

Über die Bildung von Perlmutter und Perlen

On the formation of mother-of-pearl and pearls

H. A. HÄNNI, Basel

Zusammenfassung

Der Artikel faßt wichtige Erkenntnisse über die Entstehung von Perlmutter und Perlen aus der Literatur zusammen und vergleicht sie mit eigenen Beobachtungen an echten Perlen und Zuchtperlen. Perlmutter und Perlen zeigen im Wesentlichen den gleichen Aufbau und werden vom äußeren Mantel-epithel der Muscheln gebildet. Das Epithel durchläuft drei Stadien, in denen es in Folge Periostrakum, dann säulenförmiges Calciumcarbonat und schließlich dünnförmiges Calciumcarbonat abscheidet. Diese Reihenfolge läßt sich auch von innen nach außen bei echten Perlen finden. Bei Zuchtperlen überträgt man mit dem Epithelstückchen die Fähigkeit der Perlmutterbildung an eine andere Stelle. Das Epithelstückchen, das zum Perlsack auswächst, fährt entsprechend seinem Alter im Zyklus mit seinen Produkten weiter. Im Artikel werden die Verhältnisse bezüglich des Aufbaus in echten Perlen, Zuchtperlen ohne Kern und Zuchtperlen mit Kern verglichen. Im Anhang werden die Nomenklaturvorschriften der CIBJO kurz erläutert und ihre Wichtigkeit unterstrichen.

Abstract

From various papers dealing with nacre and pearls, the formation can be related to the subsequent production of periostracum, columnar and finally tabular calcium carbonate (nacre) by the same outer mantle epithelium, in function of time. The same sequence of products can be found in natu-

ral pearls from the centre to the rim of the pearl. The transplantation of an epithelium graft to another animal or organ in the shell means that a micro chip brings the know-how of nacre forming to a place with no tradition of pearl forming. The graft grows to an entire pearl sac, shedding the product related to its age towards the centre. This article compares the structures in natural pearls, non-nucleated and bead nucleated cultured pearls in the light of the development of products of the mantle tissue. In an appendix, the CIBJO nomenclature rules for pearls are coarsely remembered and their importance underlined.

Einleitung

Will man sich in der gemmologischen Literatur über Perlenbildung informieren, so findet man selten Primärliteratur welche auf eigenen Beobachtungen und Untersuchungen basiert. Die Forschungsergebnisse aus dem biologischen Sektor, publiziert in Fachbüchern und -zeitschriften, sind oft schwer zugänglich, meist spezialisiert und behandeln oft nur Teilaspekte der uns interessierenden Themen. So bleibt man dann oft bei der „Sandkörnchen-Theorie“ der Perlenentstehung, obwohl diese einige unbefriedigende Seiten zeigt. Warum sollte ein Tier, das im Wasser am Boden lebt, mit den Stoffen seiner natürlichen Umgebung Probleme bekommen? Wie kann ein inaktives Sandkorn unter die Haut, in die Tiefe des Gewebes kommen? Wo es doch soviel Sand gibt, warum denn nur so wenige Per-

len? Warum zeigen Querschnitte echter Perlen nicht immer die gleiche Abfolge im Aufbau? Fragen dieser Art motivierten den Autor immer wieder, sich in den interdisziplinären Raum zwischen Mineralogie und Biologie zu begeben und an der Lösung der offenen Fragen zu arbeiten. Dabei konnte mit Erstaunen festgestellt werden, daß zahlreiche fundamentale Beobachtungen kaum ins gemmologische Schriftwerk übertragen wurden.

Von den sehr zahlreichen Publikationen, welche sich mit der Schalenbildung bei Muscheln und Schnecken, der Stimulation zur Zuchtperlenbildung und der Beschreibung der Prozesse und Produkte beschäftigen, können hier nur wenige zitiert werden. STRUNZ & WACHSEN (1978) haben das Grundsätzliche schon vor zwanzig Jahren erkannt und im deutschen Schriftgut dargestellt. Ein älteres Standardwerk stellt das Buch von TABURIAUX (1984) dar. Vergleichbar dazu ist der Band von FARN (1984). DOUMENGE et al. (1991) haben eine kleine Monographie über Südsee-Zuchtperlen und die wesentlichen Punkte der Perlmutterbildung publiziert. SCHOEFFEL (1996) gibt in einem prächtigen Farbband exakten Einblick in die verschiedenen Aspekte der Perlen- und Zuchtperlenmaterie. Daneben gibt es etliche Beiträge zum Thema, welche dem weiter interessierten Leser empfohlen werden (DIX, 1973; KOMATSU, 1987; GAUTHIER & AJACQUES, 1989; CUIF et al., 1994; FRITZ et al., 1994).

Es ist das Ziel dieser Arbeit, Erkenntnisse der angeführten Publikationen mit eigenen Beobachtungen zusammenzuführen und ihre Bedeutung für die gemmologische Perlenbetrachtung darzustellen.

Kalkschalen und Perlen

Muscheln und Schnecken sind Weichtiere (Mollusken), die ihren Körper mit Kalks-

chalen schützen. Die Kalkschalen bestehen aus Calciumkarbonat, das einen Aufbau aus Kriställchen aufweist, welche für die jeweilige Art typisch ist. Neben einem organischen Anteil besteht die Schale meistens aus einer oder mehreren Arten von Calciumkarbonat. Das CaCO_3 existiert in mehreren Modifikationen: Aragonit (orthorhombisch), Calcit (trigonal), Vaterit (hexagonal), vergl. MAYER & WEINECK, 1932. Die beiden ersten Polymorphe können in Kalkschalen in unterschiedlicher Ausbildung auftreten (z.B. faserig, säulig, tafelig etc.). Bei den meisten Arten kalkschaliger Mollusken werden im Körper gelegentlich natürlich gebildete Klümpchen bzw. Perlen gefunden, welche als „Entgleisungen“ der normalen Schalenbildung gesehen werden können. Allerdings besitzen nur wenige Arten die Gabe, Calciumcarbonat-Konkretionen mit schimmernder Oberfläche zu produzieren. Kalkklümpchen ohne Perlmutterglanz werden vermutlich nicht mit dem gleichen Interesse wahrgenommen wie Perlen.

Über den Anlaß zur Bildung solcher Konkretionen gibt es Theorien und Spekulationen. Verletzungen des schalenbildenden Gewebes (Mantelepithel), das Eindringen von Parasiten oder spontane Wucherungen könnten die Ursache für die natürliche Bildung von perlenartigen Konkretionen sein (vergl. GÜBELIN, 1995).

