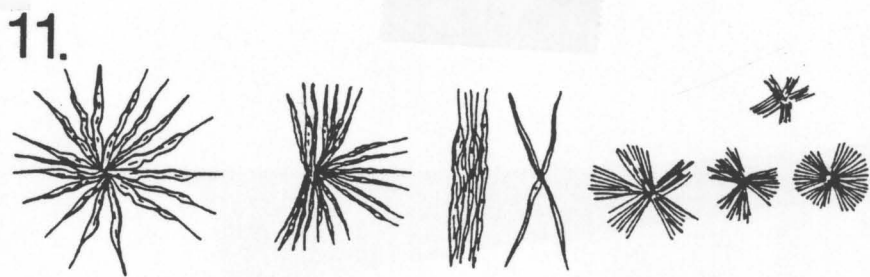
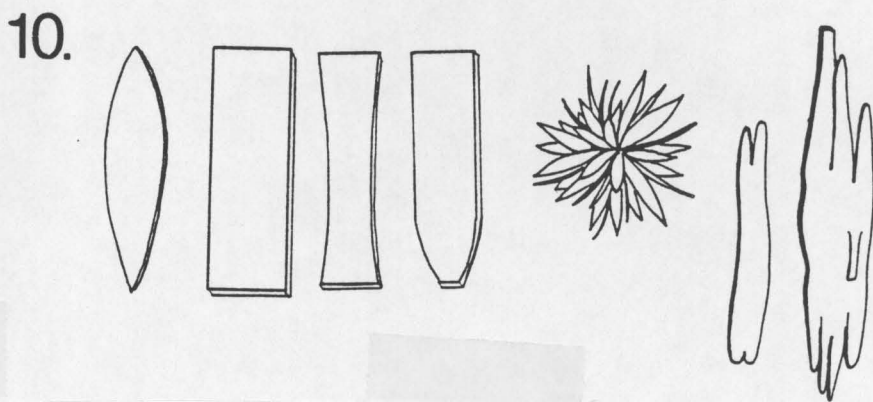
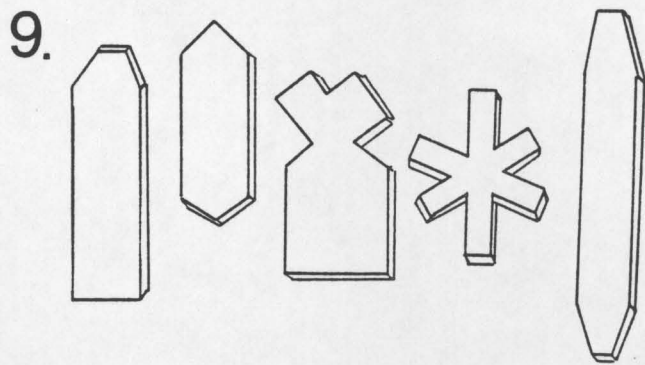
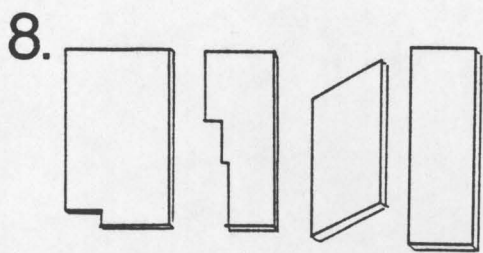
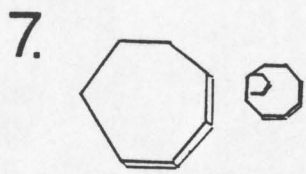


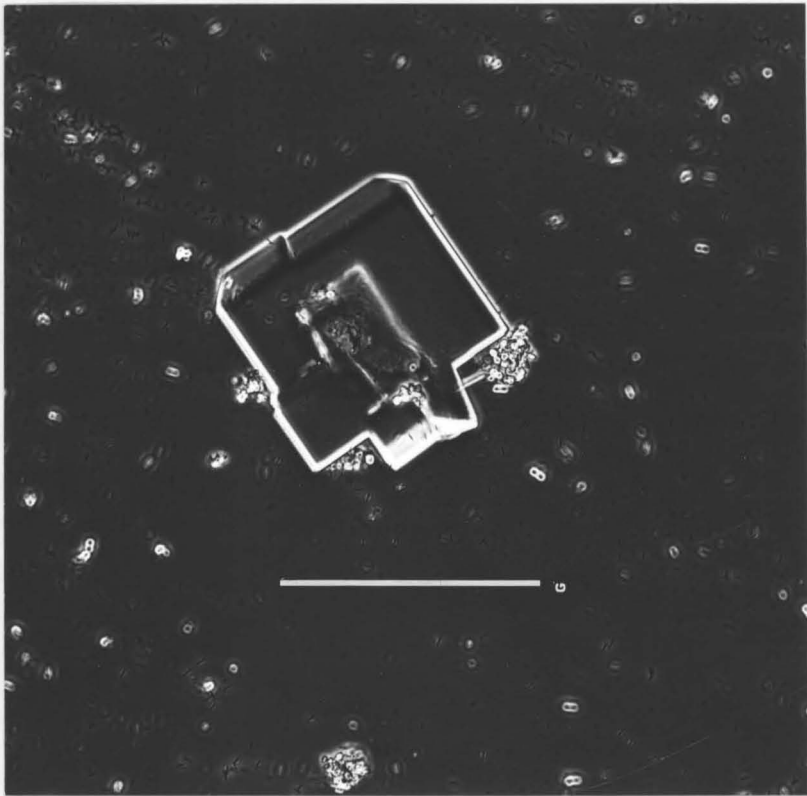
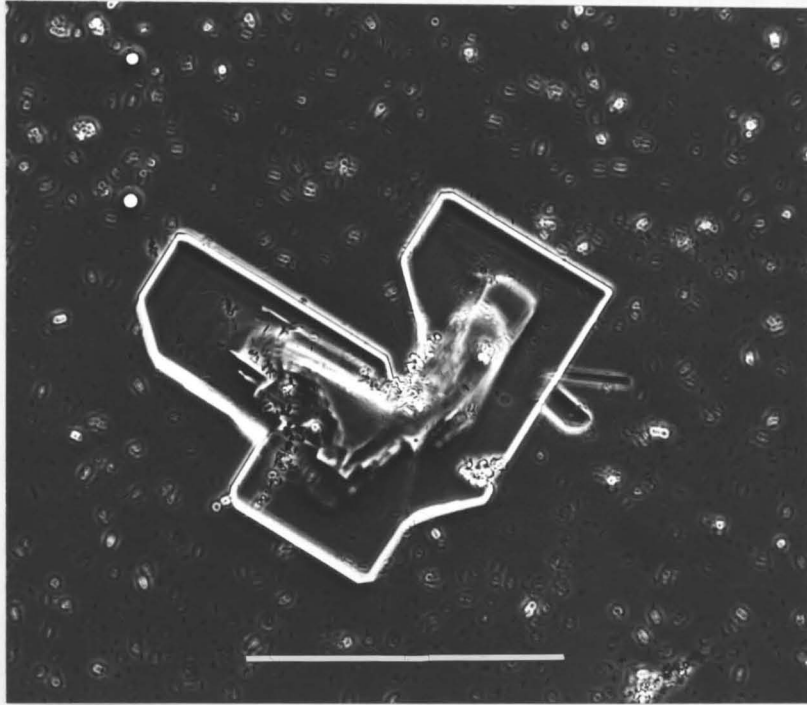
5.



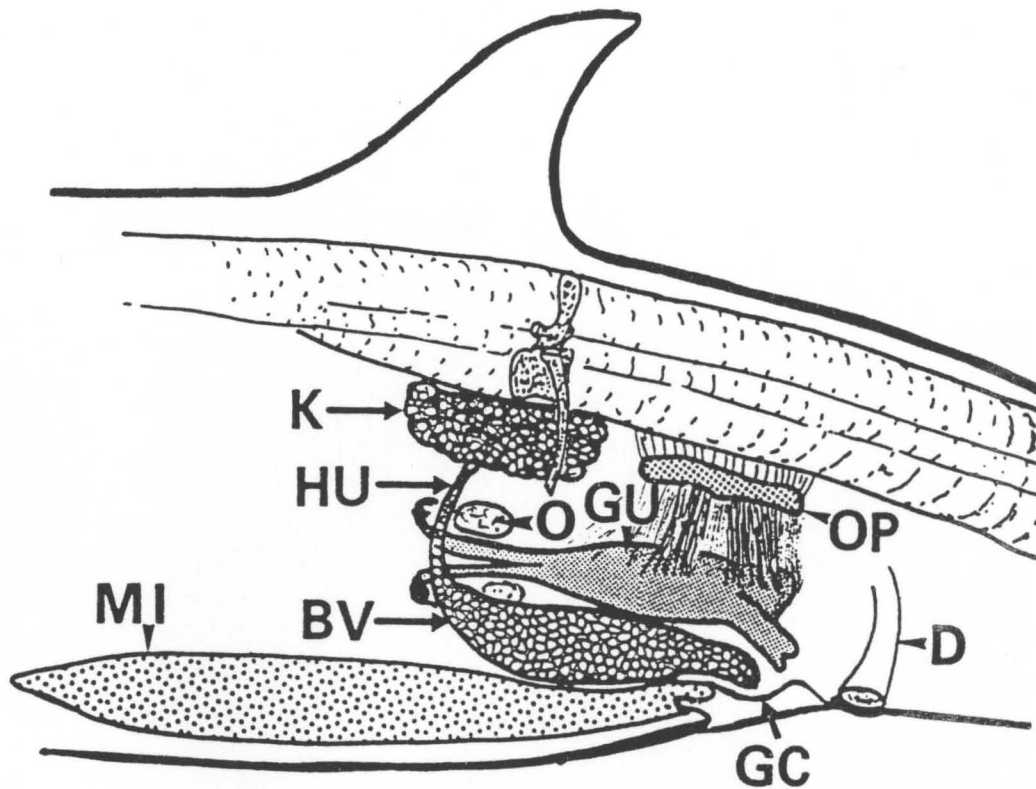
6.







Cholesterinplättchen, Maßstab 100 μm .
(Foto: Behrmann)



Das weibliche Reproduktionsorgan

The female reproduction organ

(Behrmann)

BV: Vesica urinaria - Harnblase - uric bladder

D: Colon sigmoideum - Mastdarm - rectum

GC: Glans clitoridis - Klitoris - clitoris

GU: Uterus bicornis - Gebärmutter - uterus

HU: Ureter - Harnleiter - ureter

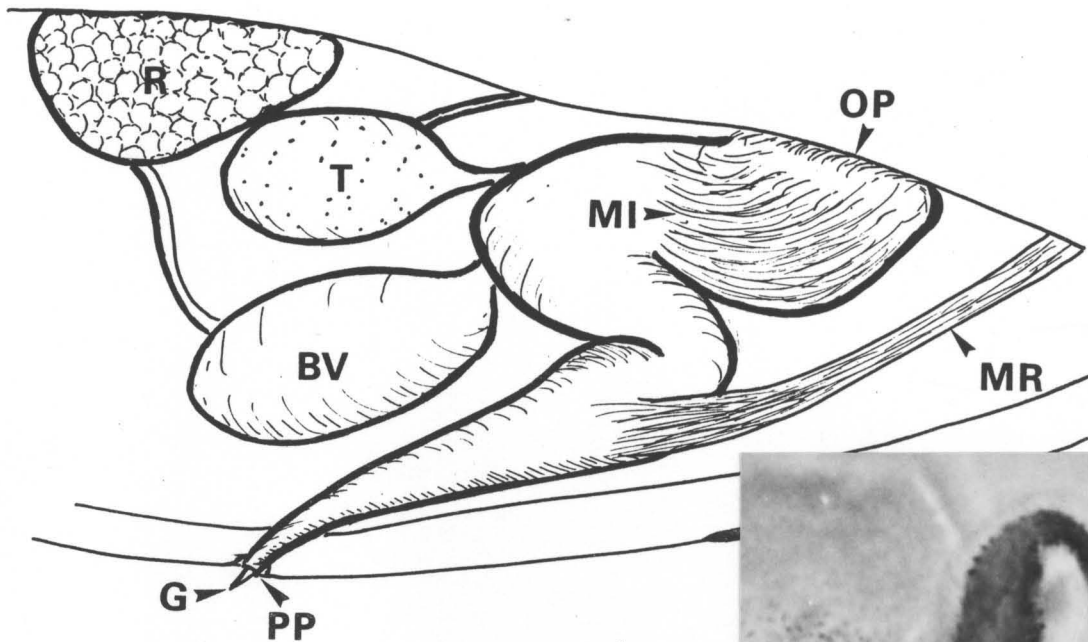
K: Renes - Niere - kidney

MI: Corpus mammae - Milchdrüse - lacteal gland

MU: Ligamentae teres uteri - Mutterbänder -
pelvis uterin facies

O: Ovarium - Eierstock - ovar

OP: Os pelvis - Becken - pelvis



Das männliche Reproduktionsorgan

The male reproduction organ

(Behrmann)

BV: Vesica urinaria - Harnblase -
uric bladder

G: Glans penis - Glans - glans

MI: Musculus ischia cavernosum -
Penismuskel - penis muscle

MR: Musculus retractorius -
Rückziehmuskel - retractor muscle

OP: Os pelvis - Becken - pelvis

PP: Frenulum praeputii - Vorhaut -
prepuce

R: Renes - Niere - kidney

T: Testes - Hoden - testes

Die Hoden liegen "oberhalb" der Harnblase!

Die Glans ist mit Chemorezeptoren besetzt.



Sinneshaar auf
der Glans eines
Schweinswals.
Maßstab 10 μm
(Foto: Behrmann)

Die Walhaut - Integumentum commune

The whale-skin - Integumentum commune

Epidermis - Oberhaut - epidermis

- 1: Stratum granulosum - hornhautartige Schicht - parakeratotic layer
- 2: Stratum spinosum - Stachelzellenschicht - prickle cell layer
- 3: Stratum germinativum - Basalschicht - basal layer

Tela subcutana - Unterhaut - corium

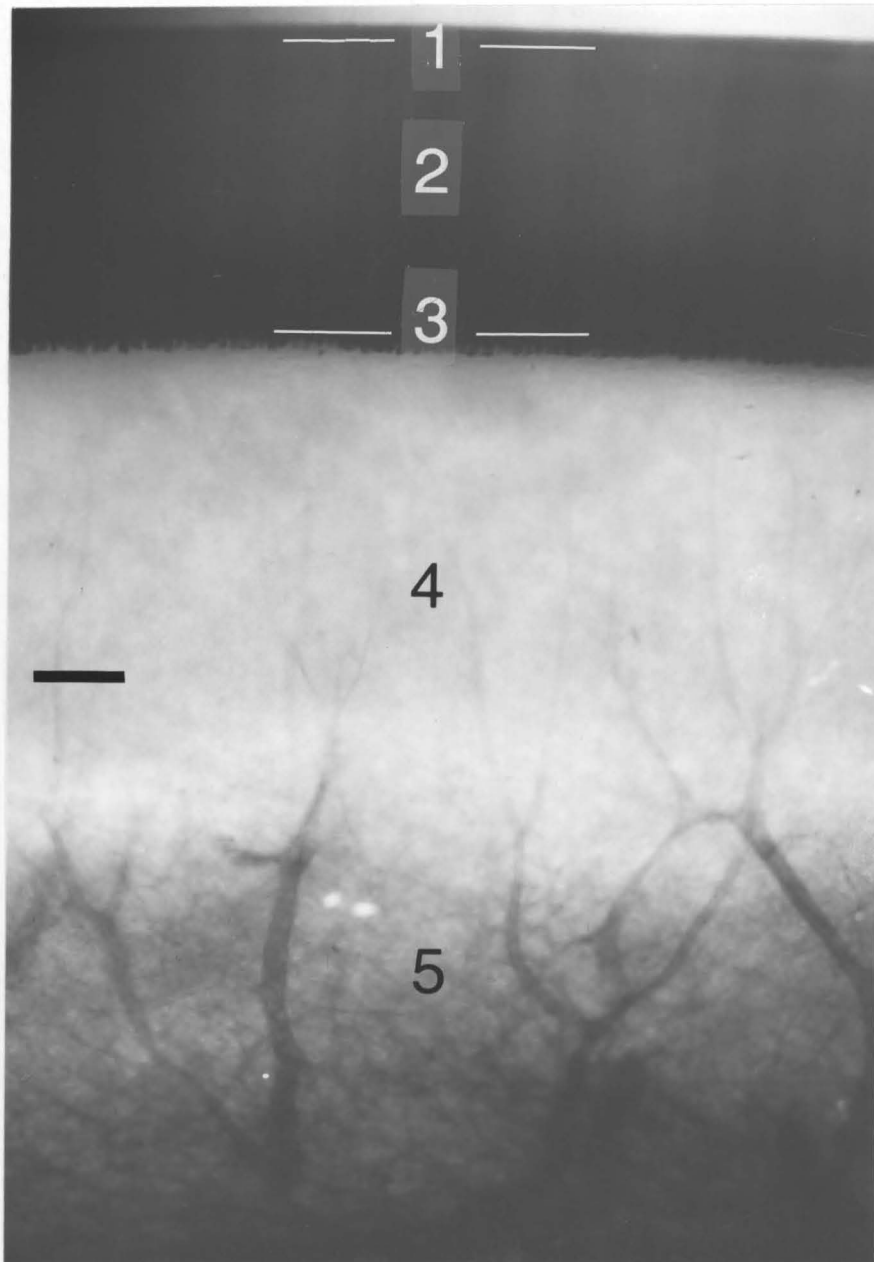
- 4: Stratum papiliosum - Nagelzellenschicht - peg-like layer
- 5: Stratum reticulare - Lederhaut - cutis

Das Bindegewebenetz in der Unterhaut ist sehr weiträumig, so dass dort Fett gespeichert werden kann.

Die Wale besitzen eine eigene Hautform, die mit der anderer Wirbeltiere schwer vergleichbar ist. Sie hat eine gummiartige Konsistenz und enthält keine Schweißdrüsen. Nur zwei Hautschichten sind deutlich voneinander zu unterscheiden, die dunkle Oberhaut (Epidermis) und die mit Fett angereicherte Unterhaut (Tela subcutana). Die bis zu 5 mm dicke Oberhaut ist sehr dunkel, weil hier die Melaninkörnchen durch das Schrumpfen der Zellen sehr dicht liegen.

Die aus sehr weitmaschigem, straffen Bindegewebe bestehende Lederhaut enthält viel Fett und geht unsichtbar in eine Speckschicht über, die bei großen Walen über 40 cm dick sein kann. Die Lederhaut ist von vielen Blutgefäßen durchzogen, deren Kapillare bis in die Nagelzellenschicht ziehen.

Die größeren Blutgefäße in der Lederhaut (5) sind verschließbar, was den Blutfluss in die äußere Hautschichten verhindern kann. Damit können die Wale ihre Körpertemperatur regeln.



Die Haut eines Schweinswals

The skin of a harbour porpoise

Maßstab 1 mm

(Foto: Behrmann)

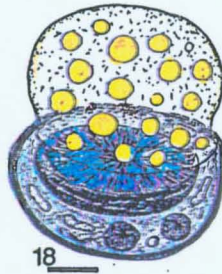
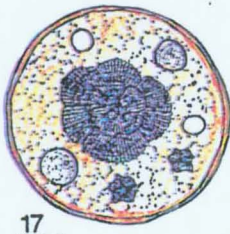
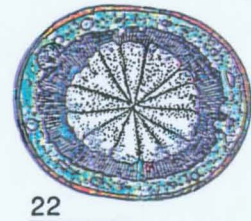
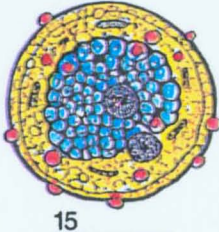
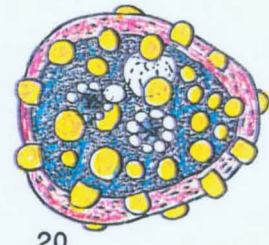
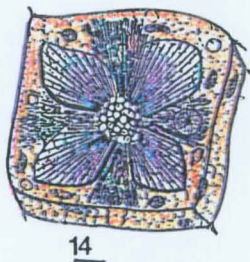
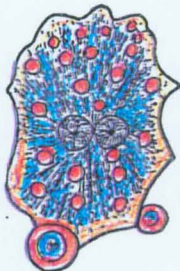
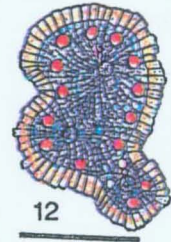
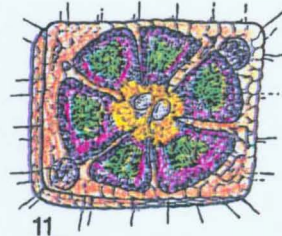
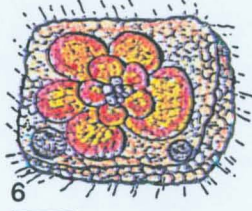
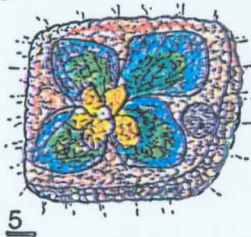
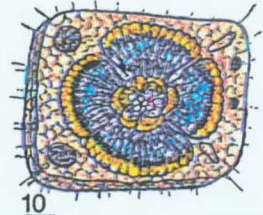
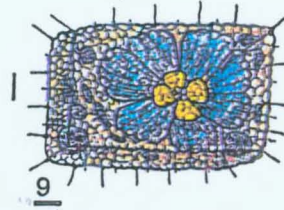
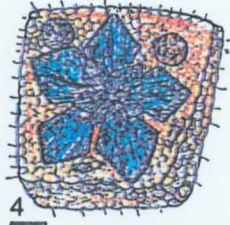
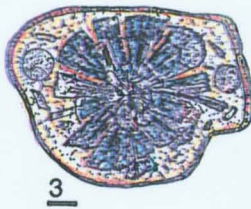
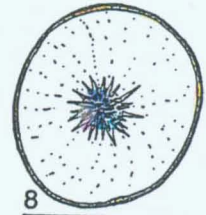
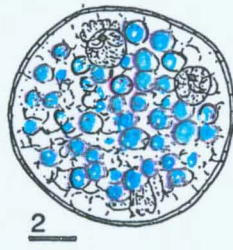
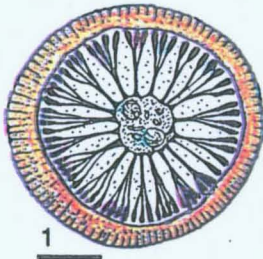
Der ständige Aufenthalt im Wasser stellt hohe Anforderungen an die Haut. Wie die Wale ihre Haut schützen finden Sie in einem Anhang.

Die Haut der Wale ist reich innerviert, und die freien Nerven ziehen bis in die äußersten Schichten der Oberhaut. In der Haut liegen viele Nervenendkörperchen (Behrmann, 1992), mit denen die Wale sich über den Tastsinn orientieren. Besonders sensibel ist die Zungenhaut, in der Rezeptoren liegen, mit denen elektrische und auch magnetische Wellen erfasst werden können (Behrmann, 1988, 1990).

Farbkörperchen in der Walhaut **Colour-corpuscles in the whale-skin**

Die dunkle Hautfarbe der Wale entsteht durch Anreicherung mit Melaninkörnchen, die von speziellen Zellen produziert werden. Einige Wale sehen aber auch sehr bunt aus, worauf die Namen Weißwal, Blauwal und Braunfisch hinweisen. Die bunten Farben entstehen in Farbzellen (Chromatozyten) und werden auf Farbträgern (Chromatophoren) abgelagert. Laut gängiger Lehrmeinung dürften Farbträger nur bei Tiergruppen unterhalb der Säuger zu finden sein (Romer, 1959, 1971). Die Farben der Wale entstehen also nicht nur durch säugetierartige Melaninpigmente, sondern auch durch Pigmente (Chromatosome), die mit solchen von Fischen, Amphibien und Reptilien vergleichbar sind (Behrmann, 1998). Durch Überlagerungen der Pigmente in den Farbzellen entstehen die unterschiedlichsten Farbtöne. Das strahlende Weiß der Bauchseite oder der weißen Flecken an den Flanken beruhen auf Kristallen der Harnsäure.

Einzigartig sind die Iridophoren in der Unterkieferspitze der Schweinswale und an der Finne der Schwertwale. Hier entstanden aus serezinierenden Zellen Reflektoren, die auf Grund der winkeligen Anordnung von Harnsäurekristallen wie Rückstrahler funktionieren (Behrmann, 1998).

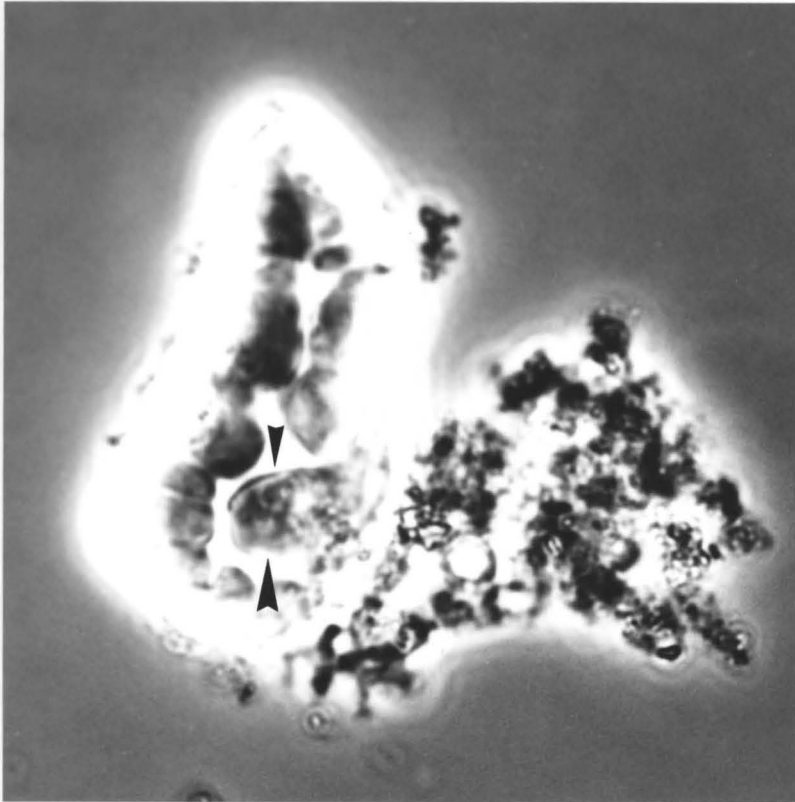


Farbzellen aus der Walhaut
Colour cells from the
whale-skin

Kalkkonkretionen in der Walhaut

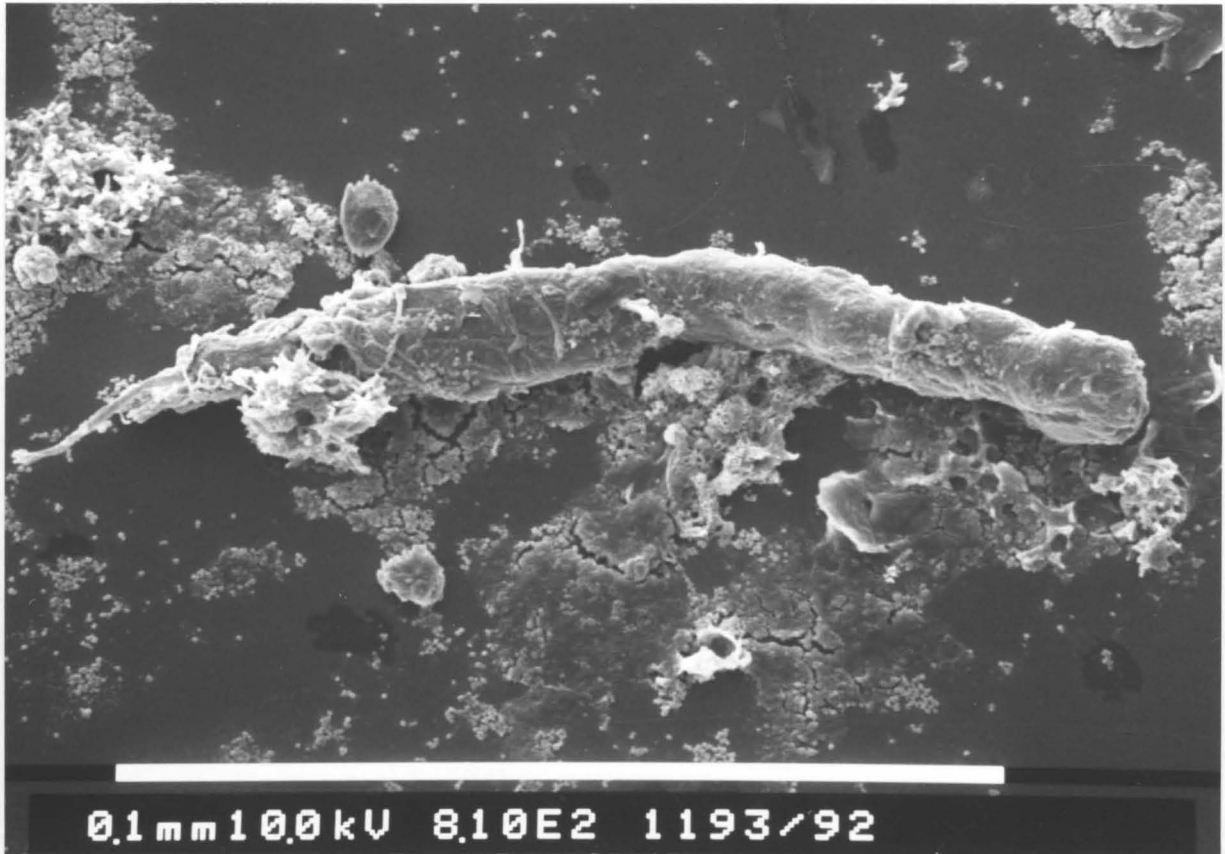
Calcareous-concretions in the whale-skin

Die Walhaut enthält auch viel Kalk, der sich konkretisieren kann. Die Kalkkonkretionen werden selten größer als 100 μm , können blätterförmig, stachelförmig oder kugelig sein und bestehen hauptsächlich aus Kalzium mit einem sehr geringen Anteil von Magnesium, Phosphor und Silicium (Behrmann, 1996a). In der Walhaut wurden bis zu 500 μm große Kalkkonkretionen gefunden, in denen Fremdkörper eingebettet sind.



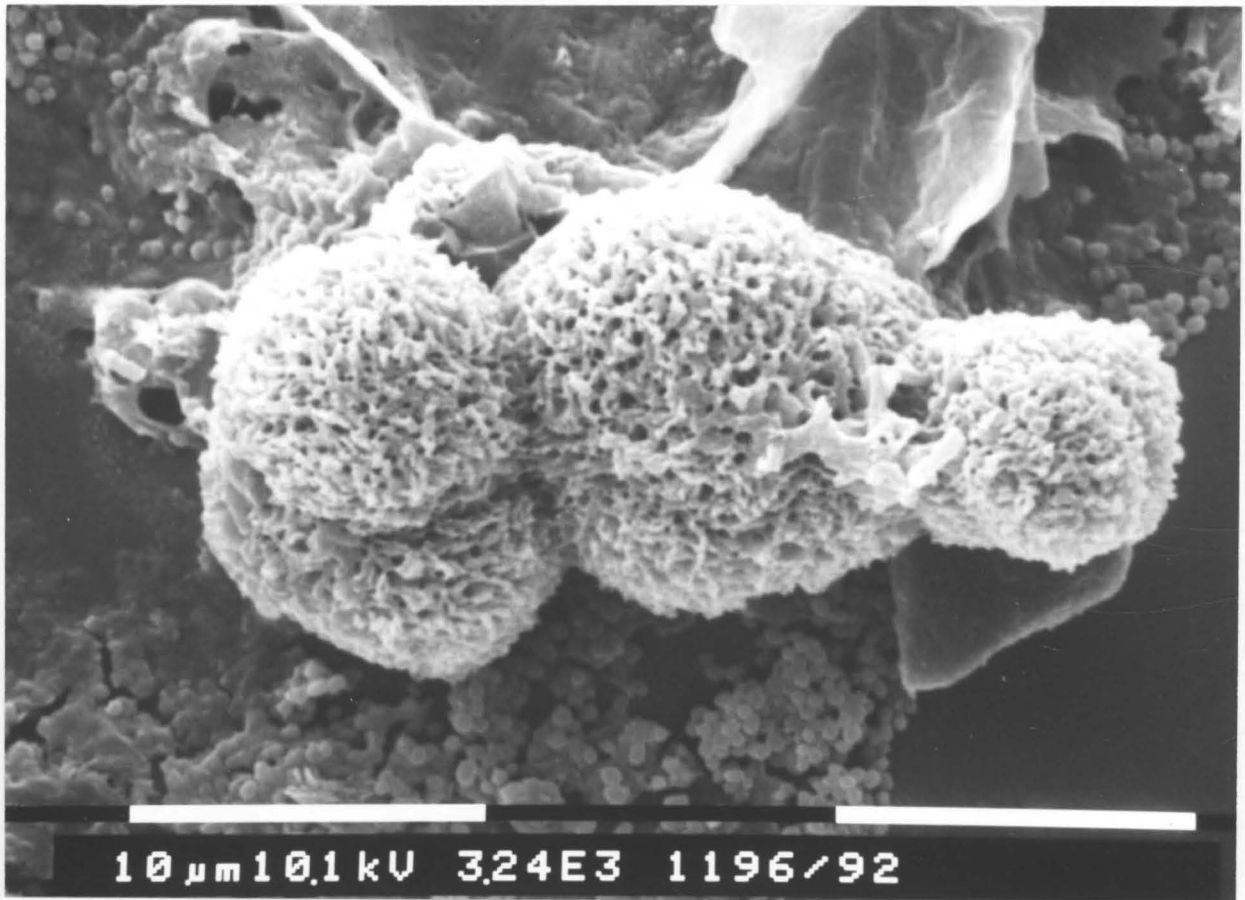
Ein Stein (\blacktriangleleft) ist der Keim dieser Kalkkonkretion.
Länge 80 μm . (Foto: Behrmann)

A stone (\blacktriangleleft) is the germ of this calcareous concretion.
Length 80 μm . (Foto: Behrmann)



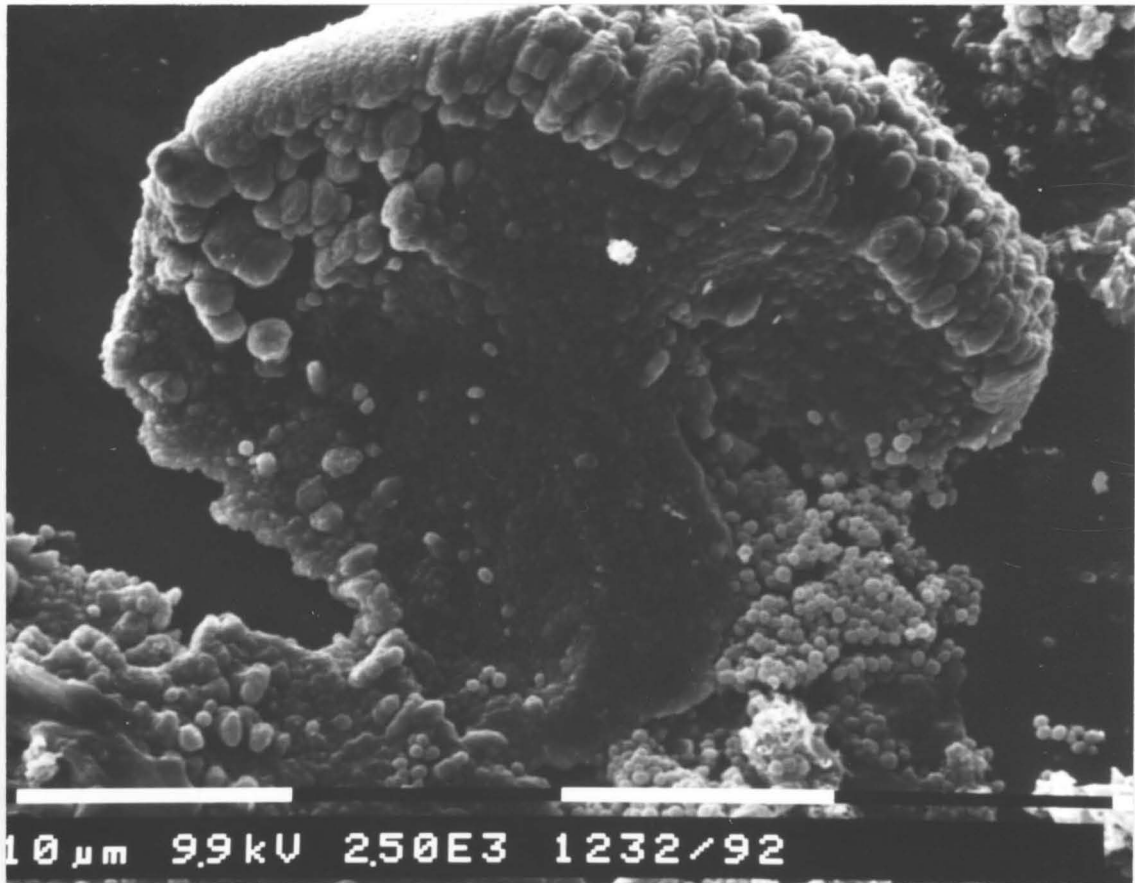
Von dem in Kalkkörnchen eingebetteten Wurm ist nur der Schwanz zu sehen.
(Foto: Bock)

From the worm covered with calcareous granules only the tail is visible.
(Foto: Bock)



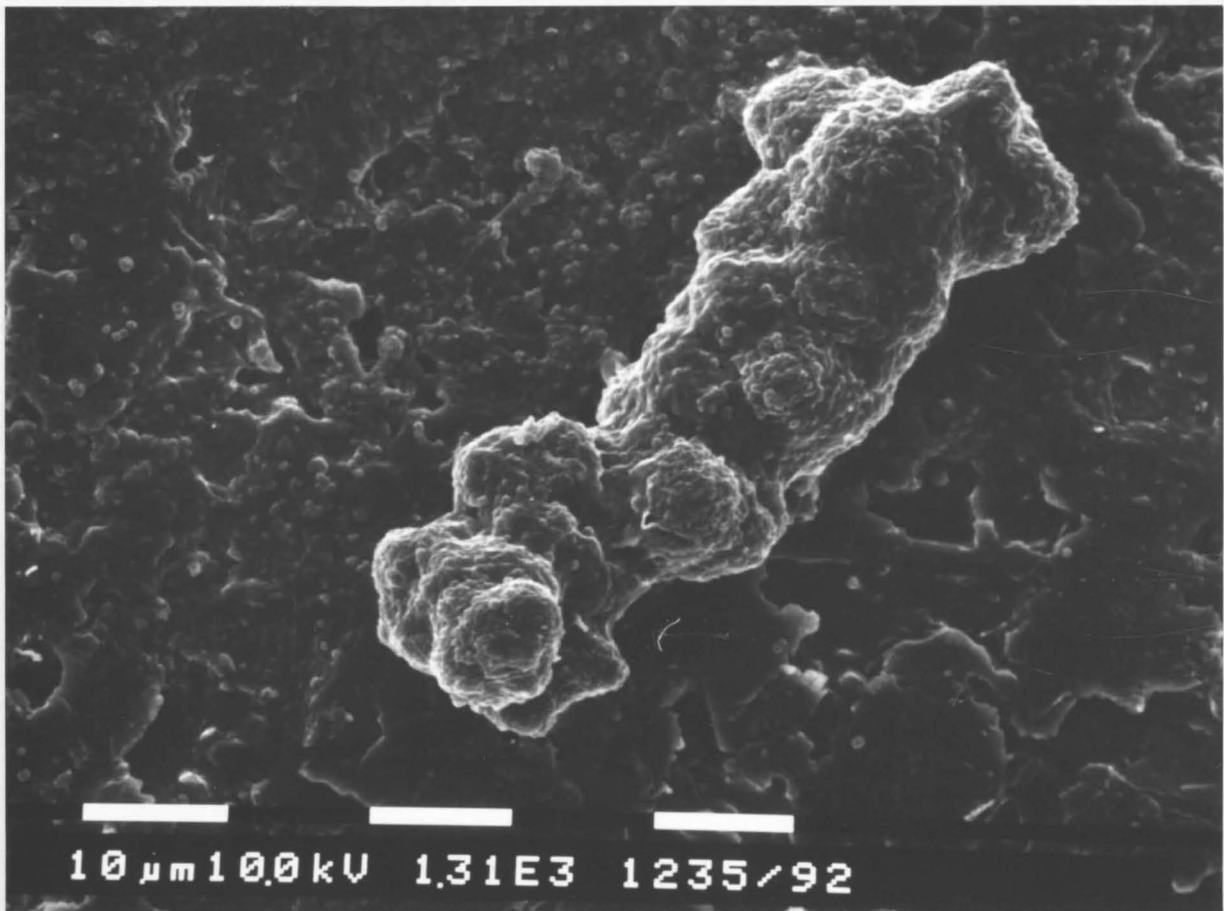
Kalkkonkretion
Calcareous concretion
(Foto: Bock)

Die kleinen Kugeln im Hintergrund sind Melaninkörnchen.
The small balls in the background are melanin corpuscles.