Wir können die Molluskenschalen nach ihrem Aussehen in *Perlmutterartige* und *Porzellanartige* unterteilen. Entsprechend könnten wir Perlen mit einem Perlmutterglanz, und solche mit einem porzellanartigen Glanz erwarten. Der schimmernde Effekt des Perlmutterglanzes ist an den Aufbau des Materials aus parallelen Lagen dünner Aragonitplättchen gebunden. Beispiele zu diesen Perlen im engeren Sinn stellen die bekannten, von Muscheln gebildeten Per-



Abb. 1 Während beim Perlmutter der Muschelschale die Aragonitplättchen parallel-lagig vorliegen, bilden sie bei den Perlen in sich geschlossene Schalen. Schale: *Pinctada Maxima*, Philippinen.

Fig. 1 Where as the aragonite platelets are in a parallel layered array with nacre of shell material, in pearls their orientation is in concentric layers. Shell is of *Pinctada Maxima*, Philippines.

len und Zuchtperlen dar. Porzellanartige Perlen bestehen aus geordneten Bündeln von Aragonitfasern. Beispiele dazu geben sog. Schneckenperlen wie die rosa Conchperle oder die gelbliche Meloperle.

Der Unterschied zwischen Perlmutter und der Perle ist einzig, daß bei Perlmutter die Aragonitplättchen parallel-lagig vorliegen, bei den Perlen jedoch in konzentrisch schaligen Lagen (Abb. 1).

Das schalenbildende Organ

Eine allgemeine Darstellung der Organe einer Muschel findet sich in den einschlägigen Tierbüchern (z.B. Brehms Tierleben). Unser besonderes Interesse gilt demjenigen Organ, das die spezielle Fähigkeit der Perlmutterbildung besitzt. Bei Muscheln wird die Schale von einer besonderen Haut (Mantelepithel) gebildet, welches die ganze Schale innen bedeckt und am äußeren Rande der Schale angewachsen ist. Das Mantelepithel ist das schalenbildende Organ. Im Querschnitt durch die Muschelschale (Abb. 2) ist die Lage des Mantelepithels zu er-

kennen. Auf der Seite nach dem Körperinneren grenzt das Mantelepithel an das Wasser, welches die Muschel füllt und die Kiemen des Tieres umspült (inneres Mantelepithel). Auf der Seite gegen das Äußere der Muschel liegt das Mantelepithel auf der Innenseite der Schale direkt auf (äußeres Mantelepithel). Zwischen innerem und äußerem Mantelgewebe befindet sich Bindegewebe. Besondere Aufmerksamkeit gilt dem äußeren Saum der Schale. Dort wo sich das äußere und das innere Epithel treffen, befinden sich drei Falten. Aus der äußeren entspringt das Periostrakum, die hornartige Außenhaut welche den Muscheln oft eine braune Farbe verleiht. Abb. 2 zeigt die äußere Mantelepithelfalte, welcher das erste Produkt des Schalenaufbaus entspringt, das Periostrakum. Hier, an der äußersten Kante der Schale befindet sich die Wachstumsstelle wo die Grundlage zur Vergrößerung der Schale geschaffen wird.

Das äußere Mantelepithel sondert Körperflüssigkeit ab, welche die Bildung des Schalenmaterials ermöglichen. Es ist also das äußere Mantelepithel, welches die Fähigkeit zur Perlmutterbildung besitzt. Das oft zitierte Sandkörnchen müßte unter das äußere Mantelepithel gelangen, um von Perlmutter ummantelt zu werden.

Das Wachstum der Auster

Muscheln geben Eier ins Wasser ab, aus denen Larven ausschlüpfen. Bevor diese als Muscheln am Boden der Gewässer leben, suchen sich die frei schwimmende Larve eine geeignete Stelle. Für das freie Schwimmen müssen die Larven leicht sein, sie besitzen noch keine Kalkschale. Ihre äußerste Haut ist von horniger Beschaffenheit (Periostrakum). Man findet für dieses Material auch den Ausdruck Konchyn. Auch das Periostrakum wird vom Mantelepithel gebildet. Das Mantelepithel, d.h. die Ausklei-

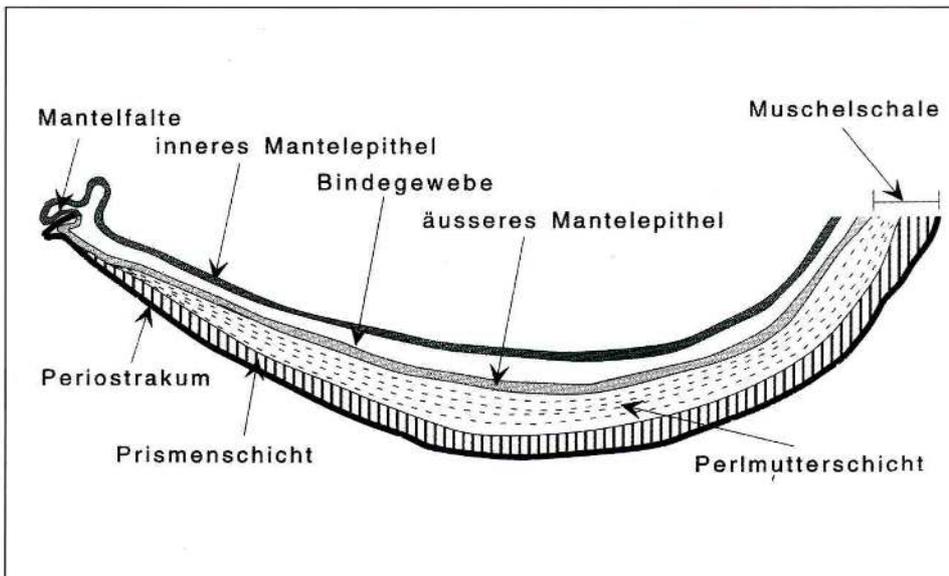


Abb. 2 Schematischer Querschnitt durch die Muschelschale mit besonderer Berücksichtigung der Mantel-Epithelfalten am Schalenrand. Der äußeren Falte entspringt das Periostrakum. Das äußere Mantelepithel bedeckt in der Folge den Bereich des Calcitsäulen-Wachstums, später den Bereich des Aragonitplättchen-Wachstums.