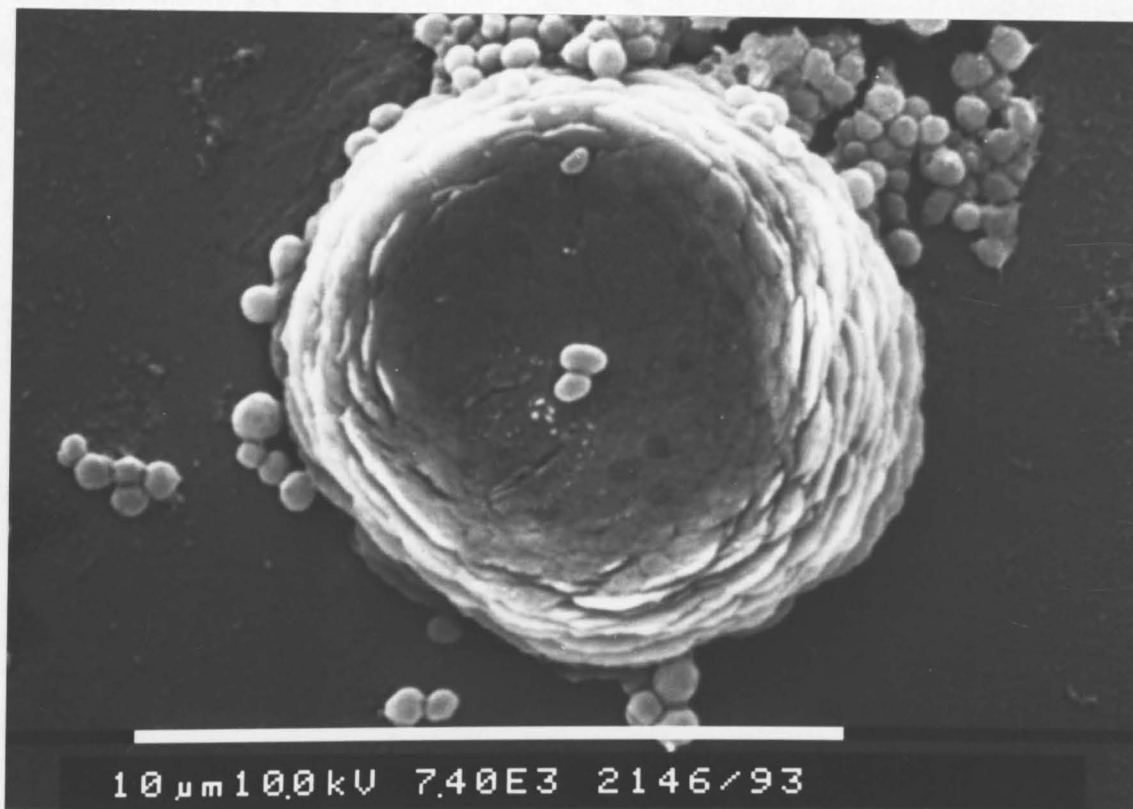


Kalkkonkretion
Calcareous concretion
(Foto: Bock)

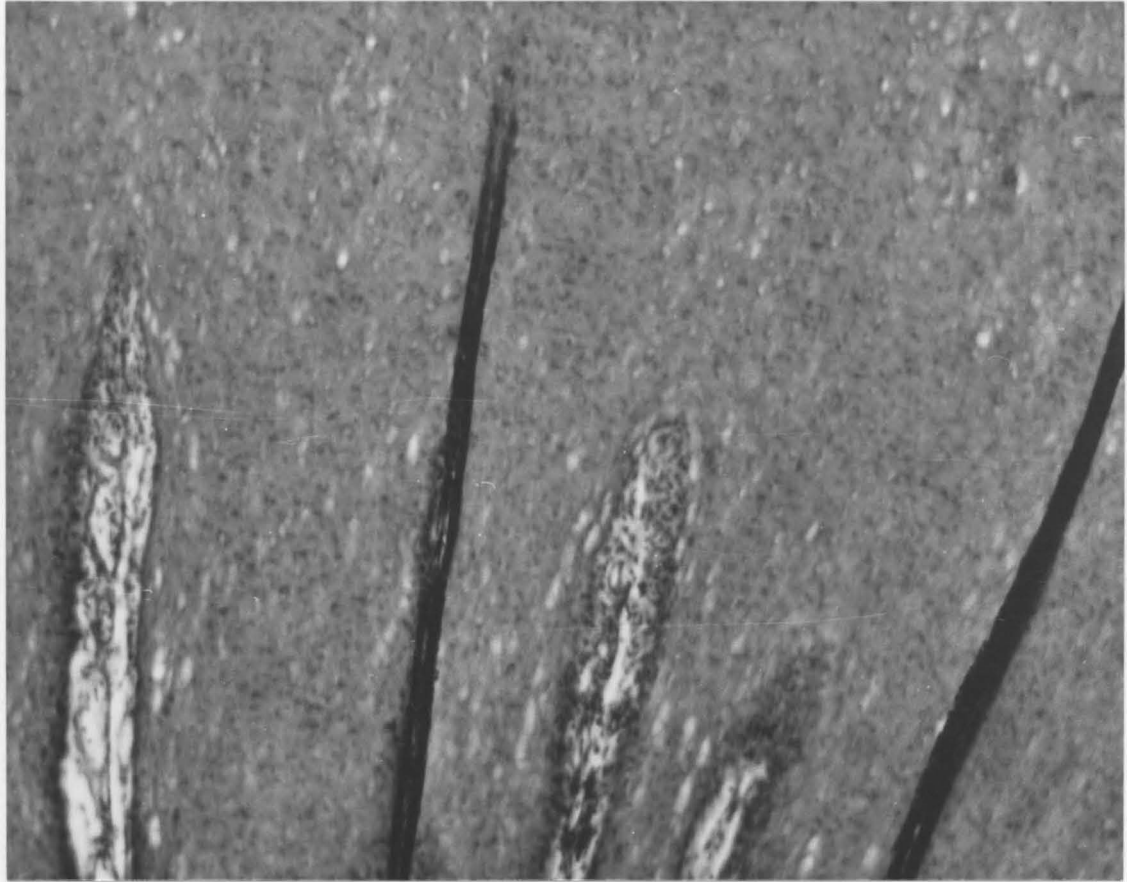
Die kleinen Kugeln im Hintergrund sind Melaninkörnchen.
The small balls in the background are melanin corpuscles.



Hornkonkretionen
Horny concretion
(Foto: Bock)

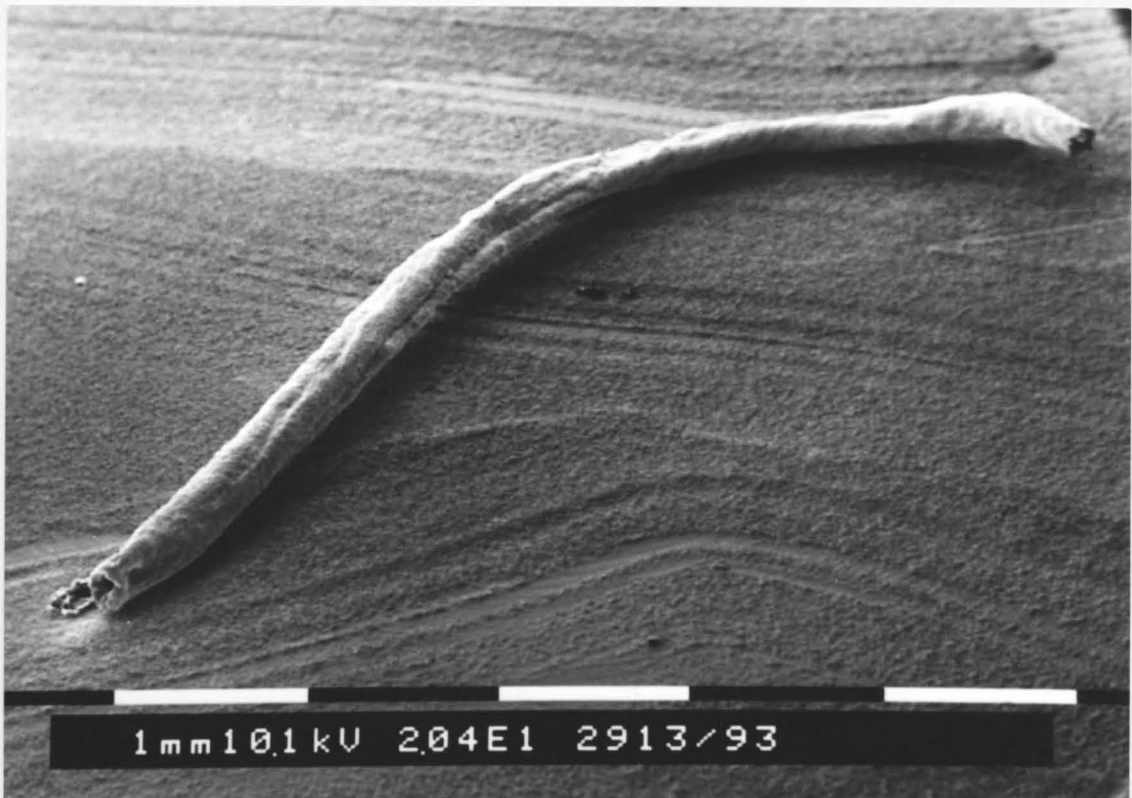


Haarartige Konkretion
Hair-like concretion
(Foto: Bock)



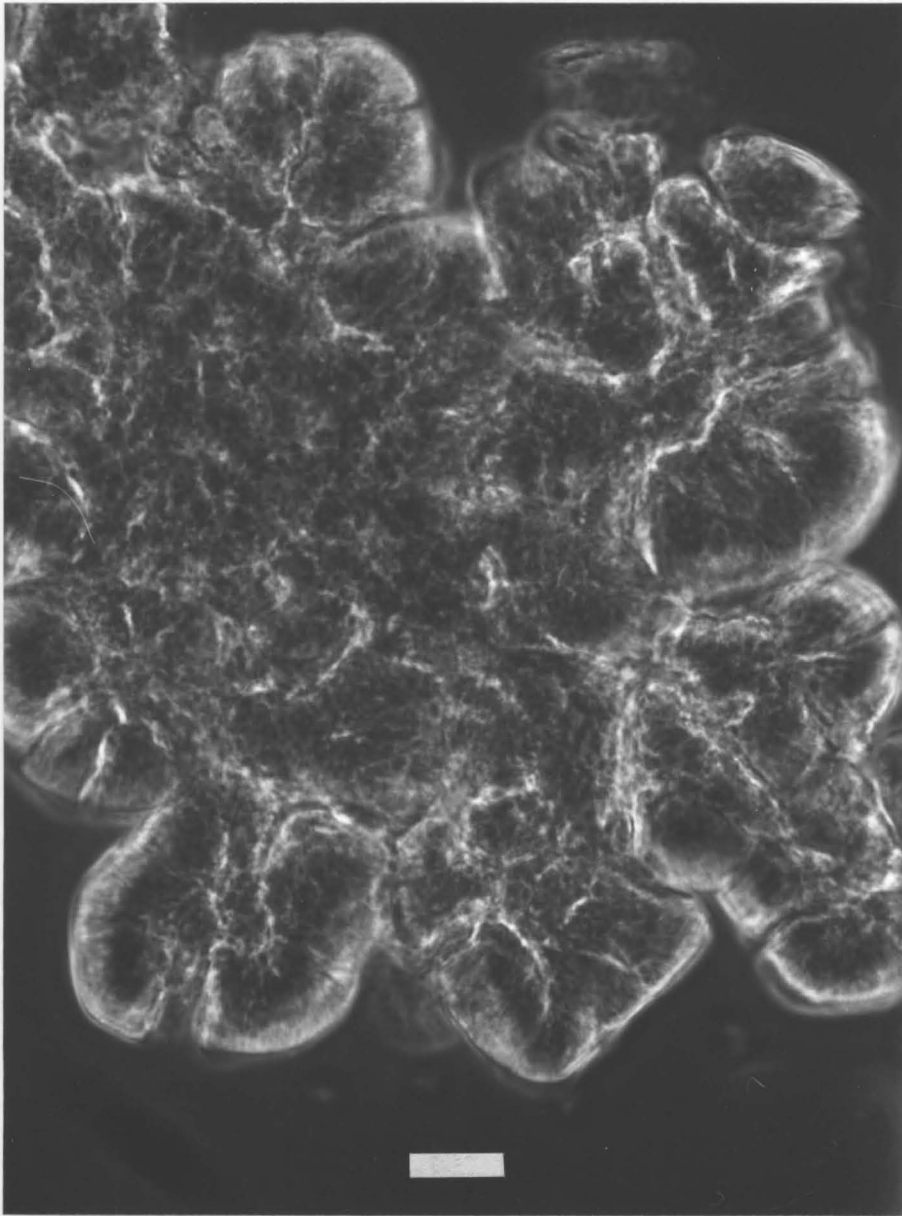
Körperhaar eines Schweinswals.
Länge etwa 3 mm.
(Foto: Behrmann)

Body hair of a harbour porpoise.
Length nearly 3 mm.
(Foto: Behrmann)



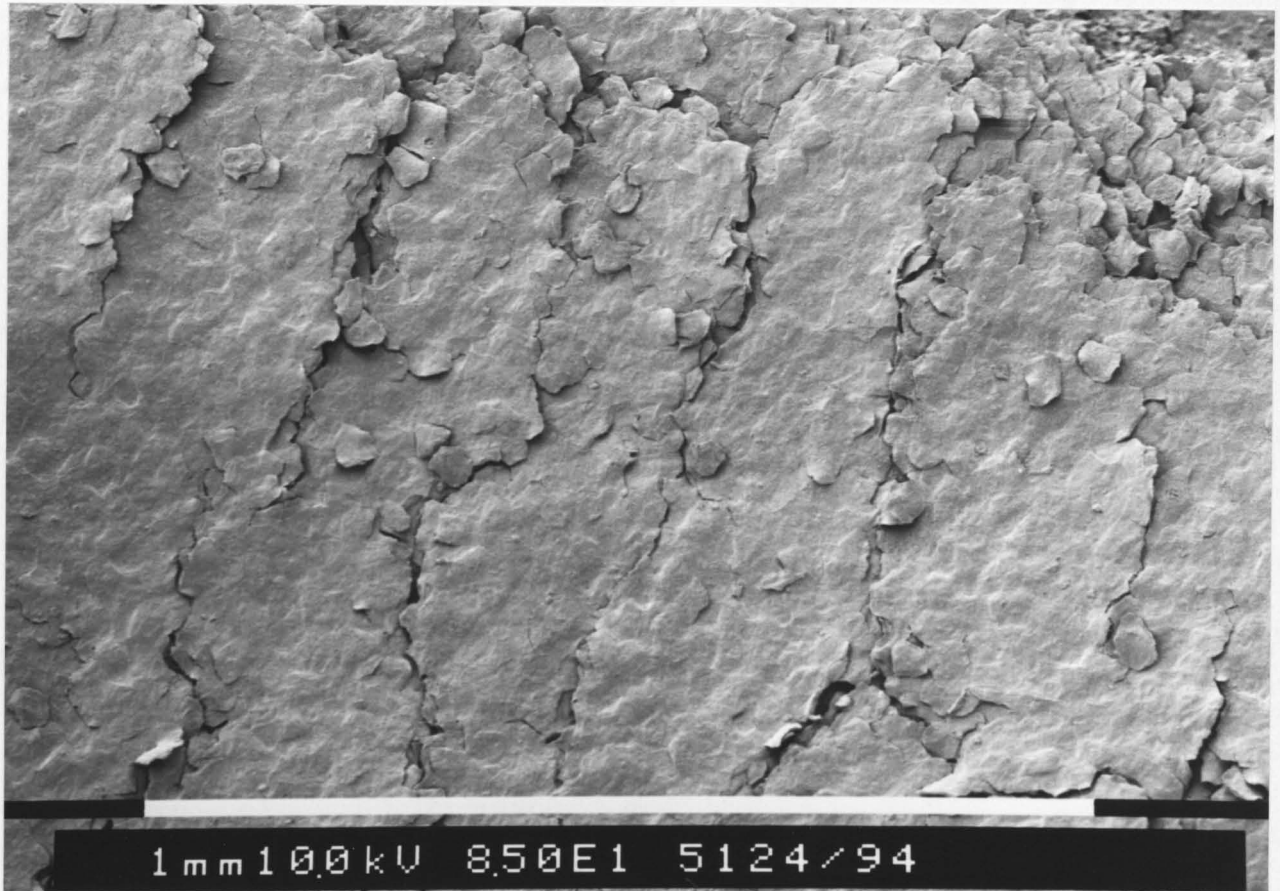
Schnurrhaar (Vibrisse) eines Schweinswals.
(Foto: Bock)

Moustache hair (vibrisse) of a harbour porpoise.
(Foto: Bock)



Hautschuppen eines Schweinswals. Maßstab 10 μm
(Foto: Behrmann)

Skin-scales of a harbour porpoise. Scale 10 μm .
(Foto: Behrmann)



Hornschuppen (Keratinocyten) eines Entenwals.
(Foto: Bock)

Horny scales (ceratinocytes) of a northern bottlenose whale.
(Foto: Bock)

Äußerlich sichtbare Hauterkrankungen

Sechskantige Hornschuppen (S. 49) oder die rundlichen Hautschuppen (S. 48) werden meistens übersehen, sind aber nicht selten. Werden diese abgestorbenen, weißlichen Hautzellen (Keratinozyten) nicht abgestoßen, verhornt die ganze Epidermis. Die verhornten Hautflächen verdecken die dunkel Haut und der Wal wird grauweiß, so wie der berühmte "Mobby Dick".

Die strahlend weißen Bauch- oder Flankenseiten der Wale entstehen aber durch natürlich Einlagerung von Kristallen (S. 31, 5), sind also nicht die Folge einer Verhornung.

Häufiger werden Wale gefunden, deren Rücken in gleichmäßigen Abständen Schnittwunden aufweisen. Solche Wunden, von unterschiedlichen Tiefen, erzeugen Schiffsschrauben, wenn der Wal von einem Schiff überfahren wird.

Walhaare

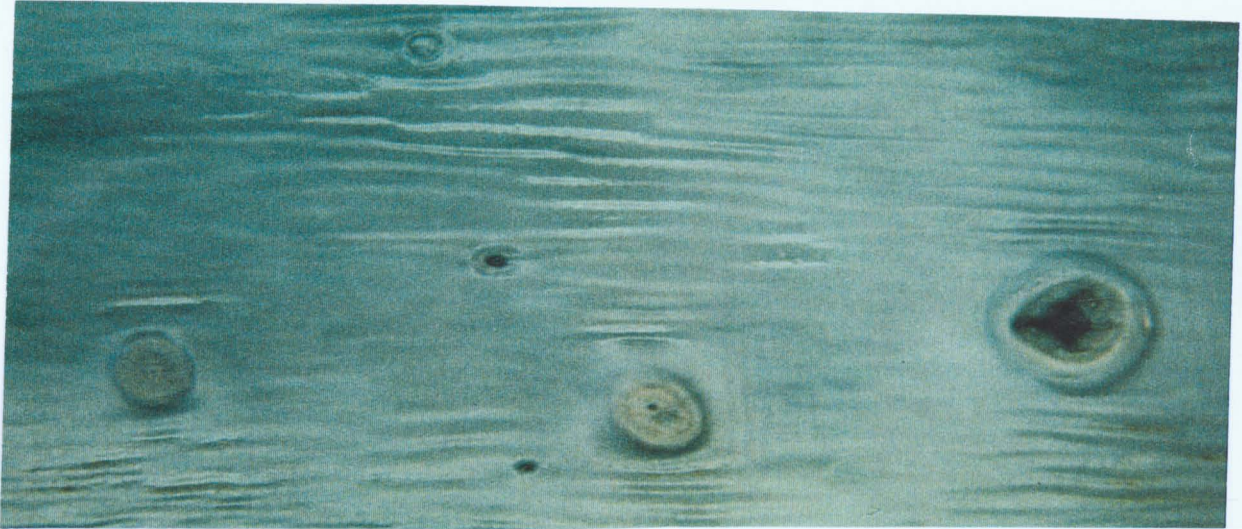
Whale-hairs

Rudimente von Schnurrhaaren (faciale Vibrissen) (S. 47) sind auf der Oberlippe häufig zu finden und werden auch zur Bestimmung von Walen verwendet. Weil sie viel Silicium enthalten und sehr hart sind, brechen sie nach der Geburt bald ab. So richtig sind sie also nur bei Embryonen zu sehen.

Sehr selten aber werden Wale gefunden, deren ganze Körper behaart sind (S. 46). Die meisten Körperhaare werden, bevor sie Oberfläche durchbrochen haben, resorbiert. Die Haare, die herauswachsen, brechen ab, was zu einer Hautkrankheit führt.

Akneartige Hauterkrankung beim Schweinswal

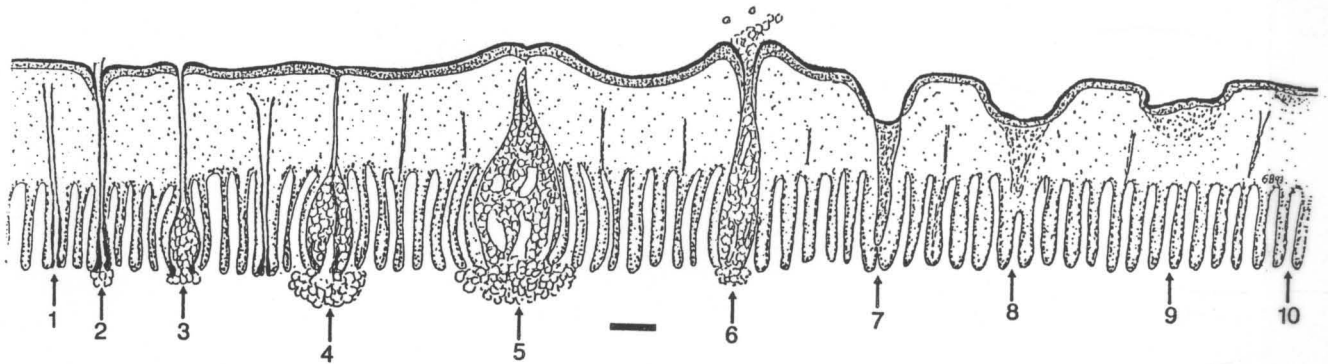
Bei juvenilen Schweinswalen sind häufiger in der Haut kleine Poren, größere Beulen, eitrige Wunden und kraterförmige Narben zu sehen. Weil diese Erkrankungen oft als Parasitenbefall fehlgedeutet wurden, habe ich, nachdem ein Fachmann keine Parasiten nachweisen konnte, dies untersucht.



Akneartige Wunden
(Foto: Schmidt)

Über histologische Schnitte konnte die Ursache der Krankheit und deren Verlauf ermittelt werden (Behrmann, 1995). Der ganze Körper des untersuchten Schweinswals war behaart, wobei der Abstand zwischen den einzelnen, bis zu 5 mm langen Haaren mehr als 3 mm betrug. Nur einige Haare waren äußerlich zu sehen. Die meisten Haare wachsen aber nicht heraus, sondern werden absorbiert. Wenn die Haare aber herauswachsen, brechen sie ab und hinterlassen eine kleine Pore. Durch diese und den Haarkanal dringen Wasser und Bakterien ein, wodurch eine Entzündung an der Haarwurzel entsteht. Die Entzündungen breiten sich nach oben aus, was zunächst durch eine Beule auf der Haut sichtbar wird. Bricht dann die Entzündung durch, entsteht eine eitrige Wunde, die nach ihrer Abheilung eine kraterförmige Narbe hinterlässt.

Weil mehrere Schweinswale mit akneartigen Narben gefunden wurden, kann man davon ausgehen, dass diese Krankheit überstanden werden kann.



Verlauf der Haarakne beim Schweinswal.

Maßstab 1 mm.

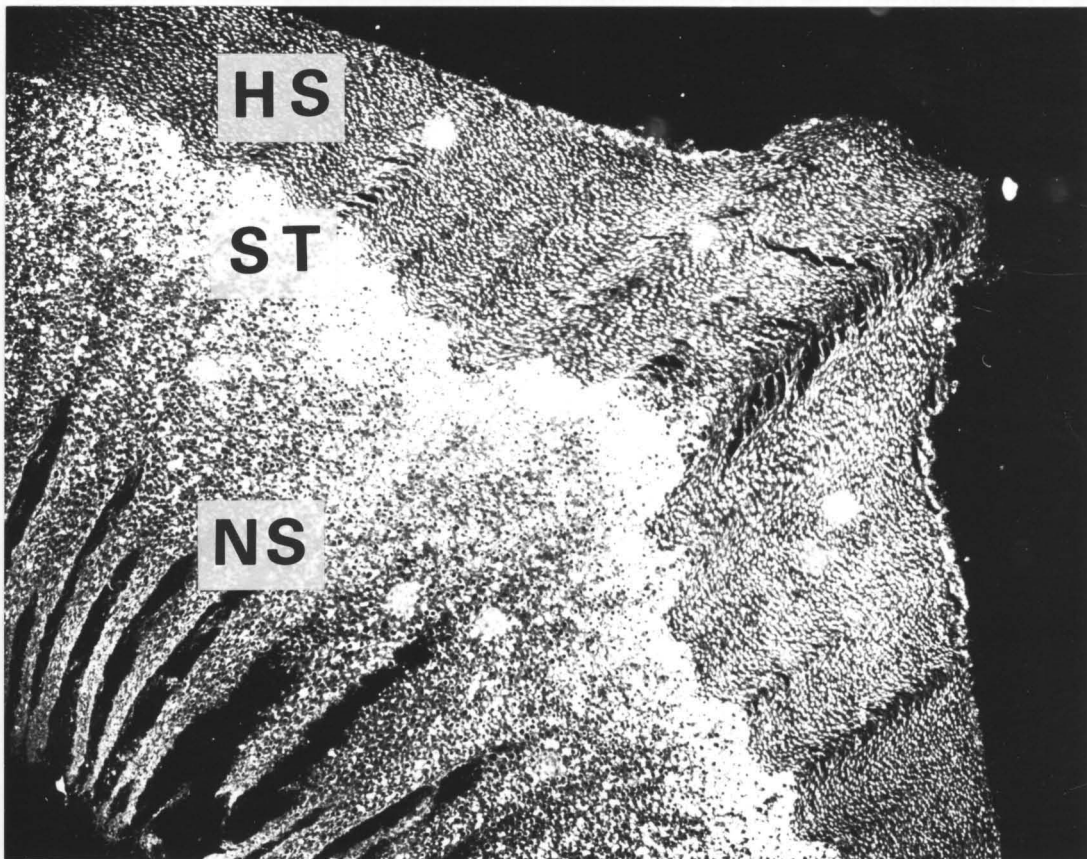
- 1: Das Haar wird in der Epidermis absorbiert.
- 2: Das Haar durchstößt die Epidermis und bricht ab.
- 3: Die Entzündung der Haarwurzel beginnt.
- 4: Die Entzündung wächst aus, wobei die Haarreste aufgelöst werden.
- 5: Auf der Haut entsteht eine Beule.
- 6: Die Zyste platzt auf und entleert sich.
- 7 - 10: Die trichterförmige Wunde verheilt und verwächst zur kraterförmigen Narbe.

Die Tuberkeln auf den Finnen, Fluken und Flossen der Schweinswale *Phocoena phocoena* (Linné, 1758)

Die ersten Beschreibungen und Abbildungen von schuppenartigen Tuberkeln auf den Vorderseiten von Finnen und Fluken stammen von Burmeister (1869) und Kükenthal (1890). Hierüber berichtet Abel (1911, S.473/474): "Nur an wenigen Stellen sind bei Walen und Ichtysosauriern Reste der ursprünglichen Hautpanzerung übrig geblieben. Das ist der Fall bei einzelnen Zahnwalen, und zwar bei *Neomeris* (*Neophocoena*) *phocaenoides*, und bei verschiedenen Arten der Gattung *Phocoena*, die mitunter die Zahl 25 erreichen." Aber auch an den Vorderrändern der Fluken fand Kükenthal (1890) bei Schweinswalembryonen auf jeder Seite etwa 30 Tuberkeln. Sie wurden, wenn auch vereinzelt, am Vorderrand der Hand und in der Umgebung der Nasenöffnung gefunden. Weitere Einzelheiten wurden bisher nicht bekannt, und so blieben bis heute die Befunde von Burmeister (1869) und Kükenthal (1890) allgemein anerkannt.

Nachdem ich einen gestrandeten Schweinswal erhielt, der Tuberkel an den Flossen, der Finne und der Fluke besaß - im Bereich des Blaslochs wurden keine Tuberkel gefunden - lag es nahe, mit all den heute mir zur Verfügung stehenden Mitteln, die Befunde von damals zu überprüfen (Behrmann, 1996). Ausschlaggebend waren hier die unterschiedlichen Meinungen zur Evolution der Wale. Nach Steinmann (1909) haben sich die Wale aus aquatisch lebenden Thalattosauriern entwickelt.

In diesem Falle könnten die Tuberkel tatsächlich Reste eines Hautpanzers sein. Slijper (1936) und Thenius (1979) nehmen an, dass die Vorfahren der Urwale unter den auf dem Festlande lebenden und behaarten Säugern (Eutheria, al. Placentalia) zu finden sind. In diesem Falle ist es unwahrscheinlich, dass die Tuberkel Reste eines Saurierpanzers sind.



Sagittalschnitt durch ein Tuberkel in der Epidermis der Finne eines Schweinswals, ungefärbter Schnitt im Dunkelfeld, Vergr. 25 x (Foto: Behrmann).

Hornhautartige Schicht (**HS**), Nagelzellenschicht (**NS**), Stachelzellenschicht (**ST**) mit den lichtreflektierenden Kalksalzen.

Weil die aus der Literatur vorliegenden Erkenntnisse für die Phylogenese der Wale von großer Bedeutung sind, war eine erneute Untersuchung der Tuberkel angebracht.

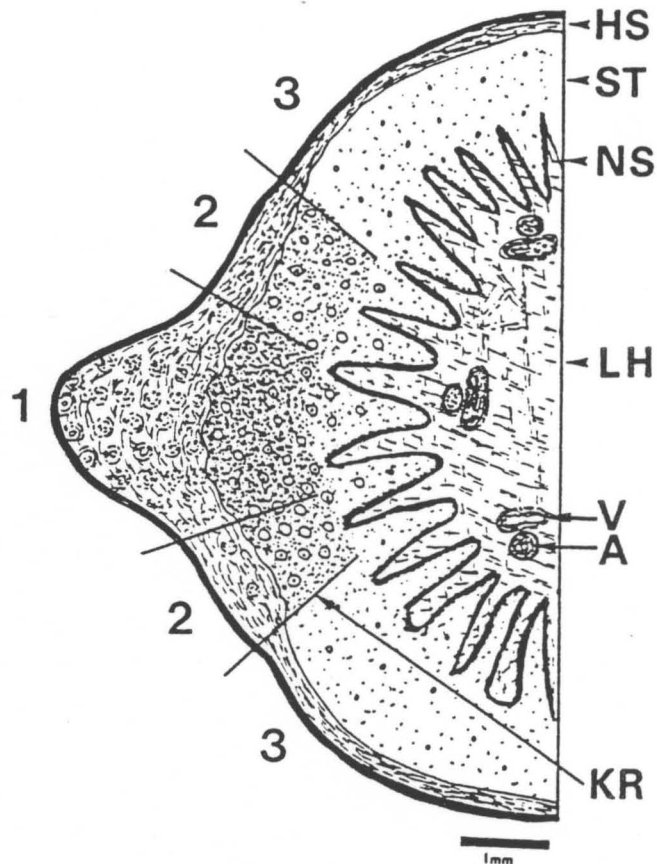
Für die vorliegenden Befunde wurden Proben von der Finne eines weiblichen Schweinswals genommen (Länge: 164 cm), der an der friesischen Nordseeküste gestrandet war. Weil der Wal sehr früh entdeckt wurde, wies die Haut nur geringe Verletzungen auf. Die Hautsegmente wurden im gefrorenen Zustand entnommen, gereinigt und in 4-prozentigem Glutaraldehyd/Formalin fixiert. Nach der Entwässerung in Aceton folgte die Einbettung in Technovit 7100. Für die Gewebeuntersuchung wurden 3 bis 5 µm dicke Schnitte angefertigt und mit Hämatoxylin/Eosin oder Toluidinblau/Eosin gefärbt. Die zur Bestimmung der Kalkpartikelmenge und für Untersuchungen mit Fluoreszenzfilter BP365, FT 395 und LP 397 (Zeiss) verwendeten Schnitte blieben ungefärbt.

Ausgezählt wurde die Akkumulation der Kalkpartikel im Dunkelfeld unter Verwendung eines Rechnerprogrammes.

Durch einfache Warmwassermazeration und Zentrifugation konnten die Kalkpartikel isoliert, mittels Raster-Elektro-Mikroskopie (REM) untersucht und über REM Emissions- und Absorbtionsmessungen analysiert werden.

Ergebnisse

Die Vorderkante der Finne war etwa 11 mm dick, und die darauf sitzenden 14 Tuberkel hatten einen Durchmesser um 5 mm. Der äußerlich sichtbare Tuberkelteil bestand aus einem hellen Hof, in dessen Mitte sich eine dunkle Papille erhob. Die Observierung mittels Fluoreszenzfilter bewiesen, dass in den hellen Höfen größere Mengen Kalzium eingelagert waren



Schematisierter Horizontalschnitt durch ein Tuberkel,
Maßstab 1mm.

1 = Tuberkel, **2** = Tuberkelhof, **3** = normale Haut.

Sperrarterie (**A**), hornhautartige Schicht (**HS**), Kalkkonkretionen (**KR**), Nagelzellenschicht (**NS**), Netzhaut (**LH**), Stachelzellenschicht (**ST**), Vene (**V**).

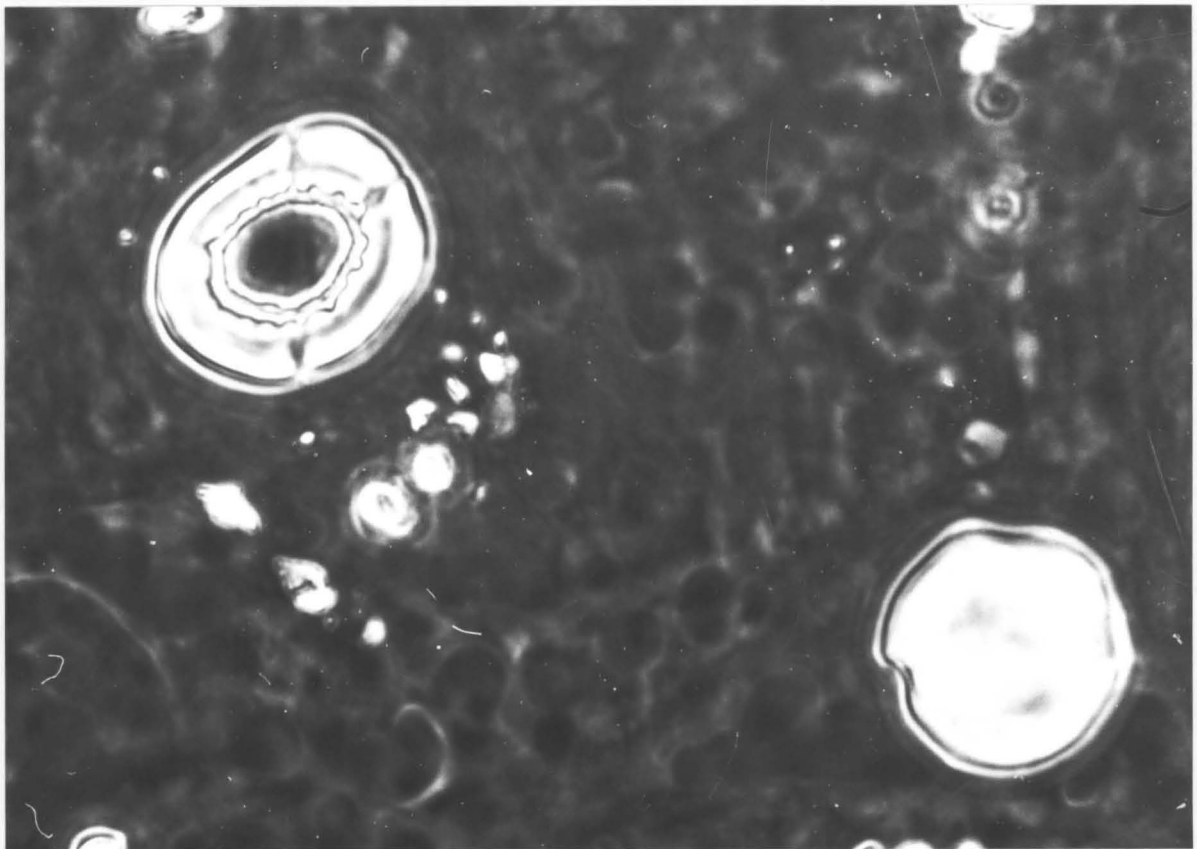
Die äußere hornhautartige Epidermis (Stratum paracorneum, HS) ist im Bereich der Papille mit 1 - 1,5 mm auffällig mächtiger als an den Flanken der Finne, wo sie nur noch um 200 µm dick ist. Die parakeratotische Schicht der Papillen ist mit der darunter liegenden Stachelzellenschicht (Stratum spinosum, ST) wellenförmig verbunden. Diese wellenförmig verlaufende Anlage der einzelnen Zellagen setzt sich peripher fort, wodurch in Vertikalschnitten rundliche Gebilde erscheinen. Horizontalschnitte zeigen aber solche Gebilde nicht.

Die Stachelzellenschicht (Stratum spinosum) hat in allen Bereichen eine Mächtigkeit um 2, 5 mm. Die darunter liegende Netzhaut (Corium, LH) der Finne besteht aus einem fettreichen, weitmaschigen, straffen Bindegewebe, das von Sperrarterien (A) und Venen (V) durchzogen ist.

Im Bereich unter dem Tuberkel liegen in der Stachelzellenschicht viele Kalkkonkretionen (KR). Deutlich erkennbar sind drei Zonen. Am höchsten ist die Akkumulation von Kalkpartikeln unter der Papille. Geringer, aber immer noch so reichlich, dass sie durch die Epidermis durchscheint, ist die Zahl der Kalkkonkretionen im Bereich des Tuberkelhofes. Zur Mengenbestimmung der Partikel wurden in einem 5 μm dicken Schnitt mehrere Felder von 250 x 200 μm ausgezählt und daraus die Menge pro Quadratmillimeter errechnet. Die Zone unmittelbar unter der Papille enthält etwa 9500 Kalkpartikel pro mm^2 . Die peripher davon liegende Zone enthält noch etwa 2500 Partikel pro mm^2 . Die Grenze zwischen der zweiten und dritten Zone ist deutlich erkennbar. Mit bis zu 100 Partikeln pro mm^2 enthält die Epidermis der dritten Zone einen Kalkanteil, wie er auch in den übrigen Hautregionen der Finne gefunden wurde.

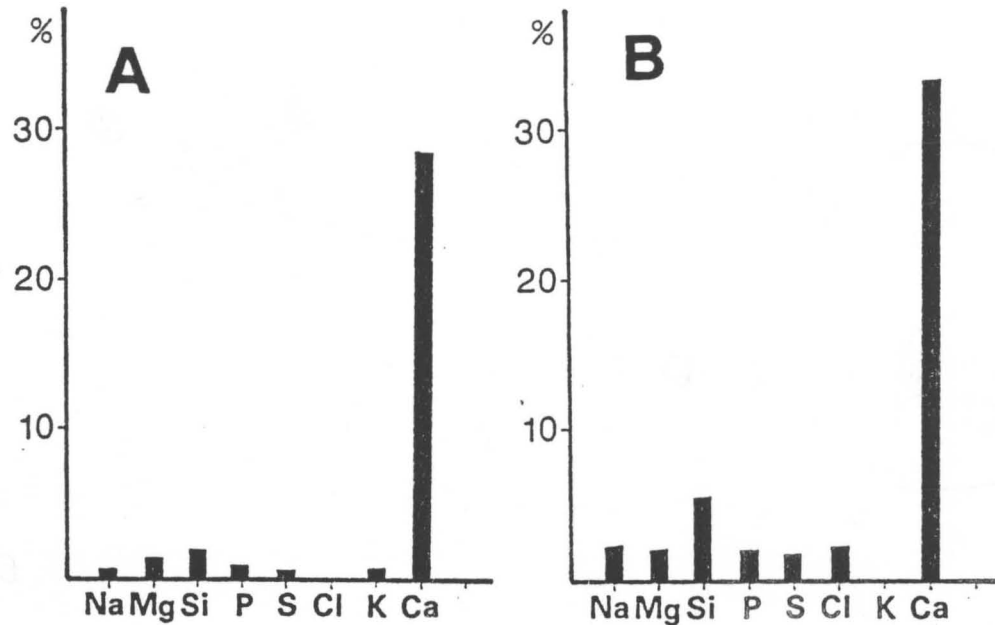
Zwei Formen von Kalkbildungen sind bei optischer Betrachtung deutlich unterscheidbar. Die eine Form, bestehend aus vielen bis zu 5 μm großen Kalkkörnchen, liegt im Bindegewebe zwischen den Stachelzellen. Die chemische Analyse der kleinen Kalkkörnchen beweist, dass diese hauptsächlich aus Calcium bestehen und der Anteil von Phosphor und anderen Elementen sehr gering ist.

Die zweite Form, größere Kalkkugeln, entsteht in spezialisierten Zellen, die sich von den anderen epidermalen Zellen durch ihren größeren, stacheligen Zellkern unterscheiden. Die Verkalkung der Zelle beginnt mit dem Verdrängen des Zellplasmas durch eine mit Kalzium angereicherte Salzlösung (Matrix). Die Kalksalze fallen aus und werden an der peripheren Zellwand abgelagert. Danach dringt erneut eine Salzlösung ein. Dieser Vorgang wiederholt sich, und es entsteht eine 12 bis 18 μm große Kalkkugel. Die Kernmembran bleibt zunächst erhalten und hinterlässt nach ihrem Abbau einen negativen Abdruck ihrer Oberfläche, der aber, nachdem auch der verbliebene Hohlraum, den der Nucleus hinterlassen hat, aufgefüllt ist, nicht mehr zu sehen ist.



Horizontalschnitt durch die Stachelzellenschicht, ungefärbt, Vergr. 1000 x. Große Kalkkugeln mit unterschiedlichen Stadien der Verkalkung. Deutlich kleiner sind die unregelmäßig geformten kleinen Kalkkörnchen.

Die größeren Kalkkugeln bestehen hauptsächlich aus Calcium. Der prozentuale Anteil der anderen Elemente ist aber größer.



Analysen der trockenen Matrizen unter den Tuberkeln der Schweinswalfinne.

A: Analyse der Matrix von kleinen Kalkkörnchen.

B: Analyse der Matrix der grösseren Kalkkörnchen (Sklerocyten)

Wenn die Zellen abgestorben sind, Zellgewebe und Zellkern sich aufgelöst haben, verwachsen beide Kalkformen miteinander und werden zu Konkretionen, die bis zu 100 μm groß sein können.