Fig. 2 Schematic cross section through a shell with special emphasis of the mantle epithelium edge. The outermost fold of the epithelium produces the periostracum. The mantle epithelium has an inner and outer surface, the latter being responsible for the shell formation. The latter subsequently covers the calcite columnar area and later the aragonite nacre area formation.

dung der Schale, steuert das Wachstum und die Befestigung der Schale.

Das Mantelepithel am Schalenrand ist das jüngste. Es vollzieht zuerst Zellteilung, um das Epithel zu vergrößern und damit das Wachstum der Schale nach vorn zu ermöglichen. Wir begleiten im Folgenden die Entwicklung eines kleinen Zellbereichs des äußeren Mantelepithels, der nun soeben nach der Zellteilung steht und eine erste Funktion übernimmt.

Nach der Zellteilung befindet er sich nicht mehr „an vorderster Front“ und erhält eine konstruktive Aufgabe. Der Zellbereich befaßt sich mit der Erstellung der Schale, d.h. er bildet nach außen die Konchynschicht. Kurz darauf beginnt das noch junge Epithel sich zu differenzieren und unser Bereich

scheidet zum ersten Mal Kalziumkarbonat ab. Im Falle der meisten Salzwassermuscheln entsteht das gebildete CaCO_3 in der Form von säuligem Calcit. Damit wird die Konchynhaut verstärkt und die Bildung der eigentlichen Schale eingeleitet. Dieser erste Wechsel des abgeschiedenen Materials kann z. B. in einem Schalenquerschnitt durch die Abfolge Konchyn - Calcitsäulen beobachtet werden.

Einige Süßwassermuschel-Arten aus kälteren Gewässern vollziehen allerdings einen Wechsel zu säulenförmigem Aragonit (PAYETTE, 1995). Eine andere Variation bei den Calcitsäulen stellt der von GAUTHIER (1989) beschriebene Übergang am unteren Ende der Calcitsäulen dar. Faseriger Aragonit baut in einer kurzen Übergangsphase an den



Abb. 3 Der Übergang vom Säulenwachstum am Schalenrand zum Plättchenwachstum gegen das Innere der Schale. Rechts sind die Köpfe der Säulen erkennbar, nach links nimmt die Dicke der Perlmutter-schicht zu. Im Bereich der Calcitsäulen ist der Gehalt an braunem organischem Material sichtbar. Schale: *Anadonta Plicata*, China

Fig. 3 The transition from the columnar growth at the edge of the shell to the nacre growth more to the inner area of the shell. At the right the heads of the calcite columns are visible on the surface. The thickness of the nacreous layer (when overlaying the columnar growth) increases towards the right. The shell contains more brown organic matter in the area of the columnar formation. Shell: *Anadonta Plicata*, China.

Säulenenden weiter, bis die Bildung von tafeligem Aragonit definitiv erfolgt.

Die Calcitsäulen haben einen polygonalen Querschnitt und stehen lückenlos zusammen. In den Fugen zwischen den einzelnen Kristalliten befindet sich eine organische Haut welche das Wachstum des Kriställchens steuert und begrenzt (Gerüsteiweiß). In dieser organischen Phase sind die natürlichen Farbstoffe eingebettet, welche das Material z.B. braun färben (Karatinoide, Porphyrine, Polysaccharide etc.).

Während der von uns nun beobachtete Epithelbereich eine gewisse Zeit die Schale mit Calcitsäulen-Abscheidung verstärkt hat, ist unterdessen der Saum des Mantel-epithels weiter nach vorne gewachsen und hat die Schale vergrößert. Unser Bereich ist

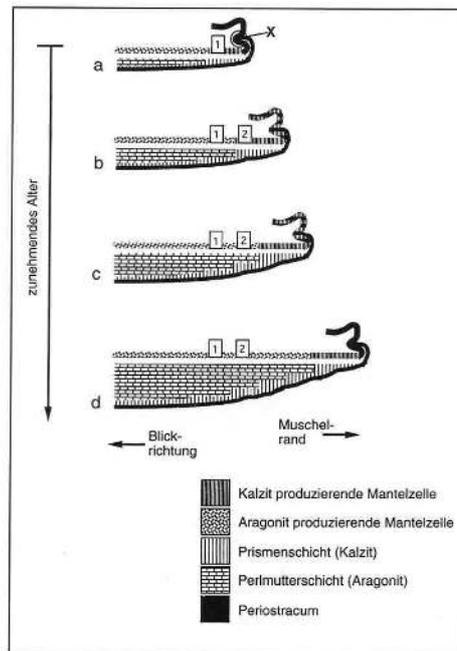


Abb. 4 Die vier Entwicklung des Schalen-aufbaus ausgehend von der Mantelfalte (X) mit den Produkten Periostracum, Prismenschicht, Perlmutter-schicht. Die Epithelbereiche 1 und 2 ändern ihre relative Stellung zueinander nicht. Ein Epithelbereich sitzt auf der Gesamtheit einer Produktion (Säule unter der Ziffer). Nach GUTMANN-SBAUER (1992).

Fig. 4 Schematic cross section through part of a shell, with increasing age. The mantle area 1 is older than mantle area 2, and relative thickness of shell material underlying the areas are different. The two areas relatively seem to travel into the shell, because the growth at the edge is going on (after GUTMANN-SBAUER, 1992).

also relativ nach innen verschoben worden. Nun wechselt der von uns beobachtete Epithelbereich zum zweiten Mal sein Produkt; er beginnt mit der Abscheidung von Calciumkarbonat in der Form von Aragonitplättchen (Abb. 3). Durch fortgesetztes Abscheiden von Aragonitplättchen nimmt die Dicke der Perlmutterauskleidung der Schale laufend zu. Während dieser Zeit

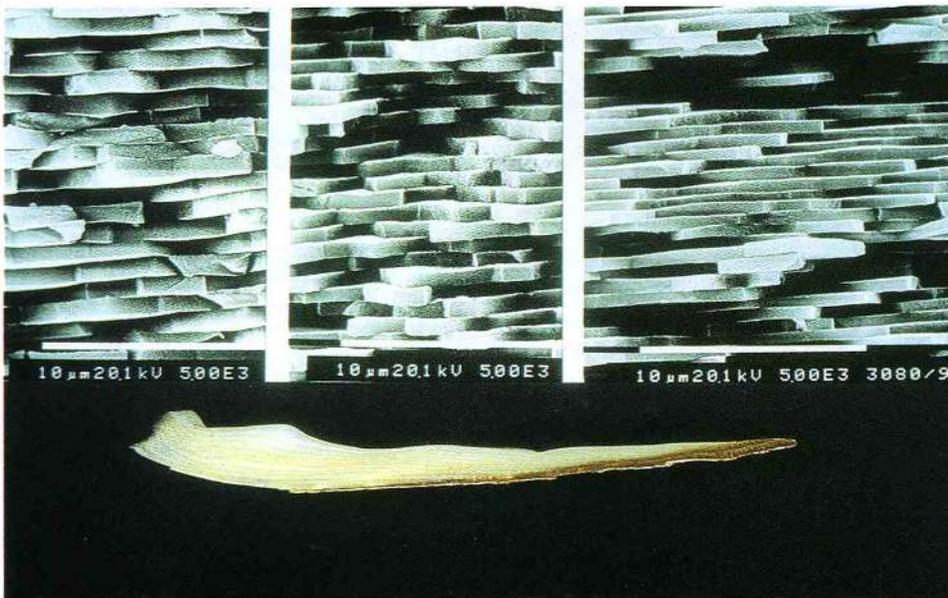


Abb. 5 Querschnitt durch die Schale einer Pinctada Maxima, zusammen mit Raster-Elektronenmikroskopischen Aufnahmen (REM-Labor der Universität Basel). Die Dicke der gestapelten Aragonitplättchen nimmt vom Rand der Schale (rechts) gegen das Schloß hin leicht zu. Länge des horizontalen weissen Balkens 10 µm (siehe GUTMANNBAUER, 1992).

Fig. 5 Cross section through the shell pinctada maxima, together with three SEM pictures (SEM-Laboratory, University of Basel, Switzerland). The platelet structures are visible, and the relative thickness from the edge of the shell towards the centre increases. Length of the horizontal white bar is 10 µm (after GUTMANNBAUER, 1992).

wächst der Rand der Muschel immer weiter nach außen, der beobachtete Epithelbereich kommt daher relativ immer weiter nach innen zu liegen. Tatsächlich hat er aber z.B. vom Scharnier der Muschel immer den gleichen Abstand (Abb. 4).

Würde man einen nahe des Scharniers liegenden Mantelepithelbereich fragen, was er während seiner Lebtag vollbracht hätte, so könnte der Bereich stolz unter sich weisen. „Ich sitze auf der Gesamtheit meiner Produkte. Die gesamte Dicke der Schale habe ich aufgebaut. Zu Beginn habe ich das Periostrakum ganz außen an der Schale hergestellt. Dann habe ich gelernt, Calcitsäulen zu bauen, was ich eine gewisse Zeit getan habe. Als schon älteres Epithel habe ich be-

gonnen, Aragonitplättchen zu fabrizieren, und dies tue ich heute noch“.

Das Mantelepithel besitzt ein genetisch festgelegtes Programm, nach dem es in zeitlicher Abfolge die Produkte herstellt, aus welchen die Schale besteht.

Die Perlmutterbildung

Nach dem bisher Gesagten tritt die Frage nach dem physiologischen Hintergrund der Perlmutterbildung auf. Zahlreiche wissenschaftliche Publikationen geben Auskunft über alle möglichen Aspekte der Bildung der einzelnen Kristallite im Perlmutter und der Funktion der organischen Phasen, welche das Wachstum und die Einregelung der Aragonitplättchen ins Gefüge der Struktur steu-

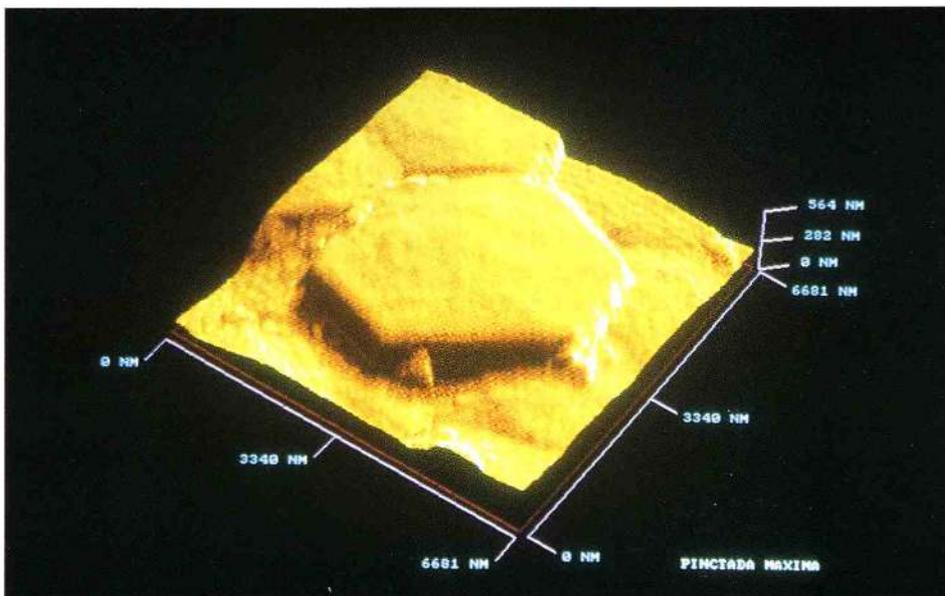


Abb. 6 AFM-Bild der Oberfläche eines Aragonitplättchens (*Pinctada Maxima*). Die Untersuchung der Oberfläche mittels Kraftmikroskopie erlaubt das Darstellen und Verarbeiten dreidimensionaler Bilder im Computer. Dicke des Aragonitplättchens 530 nm (siehe Maßstab). Abbildung: W. GUTMANNBAUER & Institut für Physik der Universität Basel.

Fig. 6 AFM (atomic force microscopy) picture of the surface of aragonite platelets from a *pinctada maxima* shell. The thickness of the platelet is 530 nm. The three dimensional digital picture can be rotated and distances measured. Picture from W. GUTMANNBAUER & Institute of Physics, University of Basel, Switzerland.

ern (vergl. z.B. WISE, 1970; WEINER, 1984; LOWENSTAM & WEINER, 1989). Es wird beschrieben, daß organische Makromoleküle (Gerüsteiweiß) die Kristallkeimbildung für die Calcitsäulen oder Aragonitplättchen bewirken. Die Kristallkeime liegen sozusagen in dünnhäutigen Säcken, welche sich mit Calciumcarbonat füllen und einen dünntafeligen Monokristall erzeugen. Die organische Phase begrenzt das Wachstum der Plättchen und stellt das Gerüst für die „Bausteine“ dar. Der organische Stoff zwischen den Kristalliten wird oft als Konchyn bezeichnet und ist verwandt mit dem Periostrakum. Wegen der Feinheit der Strukturen ist die organische Haut bei ausgetrocknetem Perlmutter nur mit Glück in REM-Aufnahmen zu finden.