Diskussion

Die Knochenbildung verläuft bei allen Wirbeltieren gleich und beginnt mit der Akkumulation von Kalksalzen im Gewebe. "Die ersten morphologisch erfassbaren Merkmale der Kalkablagerung bestehen im Auftreten kleiner Körnchen." (Bargmann, 1948, S. 133).

Morphologisch Vergleichbares finden wir auch in den Tuberkeln. Bei Reptilien und Säugern beginnt die Bildung eines Hautskelettes im Corium (Peyer, 1931), in dem schichtweise Calciumphosphat abgelagert wird. Die Kalkablagerungen unter den Tuberkeln der Schweinswalfinne liegen aber in der Epidermis und sind nach ihren beiden Hauptelementen ein Calcium enthaltendes Silicat. Nach den derzeitigen bekannten Kriterien kann es sich also hierbei nicht um Reste eines Hautskelettes handeln.

Die unter den Tuberkeln liegenden Kalkkonkretionen unterscheiden sich morphologisch und chemisch von den Kalkgebilden, die in der Haut von vielen Zahnwalarten nachgewiesen wurden (Behrmann, 1995). Chemische Analysen zeigten auch, dass die Matrix unter den Tuberkeln mit den Matrizen von Knochen, Dentin, Schmelz und Zahnzement nicht vergleichbar ist. Deshalb sind auch die Zellen der Schweinswale, die die Fähigkeit besitzen Kalksalze einzulagern, weder Osteo- noch Odontocyten und sollten deshalb zur Unterscheidung Sklerocyten genannt werden.

Dass es sich bei den Tuberkeln um rein epidermale Hornbildung handelt, wie es Howell (1930) behauptet hat, wurde auch überprüft, muss aber für den Phocoena verneint werden, denn hornartige Substanzen (Cysteine) wurden im Bereich der Tuberkel nicht nachgewiesen.

Obwohl die Walhaut viele Charakteristika enthält, die von Säugern, Reptilien, Amphibien, Lurchen und Fischen her bekannt sind (Behrmann, 1994), stellen die Kalkkonkretionen im Vergleich dazu ein einzigartiges Phänomen dar. So ist es auch denkbar, dass es für die Kalkkonkretionen nichts Vergleichbares gibt, und diese eben nur bei den Zahnwalen (Odontoceti) zu finden sind.

Auf Grund der Lage der Kalkkonkretionen kann ausgeschlossen werden, dass diese Rudimente eines knöchernen Hautpanzers sind. Geht man davon aus, dass die Vorfahren der Wale behaarte Säugetiere waren (Slijper, 1979; Thenius, 1976) und auf dem Festlande lebten, haben sie mit größter Wahrscheinlichkeit in dieser

Zeit keine Finnen oder Fluken besessen. Diese entstanden erst in der Zeit, als die Vorfahren der Wale sich dem Leben im Wasser anpassten. Und erst nachdem sich Finnen, Fluken und Flossen gebildet hatten, konnten darauf die Tuberkel entstehen. Weil die Einlagerungen besonders dicht an exponierten Hautregionen liegen, müssen sie als eine Neubildung angesehen werden, die an exponierten Flächen die Haut verstärkt.

Zusammenfassung

Bisher wurden die Tuberkel auf den Finnen, Fluken und Flossen der Schweinswale als rudimentäre Schuppen beschrieben. Neuere Untersuchungen zeigten keine Hornrudimente, sondern nur eine Anreicherung von Kalksalzen in der Epidermis. Nach den bisherigen Kenntnissen entstehen Hautskelette und kalkhaltige Schuppen im Corium. Die Kalkeinlagerungen in der Epidermis müssen also als eine Stabilisierung exponierter Hautregionen angesehen werden. Die Tuberkel sind keine Rudimente geschuppter Vorfahren; sie sind eine phylogenetische Neubildung und als eine Anpassung an die aquatische Lebensweise zu betrachten.

Die Phylogenese der homodonten Gebisse bezahnter Wale, Odontoceti und Physetericeti (Behrmann 2001)

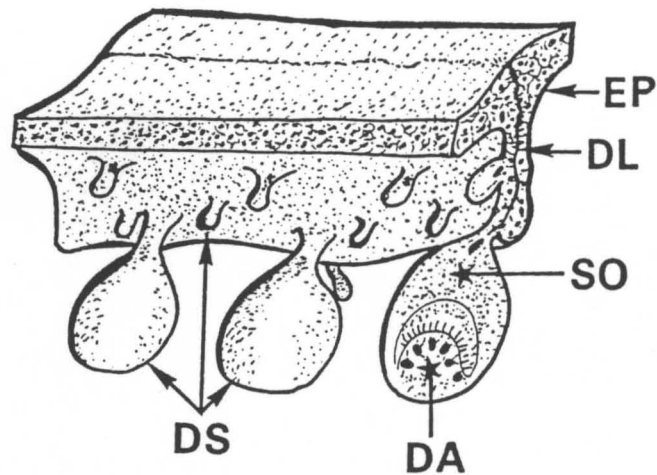
The phylogentic development of the homodontal teeth of toothed whales, Odontoceti and Physetericeti (Behrmann, 2001)

Einen weiteren Hinweis auf die Vorfahren bezahnter Wale finden wir bei den Zähnen, deren Entwicklung sich bis in das Eozän verfolgen lässt (Behrmann 2003).

Die Zähne der Triconodonten, Prototheria, Theria und Eutheria entstehen nach einem gleichen Muster, welches sich auf einen gemeinsamen, phylogenetisch älteren Bautyp zurückführen lässt (Carroll, 1993). Der Urtyp ist ein einkeimiger, kegelförmiger Reptilienzahn (Stark, 1982). Bei den Reptilien entstehen sehr viele Zahnanlagen, so dass verbrauchte Zähne kontinuierlich ersetzt werden können (Edmund, 1969).

Bei Säugtieren entstehen generell nur so viele Zahnanlagen, wie benötigt werden. Die mehrkronigen Zähne der Säugetiere, wie auch die dreispitzigen Zähne der Triconodonten, sind ein Verschmelzungsprodukt mehrerer Zahnkeime. Sie haben deshalb auch mehrere Wurzeln, wodurch sie sich von den mehrkronigen Zähnen der Reptilien unterscheiden, die nur einen Zahnkeim und eine Wurzel haben (Peyer, 1937).

Im Eozän besaßen die Urwale (Archaeoceti) ein heterodontes Gebiss (verschiedene Zahnformen), das nach seiner Zahnformel für eozäne Carnivoren charakteristisch ist. In der folgenden Zeit evoluierte das heterodonte in ein homodontes Gebiss (gleichförmige Zähne) mit kegelförmigen Zähnen. Allen Säugetieren wachsen zwei Gebisse, Walen nur eines. Ob die Urwale ein Milchgebiss (*Dentes lacteales*) besessen haben, ist nicht bekannt. Die Untersuchungen von Delphinzähnen (Odontoceti), miozäner und rezenter Pottwalzähne, sowie genauere Untersuchungen des peridentalen Gewebes junger Schweinswale (*Phocoena phocoena* Linné, 1758), ergaben vollkommen neue Erkenntnisse zur Odontologie.



Schematisierte Darstellung einer Zahnleiste (DL) aus dem Unterkiefer eines Zahnwals. Zahnkeim / Zahnanlage (DA), Zahnpapille (DS), Kieferepithel (EP), Schmelzorgan (SO).

Schematic pattern of the dental lamina (DL) in the lower jaw of a toothed whale. Tooth bud /tooth anlage (DA), dental papilla (DS), oral ectoderm (EP), enamel organ (SO).

In den ersten Monaten der Ontogenese faltet sich aus dem ektodermalen Epithel (EP) der späteren Kieferränder eine Zahnleiste (DL) und wächst in die Tiefe. Bei den Säugern entstehen zuerst medial an der Zahnleiste die Zahnsäckchen (DS; al. Zahnpapillen) in denen die Zahnanlagen (DA) der Milchzähne heranwachsen. Danach wächst die Zahnleiste über die Anlage der Milchzähne linguad weiter vor und bildet die Ersatzzahnanlagen (Fleischhauer, 1985). Diese ruhen zunächst bis zu ihrer Reaktivierung und werden dann zum zweiten Gebiss (Dentes permanentes).

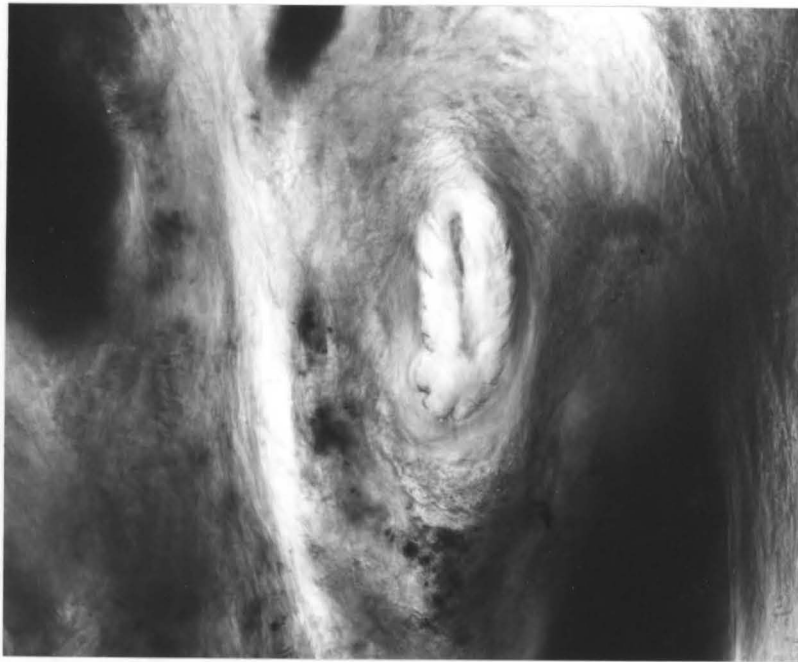
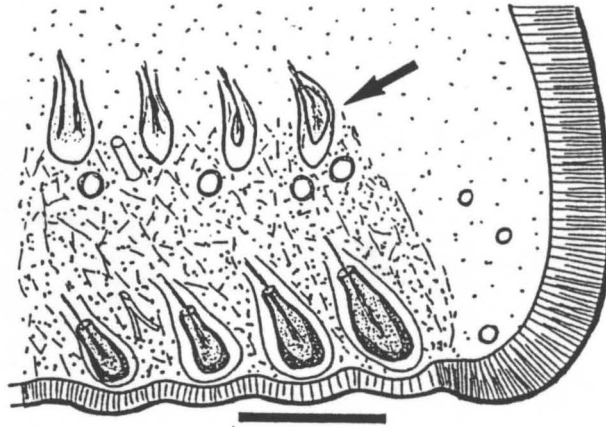
Alle Säugerzähne bestehen aus Zahnbein (Dentin). Im Zentrum, ventral des Zahnkeimes, liegt die Zahnhöhle (Pulpa), in der die Gefäße zur Zahnversorgung und die Zahnnerven enden. Der freistehende, distale Teil des Zahnes ist mit einer Schmelzkrone (Substantia adamantina) bedeckt, die bei Milchzähnen nicht

resorbiert, sondern abgestoßen wird. Der proximale Teil des Zahnes ist mit Zahnzement überzogen.

Die Zähne der Delphine und Schweinswale sind einwurzelige Säugetierzähne. Sie bestehen aus Dentin (DD), das distal von einer auffällig dicken Schmelzkrone (S) und proximal von Zahnzement (Z) überlagert ist. Dentin und Zahnzement aller untersuchten Zahnwale werden in Perioden konzentrisch angelegt und erhalten so eine Struktur, wie wir sie von Bäumen kennen. Die periodischen Ablagerungen sind von den zahnbildenden Zellen abhängig, deren Wachstum beschränkt ist. Nach dem Absterben der Zellen müssen erst neue gebildet werden, wobei die helleren Lagen entstehen. Durch die dunklen, radiär auswachsenden Fortsätze der Zellen erhält dann die daraufliegende Schicht eine dunklere Färbung.

Im Oberkiefer eines juvenilen Schweinswals, dessen Zähne kurz vor dem Durchbruch stehen, wurde eine Reihe Alveolen (Alveoli) des zweiten Gebisses entdeckt, die vom Knochen noch nicht vollkommen eingebettet waren. Nur in einer Alveole lag ein Zahnrudiment. Zwei Zahnsäckchen enthielten noch Zahnrudimente, die anderen jedoch nur noch die für Zähne typischen Nervenbündel, Gefäße und Odontoblasten. Bei den Schweinswalen wird also das Milchgebiss zum bleibenden Gebiss.

Die meisten Zahnanlagen wurden bei Magnet-Tomographischen Untersuchungen eines 95 cm langen Schweinswal gefunden. Im rechten Oberkiefer dieses Wals war das zweite Gebiss nahezu vollständig angelegt.



Oben: Modell der Oberkieferspitze eines jungen Schweinswals, Maßstab 1 mm. Unter den durchbrechenden Zähnen liegen die

Unten: Zahnanlagen des zweiten Gebisses (←).

Ein Zahn in der zweiten Zahnanlage, Vergr. 25 x.

(Foto. Behrmann)

Above: Model of the upper jaw tip of a harbour porpoise, scale 1 mm. Behind the set of sprouting teeth a second set of the teeth is installed (←).

Below: A tooth of the second tooth-anlage, magn. 25 x.

(Photo: Behrmann)

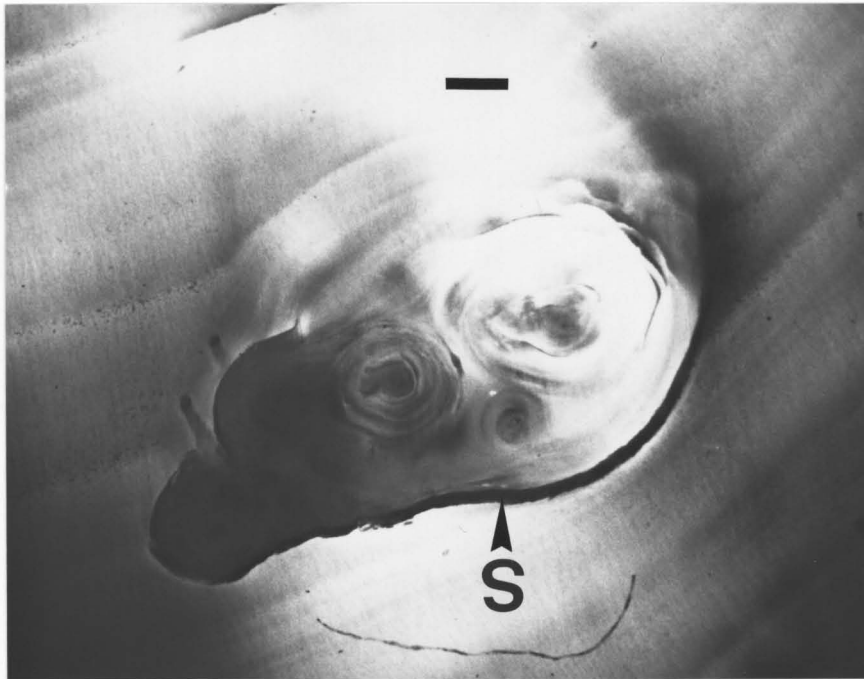
Anders verläuft die Zahnbildung bei den Pottwalen (Behrmann, 2001, 2003). Deren Zahnanlagen entstehen genau so wie bei anderen Säugern an der Zahnleiste. Nur in der Menge der Zahnanlagen unterscheiden sich die Pottwale von allen anderen Säugern, es wachsen nämlich viel mehr Zahnanlagen als notwendig sind. Sie stehen so eng, dass sie zusammenwachsen und zu mehrkronigen Zähnen werden. Diese werden dann später vom Elfenbein der bleibenden Zähne eingeschlossen. Sowohl in Quer- und Längsschnitten, als auch in Röntgenaufnahmen sind solche mehrkronigen Zähne gut erkennbar.



Pottwal: zwei zusammengewachsene Incisiven, Maßstab 1cm.
In jedem Elfenbeinzahn liegt ein mehrkroniger Kernzahn.
(Foto: Behrmann)

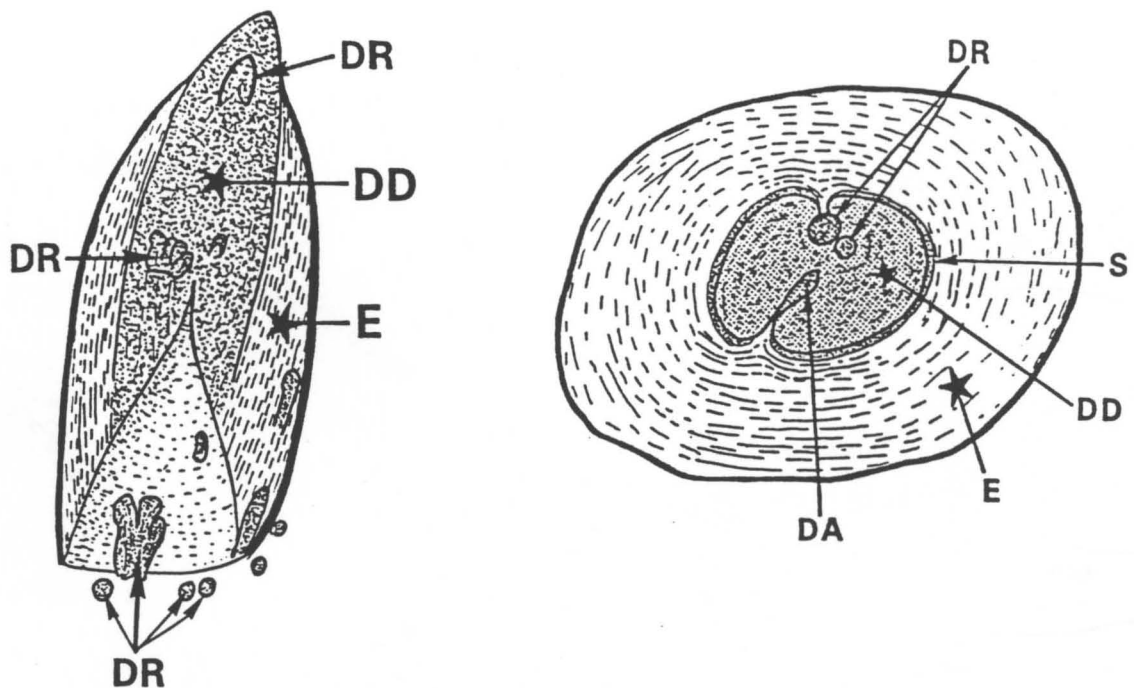
Sperm whale: two incisivi grown together, scale 1 cm.
A polycrownic core-tooth is situated in each ivory incisivus.
(Photo: Behrmann)

Die meisten sichtbaren, kegelförmigen Pottwalzähne sind ein Konglomerat verschiedener Zahnformen. Mehrere Zentimeter lang und über einen Zentimeter breit können die im oberen Drittel des Kegelzahnes liegenden Kernzähne (Dens reliquus, DR) sein. Sie bestehen aus einem bräunlichen Dentin und haben eine verhältnismäßig dicke Schmelzkappe. Das darüber liegende Elfenbein des bleibenden Zahnes verbindet sich nicht mit der Schmelzkappe des Kernzahnes, so dass im Falle eines Bruchs oder bei Abnutzung, diese oft auch mehrkronigen Zähne sichtbar werden. Weil die Anlagerung des Elfenbeins kontinuierlich fortgeführt wird, können die Pottwalzähne bis zu 5 kg schwer werden.



Pottwalbulle: Querschnitt durch einen mehrkronigen Kernzahn mit einer dicken Schmelzkrone (**S**), Maßstab 1 mm.
(Foto: Behrmann)

Male sperm whale: cross section through a polycrownic core-tooth with a thick enamel crown (**S**), scale 1 mm.
(Photo: Behrmann)



Pottwal: schematisierte Längs- und Querschnitte durch einen Unterkieferzahn. Zahnkeim (DA), Dentinzahn (DD), rudimentäre Kernzähne (DR), Schmelzschicht (S), Elfenbeinzahn (E).

Sperm whale: schematic longitudinal and cross sections through a tooth of the lower jaw. Tooth bud (DA), dentin (DD), rudimental core-teeth (DR), enamel (S), ivory (E).

Besonders viele rudimentäre Zähne liegen in oder unterhalb der Pulpa. Meistens handelt es sich hierbei nur um bis zu einem Zentimeter große, ein- oder mehrkronige Zähnchen, die aber nach ihren Wachstumsringen meistens nicht viel jünger sind als die darüber liegenden Permanentzähne. Die meisten dieser rudimentären Ersatzzähne (DR) werden im Laufe des Wachstums vom Elfenbeinzahn vereinnahmt. Weil aber diese oft länglichen und dünnen Zähnchen alle eine Schmelzkrone tragen, zeichnen sie sich in Schnitten und Röntgenbildern deutlich ab. In den Schnitten wird auch deutlich erkennbar, dass jeder Zahn einen eigenen Kern hat.