Abb. 5 zeigt die übliche „Backsteinstruktur“ des Perlmutter im Querschnitt durch eine Muschelschale.

In einer Studie über die *Pinctada Margaritifera* aus dem Raum Tahiti haben GAUTHIER (1989) und CASEIRO (1993) die Wachstumsraten der Perlmutternschicht untersucht, indem sie Muschelschalen angesägt bzw. durchbohrt haben. Nach einer bestimmten Zeit konnten sie darauf die ausgeheilte Stelle untersuchen und die in der Zwischenzeit gebildeten Aragonitplättchen zählen. Dabei kommen sie auf eine Bildungsrate von etwa 13 Plättchen pro Tag. Die einzelnen Plättchen besitzen Dicken um 480 nm. In seinen morphologischen, strukturellen und chemischen Untersu-

chungen hat GUTMANNBAUER (1992) die Schalen perlenbildender Muscheln verglichen. Dabei zeigte er auch, daß die einzelnen Aragonitplättchen nicht verzwilligt sind, sondern als Einkristalle vorliegen. Die c-Kristallachsen der Aragonitkristallite sind untereinander sehr genau radial eingeregelt und stehen senkrecht zu den Täfelchen. Die lateralen kristallographischen Achsen der Kristallite liegen ebenfalls alle sehr genau parallel zueinander. In einer Folgestudie hat GUTMANNBAUER (1993) mittels Rasterkraftmikroskopie die Feinstruktur der Aragonitplättchen untersucht (Abb. 6).

Der Aufbau der echten Perlen

Der folgende Abschnitt gibt Beobachtungen wieder, die an echten marinen Perlen gemacht wurden, deren Herkunft nicht eruiert werden konnte. Er ist daher als allgemeine Beschreibung zu werten.

Ein Querschnitt durch eine echte Perle läßt oft zwei Bereiche erkennen (Abb. 7). In einem inneren oder Kernbereich stehen Säulen aus Calciumkarbonat in radialer Anordnung. Dieser Bereich ist mehr oder weniger dick mit Perlmutter ummantelt, d.h. Calciumkarbonat als Aragonitplättchen in tangentieller Orientierung.

Bei einigen der untersuchten Kernbereiche wurden die Säulen als Calcit identifiziert. Diese mehr oder weniger großen Kernbereiche sind beim untersuchten Material dunkelbraun gefärbt. Bei Röntgen-Schattenbildern von Ketten vergleichbarer echter Perlen ist eine solche Kernzone auf dem Film dunkler als die anschließende äußere Hülle. Daraus kann geschlossen werden, daß der Calcit-Säulenbereich mehr organisches Material enthält, d.h. transparenter ist für die Röntgenstrahlen. Dies führt zu einer stärkeren Schwärzung des Films.

Die Perlmutter-schicht macht bei guten echten Perlen, wie in Abb. 7 sichtbar, volu-

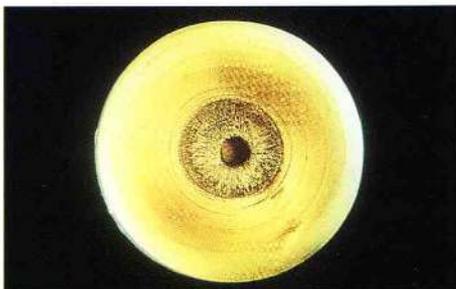


Abb. 7 Querschnitt durch eine echte marine Perle, im Zentrum ein Bohrloch, dann eine Kernzone mit braunem, radialstrahligem Calcit, überzogen von Perlmutter. Ob sich Calcitsäulen in echten Perlen finden, hängt davon ab, in welchem Produktionsstadium sich das Mantelepithel zur Zeit der Stimulation befand.

Fig. 7 Section through a natural seawater pearl with a drillhole in the centre which is situated in an area of brown columnar calcite, the latter overgrown by a thick layer of yellow to white aragonite nacre. It depends on the age of the mantle epithelium at the moment of the formation of pearl sac whether the first production (centre of pearl) is columnar calcite or tabular aragonite.

menmäßigen den Hauptteil aus. Im Röntgen-Schattenbild ist diese Hülle heller, was auf einen geringeren Gehalt an organischem Material schließen läßt. Konzentrische Bögen in unregelmäßigen Abständen vom Zentrum, welche im Schattenbild erscheinen, sind vermutlich haarfeine Trockenrisse, wie sie bei aufgeschnittenen Proben gefunden wurden. In der Literatur werden diese Strukturen auch als konchynreiche Zonen bezeichnet. Sowohl im Querschnitt wie auch beim Blick ins Bohrloch von echten Perlen ist die Perlmutter-schicht im Innern echter Perlen meistens gelblich-orangefarben, die Farbsättigung nimmt nach außen ab.

Es tritt deutlich zutage, daß der Querschnitt der echten Perle exakt dem Querschnitt der Muschelschale entspricht. Was bei der Per-

le älter, d.h. innen ist, liegt bei der Schale außen. Im günstigsten Fall kann die gleiche Abfolge Calcitsäulen - Aragonitplättchen (mit entsprechender Pigmentierung) gefunden werden. Man kann daraus schließen, daß die Entstehung einer echten Perle im Stadium jungen Mantelepithels entsteht, das sich noch im Calcitsäulen-Stadium befindet. Dies bedeutet, daß der Anstoß zur Perlenbildung im Allgemeinen am äußersten Rand der Muschelschale stattfindet.

Die Irritation, welche zur Bildung von Mantelepithel in Form eines Perlsacks führt, erfaßt meist juveniles Gewebe, das i.A. beide Stadien von Calciumkarbonat-Abscheidung noch durchlaufen wird. Solches Mantelepithel liegt dort, wo sich die Schalenhälften berühren, wenn sich die Muschel schließt. Könnte die Irritation durch eine Verletzung des Epithels an dieser exponierten Stelle entstanden sein?