Die Befunde ergaben, dass bei juvenilen Schweinswalen die Anlagen für ein zweites Gebiss pränatal vorhanden sind. Die vorhandenen Rudimente des zweiten Gebisses erlauben den Rückschluss, dass die Praemolaren zweiwurzellig angelegt werden. Weil der schnell wachsenden Oberkiefer die zweiten Zähne einbettet, können sie nicht mehr durchstoßen und werden postnatal zurückgebildet.

Die innerartlich unterschiedliche Menge der Walzähne, über 240 Zähne beim *Delphinus delphis*, sind ein Hinweis, dass mehr Zahnanlagen vorhanden sind als Zähne herauswachsen, dieses ist für Säugetiere einmalig.

Abweichungen der Dentination bei Pottwalen von der allgemein bekannten Säugetiernorm wurden schon früher von Boschma (1938, 1951) und Scheffer & Myrick, (1980) erkannt und beschrieben. Bei den Pottwalen sind neben den oft mehrkronigen Elfenbeinzähnen (Boschma, 1938) noch mehrere Zahngenerationen erkennbar. Die großen bleibenden Zähne bestehen hauptsächlich aus Elfenbein und haben keine Schmelzkrone. Die in den bleibenden Zähnen eingebetteten Kernzähne bestehen aus Dentin und haben eine dicke Schmelzkrone. Die dritten und weiteren rudimentären Zahngenerationen (*Dentis reliquii*), und dies ist für Säugetiere einmalig, haben ebenfalls eine reflektierende Schmelzkrone, sind also echte Zähne.

Der natürliche Hautschutz der Wale (Cetacea) (Behrmann, 2001)

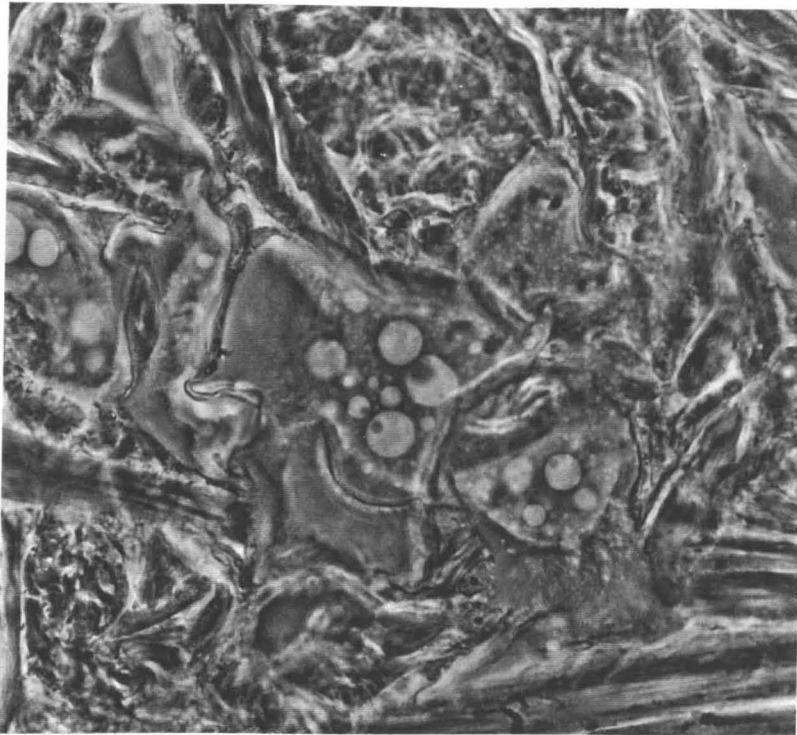
Ein ständiger Aufenthalt im Wasser stellt hohe Anforderungen an die Haut (Integumentum commune). Wie wir Menschen es oft erfahren, quillt die Haut auf, wenn wir längere Zeit im Wasser verweilen, was letztlich bei Schiffsbrüchigen sogar tödlich sein kann. Wie die Wale das Aufweichen der Haut verhindern, wurde nun untersucht.

Die Wale besitzen eine eigene Hautform (Sparman, 1973), die mit keinem

Anderen Wirbeltier vergleichbar ist (s. S 37). Mechanisch gleicht die Walhaut einem gummiartigen wasserdichten Taucheranzug, der immer straff am Körper anliegt und eine Faltenbildung verhindert. Die Wale besitzen keine Schweißdrüsen. Die Haut hat also äußerlich keine Poren, durch die Wasser eindringen könnte; eine dichte Haut verhindert auch das Eindringen von Bakterien und anderen Krankheitskeimen, die Infektionen auslösen könnten. Wird die Haut verletzt, oder dringen Fremdkörper ein, sorgen das Salzwasser und ein sehr effektives Immunsystem für deren schnelle Beseitigung und Ausheilung der Wunden.

Der Vertikalschnitt durch die Haut eines Schweinswals *Phocoena phocoena* (Linné, 1758) zeigt zwei deutlich voneinander getrennte Schichten. Die dunkle Oberhaut (Epidermis) kann bis zu 5 mm dick sein. Zur Ausbildung einer richtigen Hornhaut kommt es nicht, und auch die bei Landtieren darunter liegende Hautschicht (Stratum lucidum) fehlt in der Walhaut. Allerdings verflachen die oberen Hautzellen und bilden eine bis zu 300 µm dicke parakeratotische Lage die, wie es bei Pottwalen oft beobachtet wurde, abgestreift werden kann.

Ein verhorntes Epithel wurde bisher nur beim Urwal und bei einem Entenwal (*Hyperoodon ampullatus*) nachgewiesen (Behrmann, 1998). Der Hauptanteil der Epidermis besteht aus Stachelzellen (Stratum spinosum). Die untere Begrenzung der Epidermis ist die einlagige Basalschicht (Stratum germinativum), auf der ständig neu Hautzellen und Melanozyten heranwachsen. Die großen Melanozyten produzieren Melaninkörnchen, die an den Hautzellen angelagert werden, wodurch die dunkle Hautfarbe entsteht. Melanin ist eine wichtige Substanz, die viele für das Leben notwendige Prozesse steuert.

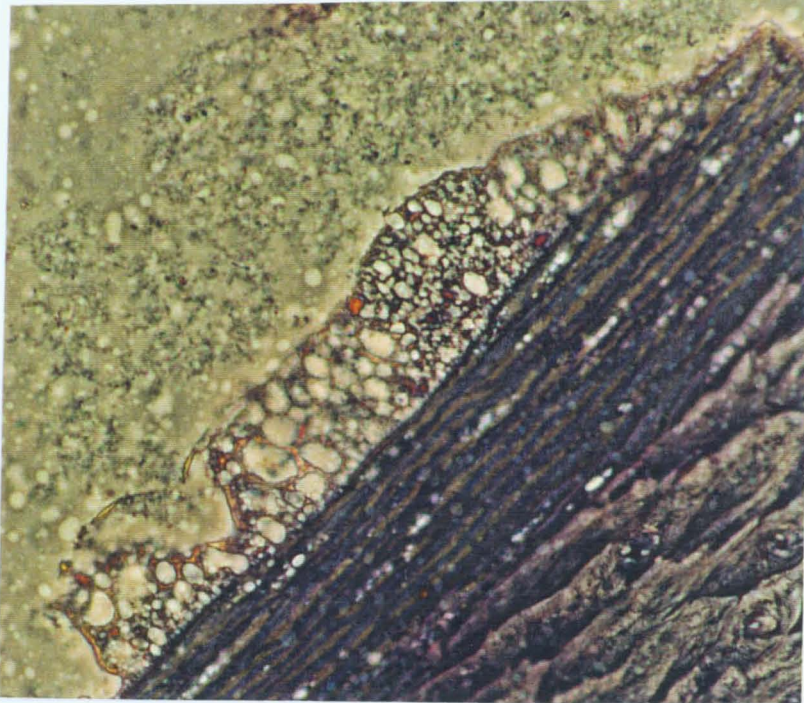


Fettkammern, in denen die Fettzellen heranwachsen
Vergr. 1000 x, Foto: Behrmann.

Fat chambers with outgrowings fat-cells.

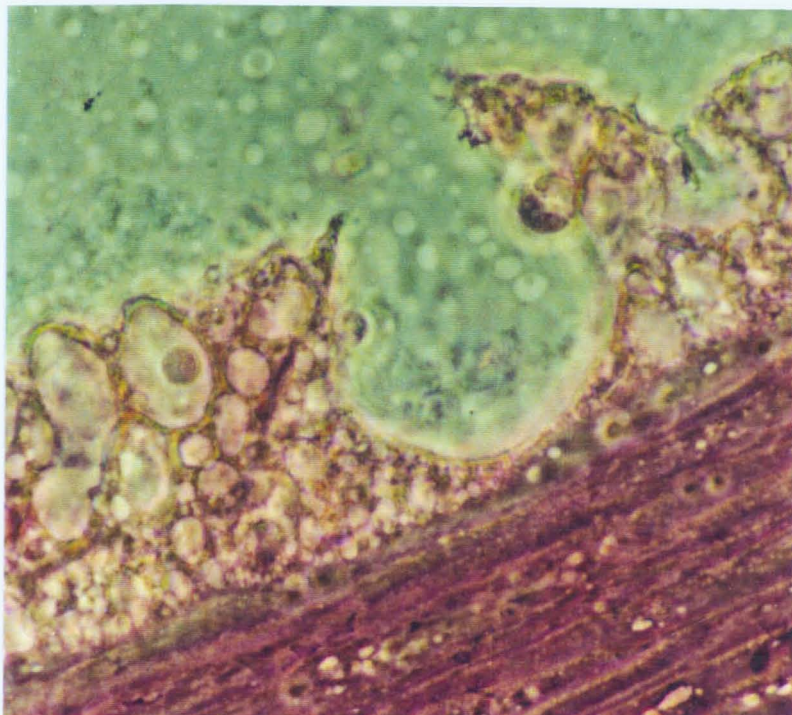
Magnification 1000 x, Foto: Behrmann

Unter der Epidermis liegt eine weitmaschige Lederhaut (Corium) mit dem sehr engmaschigen Immunsystem. Außerdem liegen im Corium viele kleine Fettkammern, in denen laufend Fettzellen (Lipide) produziert werden. Durch einen großen dunklen Kern unterscheiden sich diese subkutanen Fettzellen von den tiefer liegenden Fettzellen des Walspecks.



Auf der Haut liegt eine stabile wasserdichte Schutzschicht, die neben Zellplasma und Fettzellen viel Melanin enthält. Vergr. 400 x, Foto; Behrmann.

On the epidermas a waterproof protective layer exists, which beside the cell plasma and fat-cells aslo contains melanin. Magnification 400 x, Foto: Behrmann.

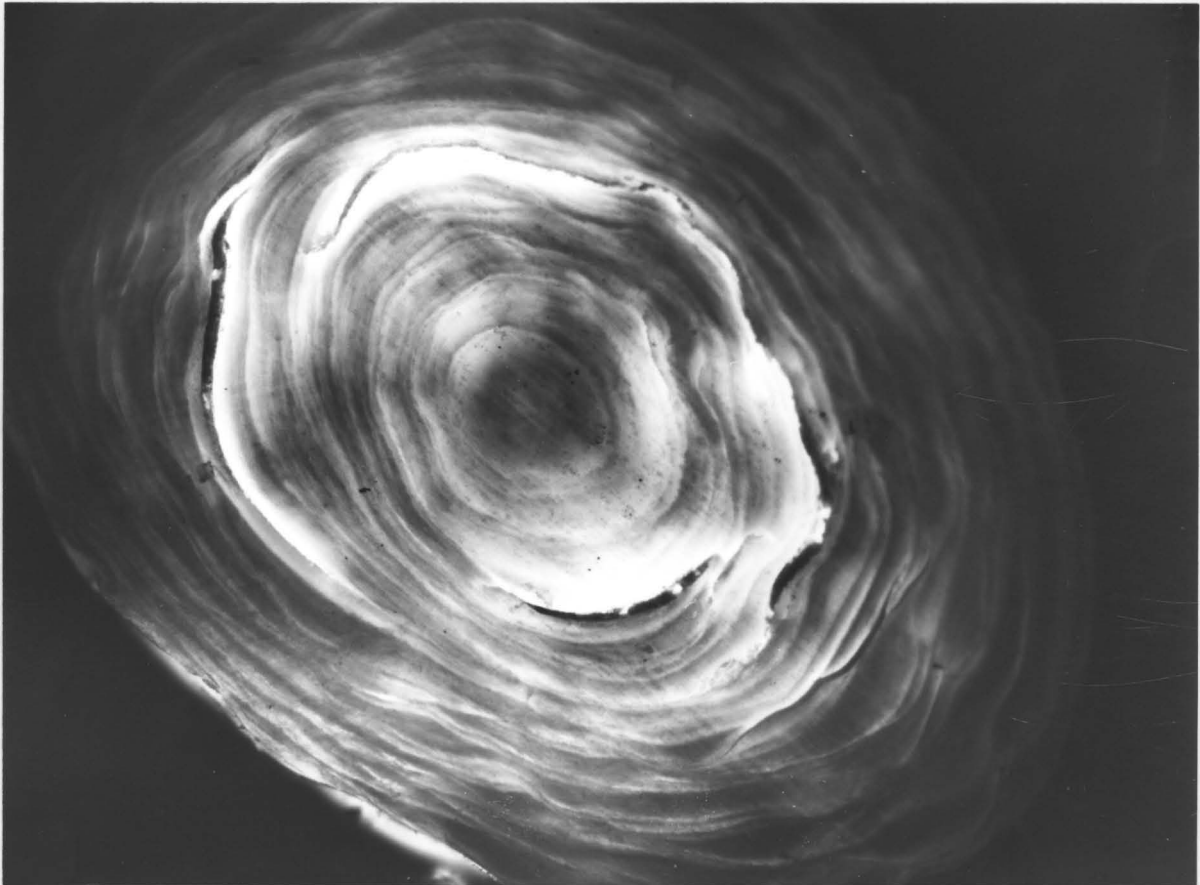


In der sich auflösenden Schutzschicht sind die Fettzellen gut zu erkennen. Vergr. 1000 x, Foto: Behrmann.

In the dissolving protective layer fat-cells are clearly visible. Magnification 1000 x, Photo: Behrmann.

Von den Fettkammern entlassen, dringen die Fettzellen durch Poren in die nagelförmigen Spitzen der Epidermis ein und werden sukzessiv zwischen den Stachelzellen abgelagert. So eingebettet in die Epidermis werden die Fettzellen mit den herauswachsenden Stachelzellen zur Oberfläche befördert. Durch Dehydrierung verflachen die Hautzellen, wodurch dann eine parakeratotische (hornhautartige) Schicht entsteht, die um die 300 µm dick ist. Gleichzeitig verringert sich auch der interzelluläre Raum, wobei dann die Fettzellen zusammengepresst werden. An der Oberfläche angekommen, zersetzt sich die äußere Zellschicht und blättert ab. Dabei wird das Zellplasma freigesetzt, das wieder Wasser aufnimmt und aufquillt. Gemeinsam mit dem Inhalt der Fettzellen, entsteht nun auf der Hautoberfläche eine wasserabweisende und schützende Gleitschicht. Bei der Auflösung des Hautschutzes werden große Mengen Melanin freigesetzt. Weil dieser Prozess kontinuierlich abläuft, ist das die Delphine umgebende Wasser mit Melanin angereichert.

Wir Menschen verwenden Hautcreme auch zum Transport von Medikamenten, die von der Haut aufgenommen werden und dann in den Körper eindringen. Wenn also Menschen Delphine berühren, kommen sie in Kontakt mit der Gleitschicht, die dann von der menschlichen Haut aufgenommen wird. Die Gleitschicht enthält zum eigenen Schutz der Delphine neben großen Mengen Melanin auch noch Abwehrstoffe (anti-fouling) die das Aufweichen und Faulen der Haut verhindern. So erklären sich die vielen erfolgreichen Heilverfahren, die mit Hilfe der Delphinen erzielt wurden.



Pottwalbulle: Querschnitt durch einen 6 mm dicken Ersatzzahn aus dem peridental Gewebe unterhalb eines bleibenden Unterkieferzahns, Vergr. 10 x.

(Foto: Behrmann)

Male sperm whale: cross section through a replacement tooth with a diameter of 6 mm, found in the peridental tissue of the lower jaw, below the permanent tooth, magn. 10 x.

(Photo: Behrmann)

Die warmblütigen Reptilien werden als die Vorfahren aller Säugetiere genannt (Thenius, 1979). Die mehrkronigen Praemolaren und Molaren der Säugetiere sind durch die Verschmelzung einzelner kegelförmiger Reptilienzähne (haplodonte Zähne) entstanden (Starck, 1982). Hiermit wäre nun auch erklärbar, wie das heterodonte Gebiß der Urwale entstanden ist.

Literatur - References

- Abel, O. 1984: Über die Hautpanzerung fossiler Zahnwale. Beitr. z. Paläont. u. Geol. Österr.-Ungar. u. d. Orients, Bd. XIII, 297 -317
- Abel, O. 1911: Grundzüge der Palaeobiologie der Wirbeltiere. Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart.
- Albert, C. & Jr. Mykrick, K. Pamela, Y. and L. H. Cornell, 1988: Toward calibrating dentale layers in captive killer whales by use of tetracycline labels. In: J. Sigurjónson & S. Leatherwood (eds.): North Atlantic Killer Whales. Journal of the Marine Research Institute, Reykjavik, Vol. XI: 285-296.
- Albrecht, P. 1886: Über die cetoide Natur der Promammaliae. Anat. Anzeiger Jahrg. 1.
- Arneson, U. 1974: Phylogeny and Speciation in Pinnepedia and Cetacea - a. Cytogenetic Study, Lund.
- Barnes, L. G., D. P. Domning & C. E. Ray, 1985: Status of Studies on Fossil Marine Mammals. Marine Mammals Science 1/1, 15 - 51.
- Baum, C. et. Al., 2000: Acryo-scanning electron microscopic study Of the skin surface of the pilot whale (*Globicephala melas*). Aquatic Mammals 26/1: 7 - 16
- Behrmann, G. 1982: Schlüsselbeine beim Schwertwal *Grampus orca*. Der Präparator 28/1, 201 - 204. Bochum.
- Behrmann, G. 1983: Funktion und Evolution der Delphinnase. Natur und Museum 113/3, 71 - 79. Senckenberg Frankfurt a. M.
- Behrmann, G. 1985/98: Evolution der Wale. Herausg. Senator für Wissensch. u. Kunst; Senator f. Bildung Bremen.
- Behrmann, G. 1985: Pelvis und Femur vom Pottwal (*Physeter macrocephalus*). Der Präparator 31/4, 157 - 161. Bochum.
- Behrmann, G. 1987: Die Funktion von Sinnesorganen caudal der Ohrkapseln (*Bulla tympanica*) bei Zahnwalen (*Odontoceti*). Lutra Vol. 30, 113 - 122. Leiden.
- Behrmann, G. 1987: Morphology and histology of the laryngeal sac of toothed whales. Aquatic Mammals 13/3, 119 - 121.
- Behrmann, G. 1989: The Cartilaginous rostrum and the associated rostral sense-organ of toothed whales (*Odontoceti*). Lutra Vol. 32, 152 - 163. Leiden.
- Behrmann, G. 1989: The olfactory regions in the nose of the harbour porpoise *Phocoena Phocoena* (Linné, 1758). Aquatic Mammals Vol. 15/3, 130 - 133. London.
- Behrmann, G. 1990: The pineal organ (*Epiphysis cerebri*) of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* (Linné, 1758), Aquatic Mammals Vol. 16/3, 96 - 100. London.
- Behrmann, G. 1990: Die peripheren Nerven in der Zunge und Papillen des Schweinswals *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). Meer und Museum B. 6, 42 - 46. Stralsund.
- Behrmann, G. 1991: The nervous end-corpuscles in the post-bullar sense-organ of the harbour porpoise *Phocoena phocoena*. Lutra Vol. 34, 37 - 39. Leiden.