Zuchtperlen

Nach dem beschriebenen Ablauf der Perlmutter- bzw. Perlenbildung ist ersichtlich, daß die Fähigkeit zur Perlmutterbildung im äußeren Mantelepithel liegt. Werden kleine Stücke dieses Gewebes in andere Muscheln (der gleichen oder einer anderen Art) implantiert (Abb. 8), und fassen sie dort Fuß, so beginnen sie nach kurzer Zeit mit der Abscheidung von Calciumkarbonat. Die Epithelstückchen wachsen zu einem geschlossenen Perlsack aus, die Seite des äußeren Mantelepithels nach innen gerichtet. Ob die zuerst gebildete Modifikation Calcit oder Aragonit ist, hängt vom Alter des Gewebestückchens ab. Aus zahlreichen z.T. bebilderten Publikationen ist bekannt, wie ein Lappen Mantelepithel einer „geopferten“ Muschel in kleine Quadrate zerschnitten wird. Diese Epithelstückchen sind die „Mikrochips“, welche das know-

how der Perlmutterbildung beinhalten, und an eine geeignete andere Stelle bringen.

Diese andere Stelle liegt in einer Zucht-muschel, welche zum Zweck der Epithel-transplantation leicht geöffnet wird. Kleine Einschnitte, entweder im Bindegewebe des Mantels (z.B. bei Süßwassermuscheln) oder im Bereich der Gonaden (Keimzellen), z.B. bei Meerwassermuscheln, erlauben die Einsetzung. Bei der Herstellung von Zuchtperlen mit Kern wird pro Muschel im Allgemeinen nur ein einziger Kern mit Epithelstückchen eingepflanzt. Bei der Herstellung von kernlosen Zuchtperlen können z.B. bei *Anadonta Plicata* bis 20 Epithelstückchen pro Schalenhälfte eingepflanzt werden (Abb. 9).

Aus dem Gesagten wird klar, daß für die übliche Stimulation zur Zuchtperlenbildung, egal ob mit oder ohne Kern, ein Epithelstückchen benötigt wird. Aus einigen englischsprachigen Publikationen kann der Eindruck entstehen, es bestünden die Möglichkeiten entweder wahlweise mit Kern oder mit Epithel die Bildung von Zuchtperlen stimulieren zu können (vergl. die Ausdrücke „bead-nucleated“ und „tissue-nucleated“).

Im Falle der *kernlosen Zuchtperlen* (i.A. aus Süßwassermuscheln) erfolgt die erste Füllung des frisch gebildeten kleinen Perlsacks etwas ungeordnet. Wichtig erscheint die Erkenntnis, daß sich das Epithelstückchen nicht im Innern der Zuchtperle befindet wo es absterben würde. Es muß, um seine Aufgabe zu erfüllen, Teil des Perlsackes werden, der sich im Laufe der Entwicklung stetig leicht vergrößert. Auf der inneren Oberfläche des Perlsacks bildet sich vermutlich zuerst etwas organische Substanz, dann eine Calciumkarbonat-Kruste. In diesem zentralen Bereich läßt sich in Querschnitten der kernlosen Zuchtperlen eine unregelmäßig geformte Hö-

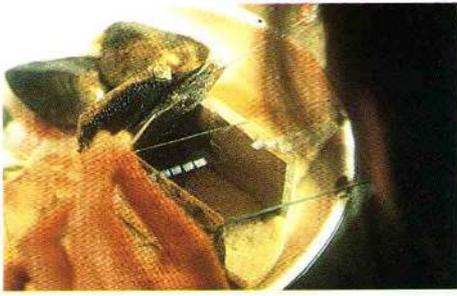


Abb. 8 / Fig. 8

Abb. 8 Präparation der Epithelstückchen für die Erzeugung von Zuchtperlen. Im abgebildeten Fall wurden die Gewebestücke in das Mantelgewebe von ca. 10 cm großen Süßwassermuscheln (*Anadonta Plicata*) eingepflanzt, um kernlose Zuchtperlen zu produzieren.

Fig. 8 Preparation of mantle epithelium grafts for the stimulation of cultured pearls. In the above situation the grafts are implanted into freshwater mussels (*Anadonta plicata*, China) in order to let the 10 cm long animals produce beadless cultured pearls.

Abb. 9 Eine geöffnete *Anadonta Plicata* aus einem chinesischen Teich, mit aufgerissenem Mantelepithel (rechts) und darin zahlreiche kernlose Zuchtperlen.

Fig. 9 An opened *Anadonta plicata* mussel from a Chinese pond, with opened mantle epithelium, (right) containing numerous beadless cultured pearls.



Abb. 9 / Fig. 9

lung erkennen. Diese ist auch auf Röntgenaufnahmen zu erkennen und besitzt dort meist die Form sich kreuzender kurzer Wellenlinien. Meist wird die innere Zone einer kernlosen Zuchtperle aus säuligem Calcit gebildet, welche oft eine recht unrunde Form besitzt. Darüber beobachtet man eine mehr oder weniger dicke Lage von Aragonit in der Form von Perlmutter.

Während die kernlosen Zuchtperlen aus früheren Jahren durch ihre barocken, Reiskorn- oder Bouton- Formen auffielen, so erscheinen heute auf dem Markt immer größere und rundere Gebilde. Man ist in der Zwischenzeit dazu übergegangen, immer jüngere Muscheln zu operieren, und immer kleinere Epithelstückchen zu verwenden. Die heutzutage entstehenden fast runden und bis 1 cm großen kernlosen Zuchtperlen stellen zunehmend auch ein größeres Problem bei der Bestimmung der Echtheit dar. Im amerikanischen Sprachraum werden kernlose Zuchtperlen meistens als „tissue-nucleated cultured pearls“ bezeichnet. Der

Gebrauch des Wortes „nucleated“ suggeriert, daß sich später bei der Zuchtperle das Epithelstückchen im Zentrum der Perle befindet. Dies kann deshalb nicht richtig sein, weil das Epithelstückchen bzw. der Perlsack der daraus entsteht, im Erfolgsfall die Perle umgeben muß. Nur so kann er die Oberfläche der Perle durch Abscheiden von Aragonit wachsen lassen. Zur Herstellung von Süßwasser-Zuchtperlen vergl. auch JOBBINS & SCARRATT (1990).