- Behrmann, G. 1991: The nervous end-corpuscles of the rostral sense-organ of the harbour porpoise *Phocoena phocoena*. *Lutra* Vol. 34, 37 - 39. Leiden.
- Behrmann, G. 1992: The peripheral nerve endings in the skin of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). Brüssel Symposium "Whales: Biology - Threats - Conservation" Proceedings (ed. by J. J. Symoens), 149 - 156.
- Behrmann, G. 1992: Cytoarchitectonic studies of the cortex of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). Proceedings of the 6th Annual Conference of the European Cetacean Society, San Remo, 207 - 208.
- Behrmann, G. 1993: How toothed whales (Odontoceti) protect their inner ear against pressure waves? *Lutra* Vol 36, 30 - 38. Leiden.
- Behrmann, G. 1893: Cytoarchitectonic Studies of the Cerebral Cortex of the Harbour porpoise *Phocoena phocoena* (L., 1758). Investigation on Cetacea XXIV, 261 - 285. Paciano/Italy.
- Behrmann, G. 1994: Die Bewegungskoordination des Penis während der Kopulation beim Schweinswal *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). *Säugetierkundlich Inf.*, 3/18, 611 - 616. Jena.
- Behrmann, G. 1995: Der Bartenwal aus dem Miozän von Groß-Pampau (Schleswig-Holstein). *Geschiebe* aktuell 11/4, 119 - 126. Hamburg.
- Behrmann, G. 1995: Een Acneachtige huidziekte bij de bruinsvis. *Marswin* 16/2: 81 - 84, Belgien.
- Behrmann, G. 1996: Calcareous concretions in the skin of toothed whales (Odontoceti). *Arch. of Fishery and Marine Research* 43 (2): 183 - 193. Hamburg.
- Behrmann, G. 1996b: De knobbeltjes op de rug-, staart- en borstvinnen van de bruinvis *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). *Marswin* 17/3, 67 - 76. Belgien.
- Behrmann, G. 1997a: Anatomie des Zahnwalkopfes B 1 & 2. *Lebensraum "Meer"*, H. 13: 1 - 317. Bremerhaven 1998 - 2000.
- Behrmann, G. 1997b: Phylogenese und Odontologie des homodonten Gebisses der Zahnwale. *Lebensraum "Meer"* H. 10, 75 - 91, Nordseemuseum Bremerhaven.
- Behrmann, G. 1997c: Das akustische Orientierungssystem der Zahnwale. *Lebensraum "Meer"* H. 12: 1 - 147. Nordseemuseum Bremerhaven.
- Behrmann, G. 1998: Die Hautfarben der Wale. *Lebensraum "Meer"* Heft 18: 1 - 25. Nordseemuseum Bremerhaven.
- Behrmann, G. 1998: The origin of the skin colour of Whales. *Tendenzen*, Bremen.
- Behrmann, G. 2001: Der natürliche Hautschutz der Wale. *Lebensraum „Meer“* Heft 23: 1 - 10.
- Behrmann, G. 2001: Odontologie bezahnter Wale. *ZMK, Magazin für Zahnheilkunde* 17. Jahrgang, Nr. 3: 100 - 105.

- Behrmann, G. 2001: Alterbestimmungen der Pottwale mithilfe von Zahnstrukturen. ZMK, Magazin für Zahnheilkunde 17. Jahrgang, Nr. 7/8: 403 - 407.
- Behrmann, G. 2003: Odontologie bezahnter Wale. Lebensraum "Meer" Heft 23, 1 - 44. In: G. Behrmann, Sondedruck zur Evolution der Wale.
- 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 le Cétacés à dents, et en particulier sur le cachalot. *Bulletin de L'institut Océanographique, Monaco*, Vol 48, 991: 1-28.
- Broek, van den, A. J. P., Oordt, van G. J. & G. C. Hirsch 1938: Harnorgane. In: Bolk et al., *Handbuch der vergleich. Anatomie der Wirbeltiere* B.5, 683 - 894. Verlag Urban & Schwarzenberg Berlin.
- Burmeister, H. 1869: Descripcion de cuatro especies de Delfinides de la costa argentina an el Océabo atlantico. *Anales Mus. publ. Buenos Airos* 1, 360.
- Carroll, R. L., 1993: Paläontologie und Evolution der Wirbeltiere. (Übersetzt von W. Maier und D. Thies). Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York, 1-499. Edmund, A. G., 1969: Dentition. In: C. Gans (ed.): *Biology of the Reptilia*, Vol. V: 117-200. Academic Press London-New York.
- Edmund, A. G. 1960: Tooth replacement phenomena in the vertebrates. University of Toronto Press.
- Fleischhauer, K., 1985: Der Verdauungsapparat. In.: A. Benninghoff (Ed.): *Makroskopische und mikroskopische Anatomie des Menschen*, B 2: 153-170. Verlag Urban und Schwarzenberg, München-Wien.
- Flower, W. H. 1870: *An Introduction to the Osteology of the Mammalia*. London.
- Flower, W. H. 1884: On Whales, present and past and their probable origin. *Proc. Tool. Soc. London*, Vol 21, 466 - 513.
- Fraas, E. 1888: *Württembergisches Jahreshaft*, S. 121.
- Gaskin, D. E. 1982: *The Ecology of Whales and Dolphins*. Verl. Heinemann London.
- Gingerich, P. D., Russell D. E. & S. M. I. Shah, 1983: Origin of Whales in Epicontinental Remnant Seas: New Evidence from the Early Eocene of Pakistan. *Science*, Vol. 220, 403 - 406.
- Gingrich, P. D., Smith, B. H. & E. L. Simons 1990: Hind limbs of the Eocene *Basilosaurus*, evidence of feet in whales. *Science*, 154.
- Grabert, H. 1983: Der Amazonas - Geschichte eines Stromes zwischen Pazifik und Atlantik. *Natur und Museum*, 113/3, 61 - 71. Frankfurt a. M.
- Hertwig, O. 1886: *Entwicklung des Menschen und der Wirbeltiere*. Verl. G. Fischer-Jena.
- Hombach, U. 1981: *Morphogenese des Chondocraniums von Physeter Macrocephalus L.*. Dissertation Frankfurt.

- Howell, A. B. 1930: Aquatic Mammals. Springfield u. Baltimore 1-338..
- Janke, A. 1994: Molekulare Spuren der Säugetierevolution. Futura 1/94, 16 - 18.
- Junqueira, L. C., J. Carneiro & R. O. Kelley, 1992. Basic Histology. Springer-Verlag, Heidelberg: 1-518.
- Kämpf, L., Kittel, R. & J. Klapperstück: Leitfaden der Anatomie der Wirbeltiere. Verl. G. Fischer Jena.
- Kanwisher, I. W. & S. H. Ridgway 1983: Anpassung ans Meer. Spektrum der Wissenschaften, Verlagsgesellschaft Heidelberg.
- Kellogg, E. 1936: A review of the archaeoceti. Carnegie Inst. of Washington, Publ. 482.
- Klima, M. 1978: Comparison of early development of sternum and clavicle in striped dolphin and in Humpback Whale. The Scientific Reports of the Whales Research Institut Nr. 29, 253 - 269.
- Klima, M., Oelschläger, H. & D. Wünsch 1980: Morphology of the pectoral girdle in the Amazon dolphin *Inia geoffrensis* with special reference to the shoulder joint and the movements of the flippers. Zeitschr. f. Säugetierkunde B. 45/5, 288 - 309.
- Klima, M. & W. Maier, 1988: Körperbau, Anatomie. In: B. Grizmek (Ed.): Grizmek Enzyklopädie B 1, 58 - 85.
- Klima, M., 1992: Schwimmbewegungen und Auftauchmodus bei Walen und bei Ichtyosaurier. Natur und Museum B122/1, 1 - 17 und B. 1/2, 73 - 89. Frankfurt a. M.
- Koopman. H. N., A. J. Wesrgate, A. J. Read & D. E. Gaskin, 1995: Blood Chemistry of Wild Harbour Porpoise *Phocoena phocoena* (L.). Marine Mammals Science 11/2: 123 135.
- Kükenthal, W. 1890: Über die Reste eines Hautpanzers bei Zahnwalen. Anatomischer Anzeiger 5/8, 237 - 240.
- Kükenthal, W. 1893; Walthiere. Verl. Fischer Jena, Taf.XXV.
- Kull, U. 1983: Evolution. Metzlersche Verlagsbuchh. Stuttgart.
- Lockyer, Ch., 1993: A Report on Pattern of Deposition of Dentin and Cement in Teeth of Pilot Whales, genus *Globicephala*. In: G. P. Donovan (ed.) Biology of the Northern Hemisphere Pilot Whales. Report of the International Whaling Commission, Special Issue 14: 137-161. Cambridge.
- Masaharu Nishiwaki 1972: General Biology. In: S. H. Ridgway (Ed.), Mammals of the Sea. Thomas Publisher Springfield-Illinois-USA, 3 - 200.
- Milinkowitsch, M. C., Orti G. & A. Meyer 1993: Resived phylogeny of whales suggested by mitochondrial ribosomal DNA-sequences. Natur 361 - 348.
- Milionkowitsch, M. C., Orti, G. & A. Meyer 1995: Novel phylogeny of whales revisited, Mol. Biol. Evol. 12/3, 518 - 520.
- Owen, R. 1839: Observation on the *Basilosaurus* of Dr. Harlan (*Zeuglodon cetoides* Owen). Trans. Geol. Soc. London Vol 6/2, 69 - 79.

- Owen, R. 1865 - 1881: Monograph of the fossil reptiles of the Liassia Formation. Paleont. Soc. London.
- Müller, A. H. 1970: Lehrbuch der Paläozoologie, Mammalia, B.3/3. Fischer-Verlag Jena.
- Novacek, M. J. 1992. Mammalian phylogeny: shaking the tree. Natur Vol. 356, 121 - 125.
- Nover, L., Luckner, M. & B. Parthier 1978: Zelldifferenzierung. Molekulare Grundlagen und Probleme. G. Fischer-Verl. Jena.
- Pernkopf, E. D, & J. Lehner 1937: Vergleichende Beschreibung des Vorderdarms bei den einzelnen Klassen der Cranioten. In: Bolk et al., Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere B.3, 349 - 474. Verlag Urban & Schwarzenberg Berlin.
- Peyer, B. 1931: Hartgebilde des Integumentes. In: L. Bolk et al. (Eds) Handbuch der Vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere B1:703-751.
- Peyer, B., 1937: Zähne und Gebiß. In: Bolk et al. (Eds.): Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere B 3: 49-90. Verlag Urban & Schwarzenberg, Berlin-Wien.
- Peyer, B. 1968: Comparative Odontology. University of Chicago Press: 1-347.
- Portmann, A. 1963: Welche Tiere besitzen die differenziertesten Gehirne? Umschau H18, 536 - 566.
- Ray 1693: zitiert in Slijper 1973.
- Remane, A. 1936: Die Wirbelsäule und ihre Abkömmlinge. In: Bolk et al., Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere B.4, 1 - 206. Verlag Urban & Schwarzenberg Berlin.
- Remane, A. Storch V. & U Welsch 1976: Systematische Zoologie. Fischer-Verlag Stuttgart.
- Ridgway, S. H. 1972: Mammals of the sea. Ch. Thomas Publisher, Springfield Illinois USA.
- Romer, A. S. 1959: Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. Verl. P. Parey Hamburg.
- Rothausen, K. 1968: Die systematische Stellung der europäischen Squalodontidae (Odontoceti). Paläont. Zeitschrift Vol.42/1 und 42/2: 83 - 104.
- Rothausen, K. 1985: The early evolution of cetacea. In: Dunker & Fleischer (Eds.): Vertebrate Morphology, 143 - 147. Fischer Verlag Stuttgart.
- Scheffer, V. B. & A. C. Myrick, 1980. A Review of Studies to 1970 of Growth Layers in the Teeth of Marine Mammals. Rep. Int. Common Special Issue 3: 51-63.
- Schildger, B. 1986: Die externe Morphologie und Wachstumsprozesse der drei Delphinarten. Dissertation Gießen.
- Simpson, G. G. 1935: The first Mammals. Quart. Rev. Biology. Vol 10/2.
- Simpson, G. G. 1959: American Cretaceous insectivores. Amer. Mus. Novitates Nr. 1541.

- Slijper, E. J. 1961: Riesen des Meeres. Springer-Verlag Göttingen.
- Slijper, E. J. 1973: Die Cetaceen, vergleichend-anatomisch und systematisch. Verl. A. Asher & Co B. V. Amsterdam.
- Slijper, E. J. 1979: Whales. Hutchinson & Co (Publishers) London. Second Edition.
- Smith, A. G. Hurley, A. M. & J. C. Briden, 1982: Paläokontinentale Weltkarte des Phanerozoikums. F. Enke-Verlag Stuttgart.
- Spearman, R.,-L.-C., 1973: The integument. A textbook fo the skin Biology. Cambridge University Press: 101 – 176.
- Starck, D., 1982: Darmkanal. In: Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere, B 3: 716-748. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Steinmann, G. 1908: Die geologischen Grundlagen der Abstammungslehre, Säuger 231 - 265. Verl. W. Engelmann - Leipzig.
- Steinmann, G. 1909: Zur Abstammung der Säuger. Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- und Vererbungslehre B. 2, 65 - 90.
- Thenius, E. 1976: Protein-Evolution und "adaptive" Evolution. Natur und Museum 106/12, 363 - 372.
- Thenius, E. 1979: Die Wale Cetacea, in: Die Evolution der Säugetiere, 174 - 181. G. Fischer-Verlag Stuttgart.
- Thewissen, J. G. M., Madar, S. I. & S. T. Hussain, 1996: Ambulocetus natans, an Eocene cetacea (Mammalia from Pakistan). Courier Forsch. Inst. Senckenberg, 191: 1 - 86.
- Valen, van L. 1968: Monophyly or diphyly in the origin of whales. Evolution Vol. 23, 37 - 41.
- Weidenreich, F. 1933: Gefäßsystem. In: Bolk et al., Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere B.6, 375 - 450. Verlag Urban & Schwarzenberg Berlin.
- Weber, M. 1886: Ursprung der Cetacea. In: Studien über Säugetiere. Verl. G. Fischer - Jena.

Lebensraum „Meer“
Heft 10

Nachtrag 2005

Ergänzende Beiträge
zur Anatomie bezahnter Wale
(Odontoceti & Physetericeti)

von
Günther Behrmann

Centre of Marine Research and Investigations of Cetacea
Bremerhaven 2005

A m b r a

Bis heute ist es nicht gelungen Ambra zu synthetisieren, an Versuchen hat es nicht gefehlt, denn Ambra ist für die Kosmetikindustrie ein sehr begehrter Grundstoff. Weil echtes Ambra außerdem noch sehr selten, und deshalb auch sehr teuer ist, werden auch immer wieder, bewusst oder unbewusst, Fälschungen angeboten.

Fälschungen

sind dem Ambra oft täuschend ähnlich, stinken auch, als wären sie eben aus dem Darm entwichen. Vom Schmutz befreit und getrocknet haben diese eine gelbliche Färbung. Erwärmt man solch eine Fälschung, riecht die paraffinartige Masse nach Phenol. Man findet solche Klumpen besonders häufig an Stränden, die in der Nähe von Ölbohrinseln liegen. Dort entstehen beim Bohren solche Wurster Küste werden solche Abfälle gefunden. paraffinartigen Abfälle, die dann vom Meer zum Strand transportiert werden. Auch an den deutschen Küsten werden solche Abfälle gefunden.

Vor Fälschungen kann man sich nur schützen, wenn man das richtige Ambra erkennen kann.

Ambra

entsteht aus Nahrungsresten im Darm der Pottwale und wurde bisher bei keiner anderen Walart gefunden. Die Hauptnahrung der Pottwale sind Tintenfische, deren hornartige Saugnapfringe, Schnäbel und Schulpe unverdaulich sind. Durch die Peristaltik des Darmes werden die Horne zerrieben und bilden ein Geflecht. Zwischen diesem wird nun alles eingelagert, was der Körper nicht benötigt oder durch Verletzungen der Darmwände neu entsteht. Kleinere Klumpen, von dunklen Kotresten umgeben, verlassen auf natürlichem Wege den Pottwal (Abb. 1). Wird ein Ambraklumpen so groß, dass er den Darm nicht mehr auf natürlichen Wege passieren kann, führt dieser Darmverschluss zum Tode. Etwa jeder 200. Pottwal stirbt daran. Der größte jemals gefundene Ambraklumpen war 417 kg schwer (Abb. 2).

Weil Ambra leichter als Wasser ist, das spezifische Gewicht liegt um 0.910, wird es vom Wasser verfrachtet. Wird dann ein Ambraklumpen am Strand gefunden, riecht er gar nicht gut und kann so mit dem oben beschriebene

Wachsklumpen verwechselt werden. Doch wenn die Kotreste entfernt und der Klumpen getrocknet ist, hat der echte Ambraklumpen eine hellgraubraune Farbe (Abb. 3). Bricht man ihn dann auf und sein Inhalt erstrahlt weiß, hat man das reinste und teuerste Ambra. Für reines, strahlend weißes Ambra (Abb. 4) werden pro Kilogramm über 10.000 \$ gezahlt. Überprüfen kann man seinen Fund nun, indem man ihn sehr nah an eine Wärmequelle hält, Experten benutzten dafür eine glühende Zigarette, entweicht ein süßlicher moschusartiger Duft (Schubert in Pax, 1962).

Seit der Antike ist Ambra der begehrteste Duftstoff and schon Cleopatra hat ihn mit Gold aufgewogen. In früheren Zeiten wurde Ambra auch als Aphrodisiakum oder als Beruhigungsmittel verabreicht. Seinen hohen Wert hat es bis heute behalten, denn Ambra ist ein Duftträger, der andere Duftöle einbindet. Hochwertige Parfüme, die ihren Duft über einen längeren Zeitraum und über mehrere Wäschen behalten, enthalten Ambra. Über +90° C sollte man aber nicht waschen, denn dann verflüchtigt sich Ambra.

Als Hauptduftlieferant wird das kristalline Ambrein angenommen (Abb. 7); die dazugehörige chemische Formel (Abb. 5) fand ich im Dictionary of Common Names, Vol. 1. Dieses Gitternetz erinnert an die Formel von Cholesterin. Die Bilder (Abb 7 bis 10) und Elementen Analyse (Abb. 6) zeigen, dass neben dem Ambrein noch andere hochmolekulare Fettalkohole zwischen den Hornfasern eingelagert sind. Vergrößerungen dieser Körnchen zeigen cholesterin- oder wachsartige Kristallstrukturen (Abb. 8 und 9), von denen einige das Licht besonders stark reflektieren (Abb. 7 und 10).

In hochprozentigem Alkohol lösen sich alle diese bekannten und unbekanntes Fette und Fettalkohole auf, vermischt mit anderen Duftölen werden sie dann zum langfristig duftenden Parfüm.

Weil die Pottwale bis heute ihr Produktionsgeheimnis nicht verraten haben, ist es bis heute nicht gelungen einen gleichwertigen Ersatz zu produzieren, deshalb wird trotz des Handelsverbotes mit Walprodukten heute noch Ambra gehandelt und verwertet.

Literatur

Pax, Ferdinand 1962: Meeresprodukte. Verlag Gebr. Bornträger Berlin.
Dictionary of Common Names – Trivialnamen-Handbuch,
Edited by FIZ Chemie, Berlin, Verlag: Weinheim New York.

Für ihre Hilfe bei den Arbeiten am Scanning Electron Microscope bedanke ich mich bei Frau Ute Bock, AWI Bremerhaven.

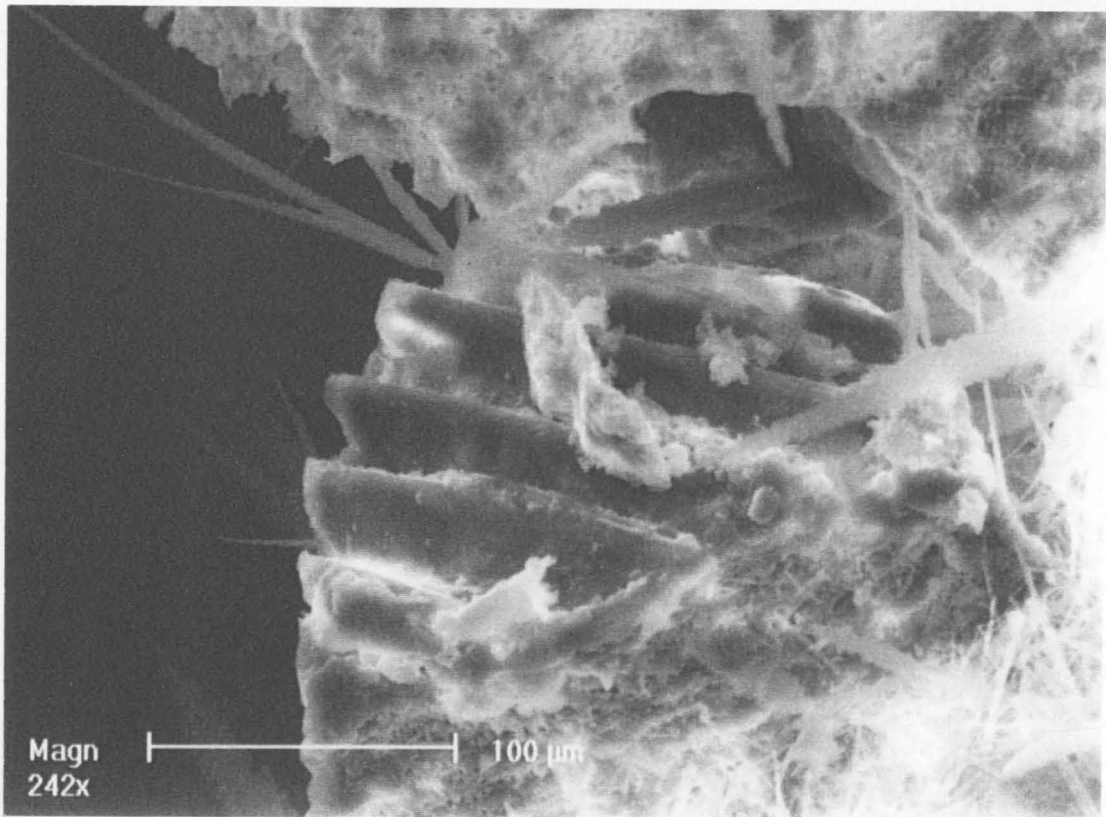


Abb. 9. Cholesterinförmige Wachskristalle. REM-Foto Bock.

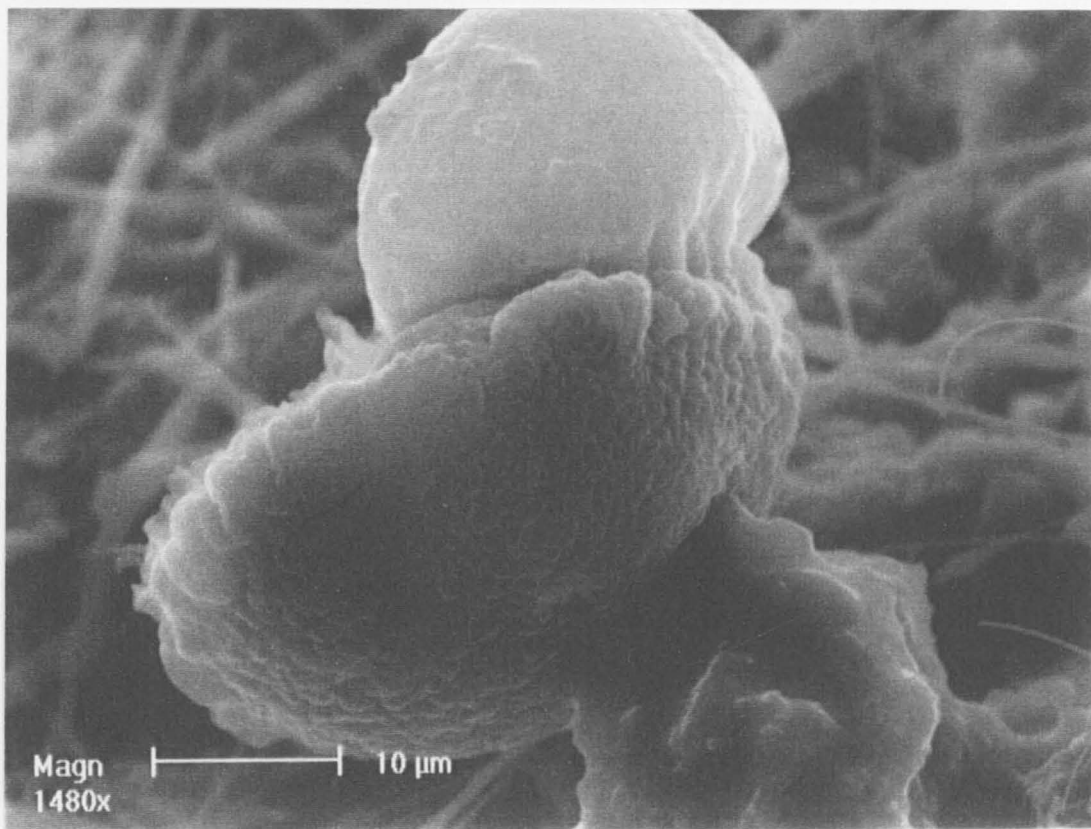


Abb. 10. Stark reflektierendes Ambrein. REM-Foto Bock.

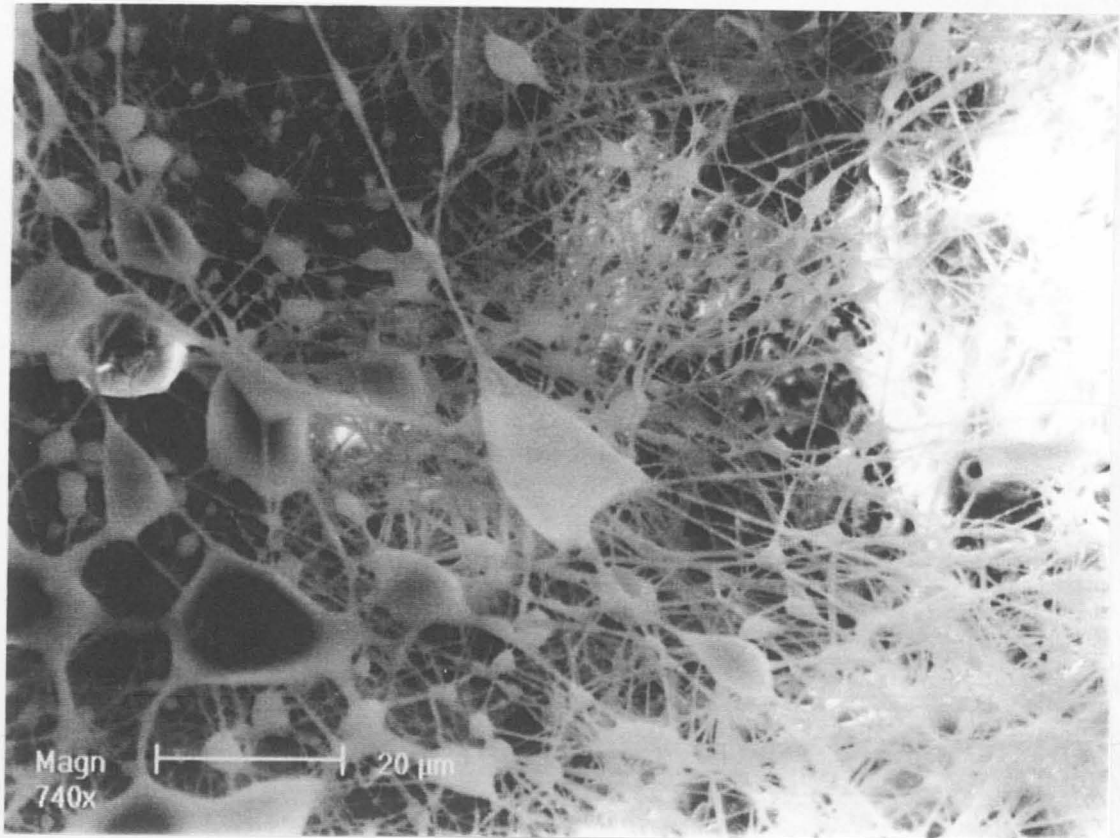


Abb. 7. Die starke Reflektion der Hornfasern entsteht durch Anlagerung von Calcium. REM-Foto Bock.

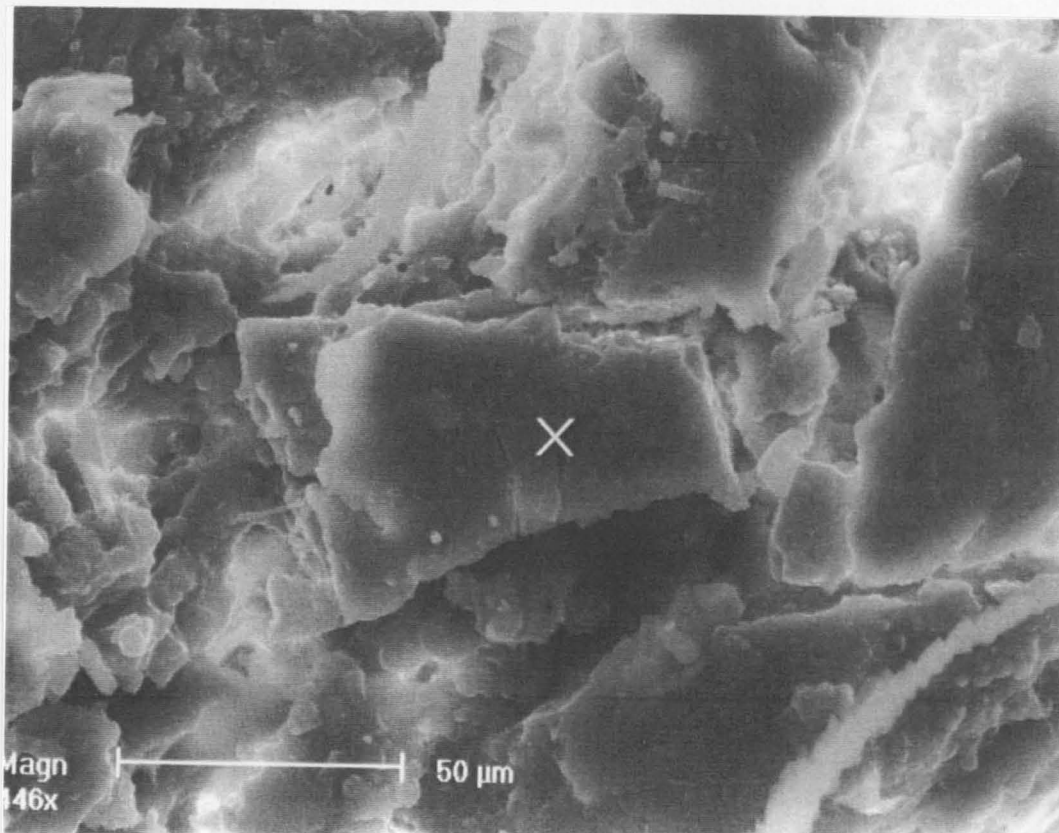


Abb. 8. Wachsplattenartige Fettalkohole. REM-Foto Bock.

Ambrein		A 0948-92	
Ambrein		(dt.)	
MF	C30 H52 O		J. Am. Chem. Soc. 81 (1959), 1739-43
CAS	473-03-0	Stereo	Bibliogr.

Abb. 5. Die chemische Formel vom Ambrein.

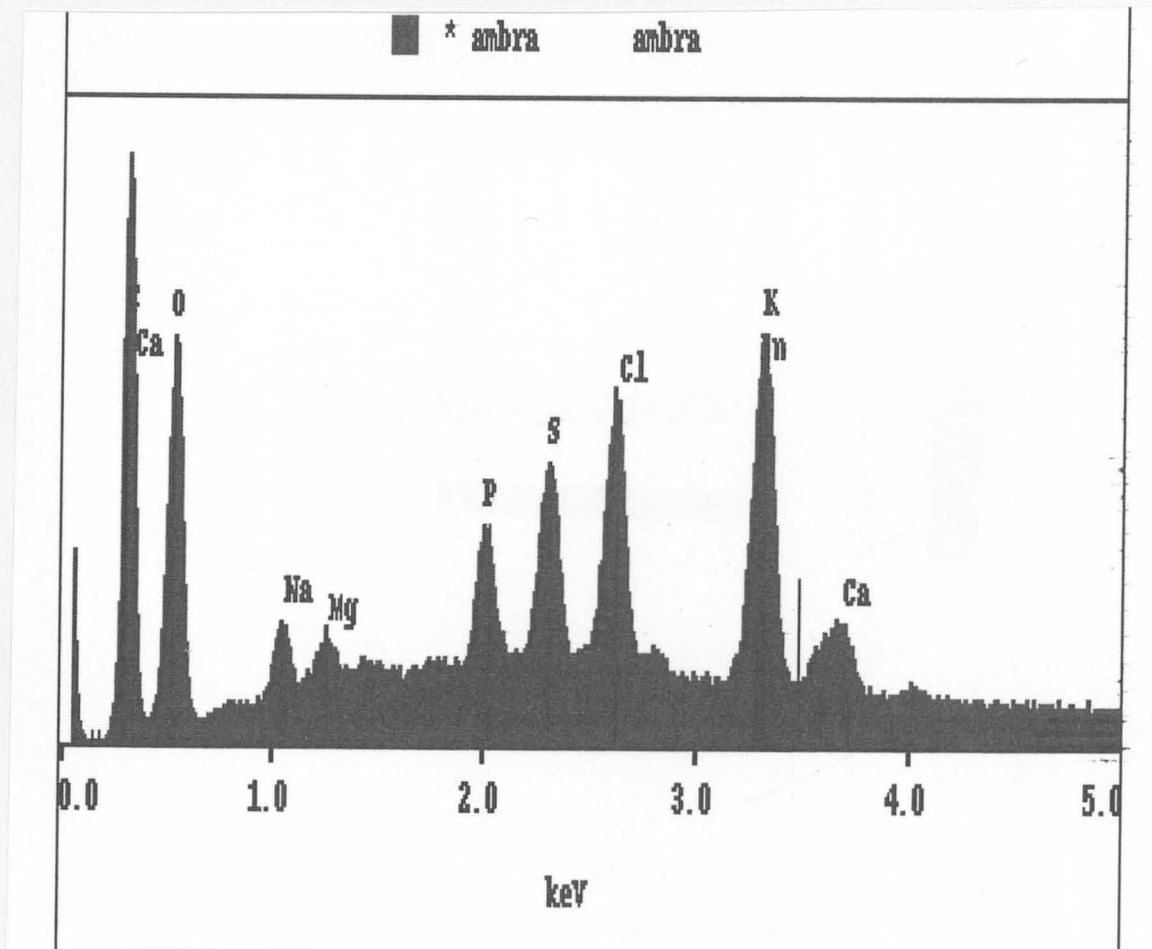


Abb. 6. Was sonst noch zwischen den Hornfasern eingelagert ist.

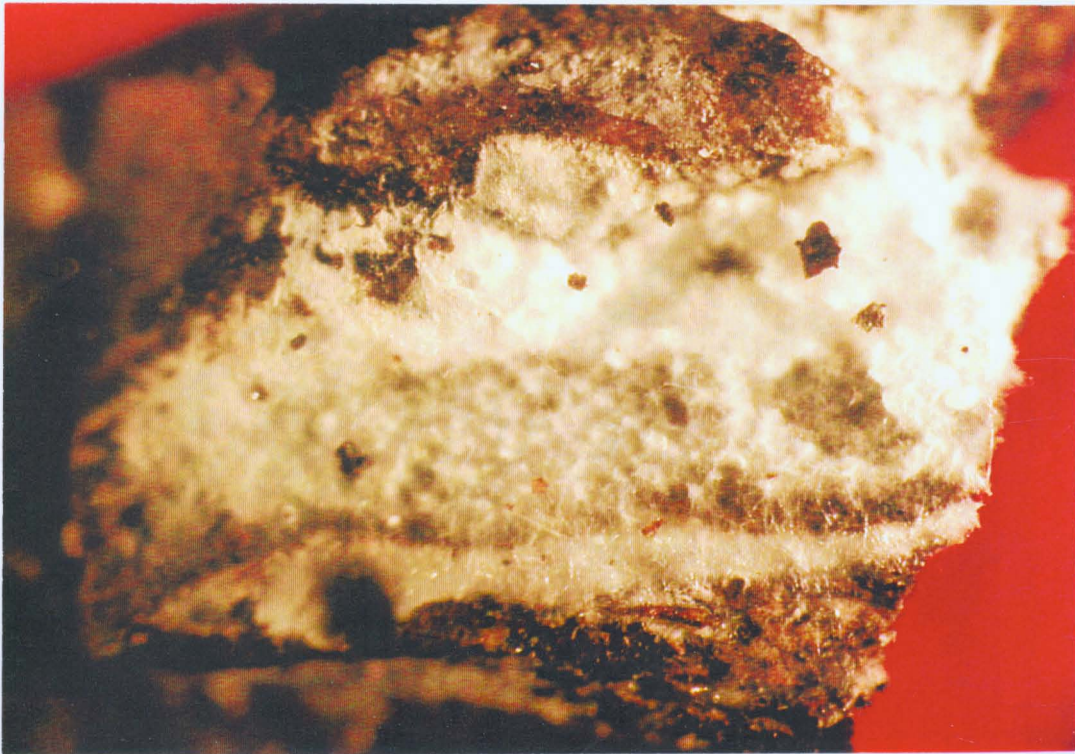


Abb. 3. In dem etwa 1 cm großen Abbruch erkennt man die bedeckende Schicht aus Kotresten, eine stark reflektierende weiße Fläche und einzelne Hornfasern. Foto: Archiv Behrmann, Vergr. 10 x.

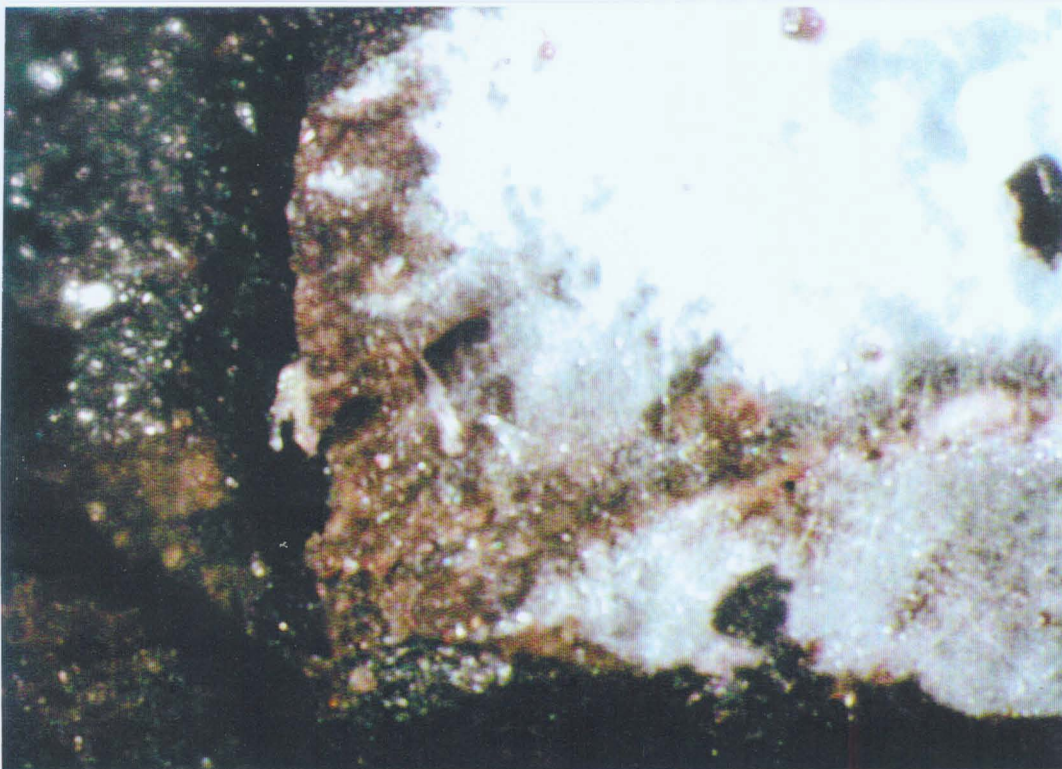


Abb. 4. Zwischen den Kotresten leuchten die Ambreinkristalle wie Sterne. Die stark reflektierende weiße Fläche ist reines Ambra. Foto: Archiv Behrmann, Vergr. 20 x.



Abb. 1. Ein etwa 5 cm großer Ambraklumpen, der für die Untersuchungen verwendet wurde (Archiv Behrmann).

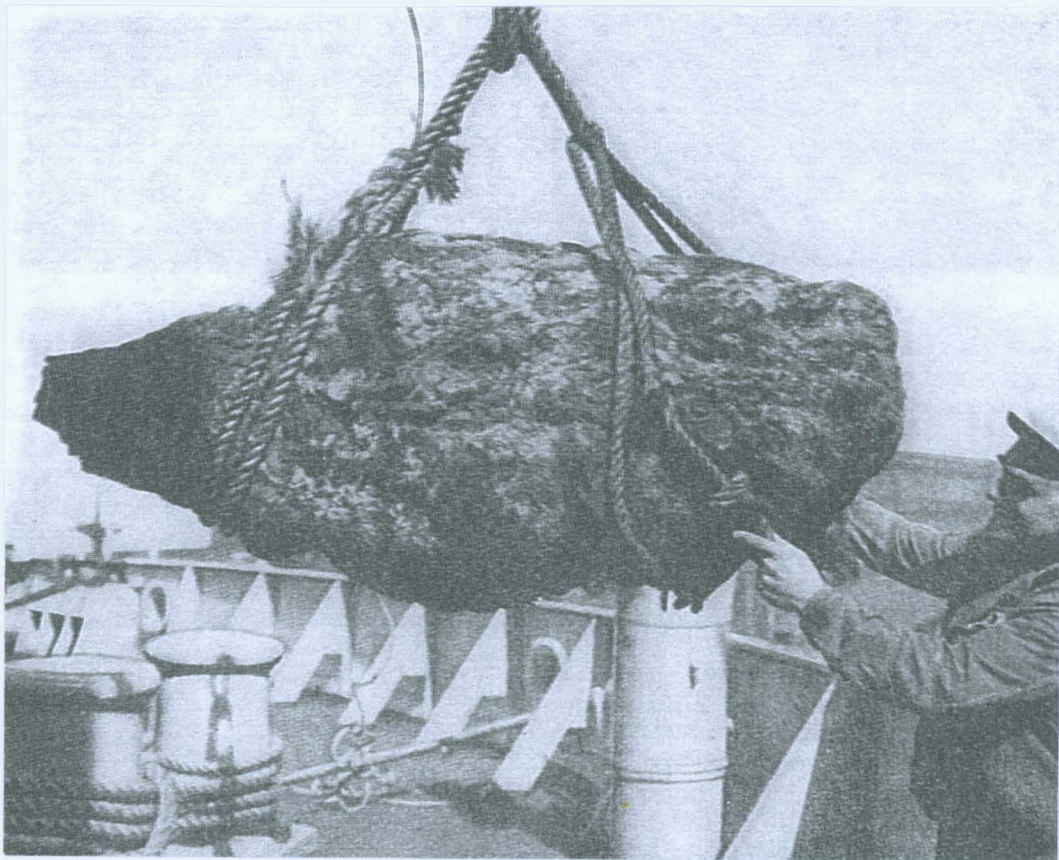


Abb. 2. Mit dem Fund dieses 417 kg schweren Ambraklumpens war die Rederei saniert (Pax, 1962 nach Salvesen & Co 1953)