Bei der Herstellung von *Zuchtperlen mit Kern* (traditionell in Salzwasseraustern) wird zusammen mit dem Epithelstückchen ein poliertes Perlmutterkügelchen implantiert (vergl. z.B. GOEBEL & DIRLAM, 1989). Das Epithelstückchen ist unerlässlich, da es die Fähigkeit der Perlmutterbildung mitbringt. Perlmutterkügelchen alleine würden rasch als Fremdkörper ausgestoßen. Es erscheint im Zusammenhang mit dem Erfolg bei der Zuchtperlenherstellung ebenfalls bedeutsam, daß beim Epithelstückchen die äußere Seite auf dem Kern

aufliegt, denn nur diese Seite scheidet Calciumcarbonat ab! Daß im Falle der erfolgreichen Produktion der Akoya-Zuchtperlen die Perlmutterkügelchen in die Gonaden der Zuchtaustern implantiert werden, mag verschiedene Gründe haben. Einerseits besitzen die Gonaden einen besonders hohen Stoffumsatz, d.h. das Gewebe wird gut genährt, und sie stellen ein geeignetes Substrat für das Epithelstückchen dar. Andererseits liegen die Gonaden im Innern der Muschel, wo keine Wachstumsbehinderung durch die Nähe der Schalen besteht. Und durch die Implantation des Epithelstückchens kann hierhin die Tradition der Perlmutterherstellung verlegt werden.

Wenn den Zuchtaustern die Zuchtperlen entnommen werden, muß das nicht unbedingt den Tod des Tieres bedeuten. Besonders bei Salzwasseraustern geschieht die Entnahme oft sehr sorgfältig, und das Tier erholt sich vom Eingriff nach einiger Zeit. Der stets noch vorhandene Perlsack wird erneut mit einem, diesmal etwas größeren, Perlmutterkern gefüllt.

Keshi-Zuchtperlen

Gelegentlich stoßen operierte Austern den Perlmutterkern aus. Das Epithelstückchen jedoch ist angewachsen und bildet einen Perlsack, der mit der Abscheidung von Calciumcarbonat beginnt. Auf seiner Innenfläche bildet sich eine Kruste auf seiner. Auf diese Weise entstehen kernloser Zuchtperlen, die eine kleine Höhlung im Inneren besitzen. Im Handel werden solche Zuchtperlen als Keshi-Perlen bezeichnet. Der Ausdruck wird auch verwendet für Zufallsprodukte in domestizierten Austern. Die Ursache für ihre Bildung wird in kleinen Verletzungen, entstanden bei der Operation oder Pflege der Tiere, gesehen.

Im Rückblick gibt Abb. 10 vereinfachend den Aufbau der verschiedenen Perlen wieder.

Zur gemmologischen Bestimmung der Perlen

Die gemmologische Hauptaufgabe der Identifikation von Perlen erfolgt zuerst in einer Triage, d.h. der Zuordnung zu einer der drei Arten echte Perle, Zuchtperle oder Imitationsperle. Nach einer ersten mikroskopischen Betrachtung muß vor allem die Radiographie zum Einsatz kommen. Auf guten Röntgen-Schattenbildern lassen sich in den allermeisten Fällen die notwendigen Kriterien für die Identifikation erkennen. Zum Nachweis von Perlmutterkernen eignet sich auch das Laue-Verfahren. Mit dieser Methode der Röntgenbeugung lassen sich jedoch nicht generell echte Perlen von Zuchtperlen unterscheiden, sondern nur allfällig vorhandene Perlmutterkerne nachweisen. Oft ist es von Bedeutung, entscheiden zu können ob Perlen von Salz- oder Süßwassermuscheln stammen. Dabei betrachtet man deren Spurenelemente (Mn, Fe, Sr) oder ihre Fluoreszenz unter Röntgenstrahlung. Süßwasserperlen besitzen i.A. einen höheren Gehalt an Mangan, was eine stärkere grünlichgelbe Fluoreszenz bewirkt. Zur Bestimmung von Perlen sei auf die Arbeiten von HÄNNI, 1982; LORENZ & SCHMETZER, 1985; FARN, 1990; verwiesen. Ein neuerdings wichtiges Teilgebiet der Perlenuntersuchung ist die Bestimmung der Natürlichkeit der Färbung (vergl. z.B. AKAMATSU et al., 1977).

Überlegungen zur den Produktbezeichnungen im Handel

Leider zu oft bemerken wir beim Betrachten von Auslagen oder Werbeschriften einen schlechten Umgang mit den Bezeichnungsvorschriften. Diese sollten den CIB-

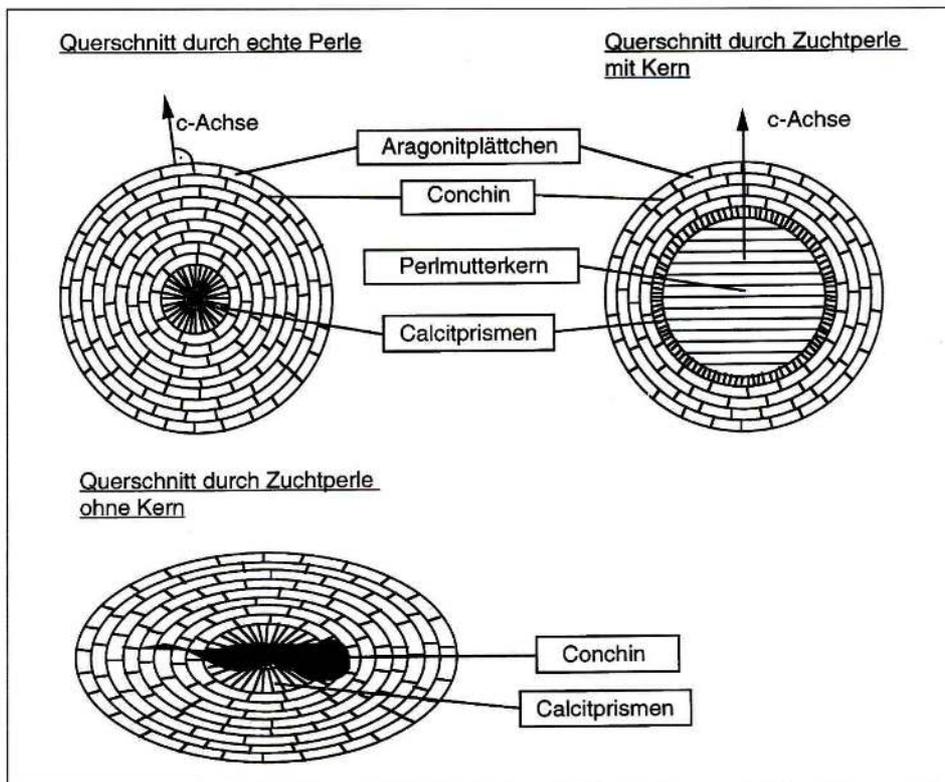


Abb. 10 Schematische Querschnitte durch echte Perle sowie Zuchtperlen mit und ohne Perlmutterkern. Nach GUTMANNBAUER, 1992.

Fig. 10 Schematic cross section through a natural pearl, a beadless cultured pearl and a cultured pearl with nacreous bead, respectively (after GUTMANNBAUER, 1992). The beadless cultured pearl has a relatively large cavity in the centre, other than the latest developments with this kind. Imitation pearls are not produced by shells and therefore are not part of this figure.

JO Nomenklaturvorschriften (CIBJO, 1997) entsprechen, welche sich der Perlenhandel selbst auferlegt hat. Dem Handel sollte sehr viel daran gelegen sein, das Vertrauen der Konsumenten mit einer klaren und nicht verschleiernnden Produktebeschreibung zu erhalten.

Drei Hauptkategorien werden zur Identifikation von Perlen im weiteren Sinne unterschieden: *echte Perlen*, *Zuchtperlen*, *Imitationen*. Bei der Produktbenennung sollte mindestens diese kategorisierende Information enthalten sein. Ob des weiteren noch

Herkunfts- oder Produzentennamen mitgegeben werden, ist zweitrangig (z.B. Südsee-Zuchtperlen anstatt Südseeperlen, Akoya-Zuchtperlen anstatt Akoya-Perlen, Majorica *Imitationsperlen* anstatt Majorica-Perlen). Die folgende kurze Übersicht soll die wesentlichen Punkte zusammenfassen.

Echte Perlen (Naturperlen) sind ohne jedes Zutun der Menschen zufällig entstandene Gebilde in wilden Muscheln. Bekannt sind echte Salzwasserperlen und echte Süßwasserperlen, je nach dem Lebensraum der Mu-

scheln. Zusätzliche Beschreibungen der Farbe, Form oder des Lebensraums der Muschel sollen nur zusammen mit der Bezeichnung der Identifikation erfolgen (z.B. echte Barockperle, schwarze Naturperle).

Zuchtperlen (Kulturperlen) sind durch menschliche Eingriffe provozierte Reaktionen an gezüchteten oder domestizierten Muscheln. Man kann unterscheiden in kernlose Zuchtperlen, in Zuchtperlen mit Kern sowie Zuchtperlen-Doubletten (bzw. zusammengesetzten Zuchtperlen).

Handelsnamen wie Akoya, Biwa, Keshi sollen nur im direkten Zusammenhang mit Identifikation „Zuchtperle“ erfolgen. Ein Zusatz wie Salzwasser-, Süßwasser-, Südsee, Tahiti-, oder halbe Perle ist von geringerer Wichtigkeit im Vergleich mit der Identifikation als Zuchtperle. Die wahre Natur der Zuchtperle darf nicht unerwähnt bleiben. Alle über das Bleichen und Polieren hinausgehenden Behandlungen müssen angegeben werden, insbesondere das Färben.

Imitationsperlen (Perlen-Imitationen) sind industrielle Produkte, welche nur durch ihre Erscheinung an Perlen erinnern. Perlen-Imitationen sind ohne jedes Zutun von Muscheln außerhalb von Gewässern entstanden. Je nach Produkt werden Kügelchen aus

unterschiedlichen Materialien mit lackartigen Substanzen bedeckt, welche die schimmernde Art des Perlmutter mehr oder weniger gut imitieren.

Handelsnamen wie z.B. „Majorica“ müssen von der Identifikation „Imitation“ begleitet sein, bzw. die Imitation darf nicht als „Perle“ bezeichnet werden.

Danksagung

Großzügige Unterstützung mit Muschelschalen und Perlen verdanke ich der Herren A. MÜLLER, Kobe, T. FRIEDEN, Thun, B. BOLLI, St. Gallen, B. ZALCMAN, Genf sowie Frau D. KÖNIG, Papeete. Herrn Dr. W. GUTMANNBAUER (Basel) hat im Rahmen seiner damaligen Diplomarbeit aktiv am Thema mitgearbeitet. Ihm verdanke ich das AFM-Bild. Herr Prof. R. GUGGENHEIM und M. DÜGGELIN, REM-Labor der Universität Basel ermöglichte die Untersuchung zahlreicher Proben mittels Raster-Elektronenmikroskopie. Den Herren T. FRIEDEN, M. HAHN, R. LAUPER, und H. SCHÖFFEL danke ich für ihre Diskussionsbeiträge aus dem praktischen Leben der Zuchtperlenhändler. Für kritische Durchsicht des Manuskripts danke ich Frau Dr. L. KIEFERT (Basel). Herrn B. BRUDER (Freiburg) danke ich für die Bearbeitung der Figuren.

Literatur

- AKAMATSU, S., KOMATSU, H., KOIZUMI, C. & NONAKA, J. (1977): A comparison of sugar composition in yellow and white pearls. - Bull. Jap. Soc. Fish. **43**, 6, 773-777.
- CASEIRO, J. (1993): La nacre noir de Polynésie. Biominéralisation, paramètres et processus de croissance, effets chromatiques dans la coquille et la perle de *Pinctada margaritifera*. - Doctorate Thesi at Claude Bernard University of Lyon, France.
- CIBJO, (1997): Diamonds, Gemstones, Pearls. - International Confederation of Jewellery, Silverware, Diamonds, Pearls and Stones, 78A Luke Street, London EC2A 4PY.
- CUIF, J.P., DAUPHIN, Y., STOPPA, C. & BEECK, S. (1993): Forme, structure et couleurs des perles [de culture] de Polynésie. - Rev. Gemm. a.f.g. **114**, 3-6, und **115**, 9-11.
- DIX, T.G. (1973): Histology of mantle and pearl sac of the pearl oyster *Pinctada Maxima* (Lamellibranchia). - J. malacological soc. Australia **2**, 365-375.
- DOUMENGE, F., TOULEMONT, A. & BRANELLEC, J. (1991): Les perles [de culture] des mers du Sud. La perle dorée des Philippines. - Monaco Musée Océanographique.
- FARN, A.E. (1990): Pearls - Natural, Cultured and Imitation. - Butterworth-Heinemann Gem Books. Oxford

- FRITZ, M. BELCHER, A.M., RADMACHER, M., WALTERS, D.A., HANSMA, P.K., STUCKY, G.D., MORSE, D.E. & MANN, S. (1994): Flat pearls from biofabrication of organized composites on inorganic substrates. - *Nature* **371**, 49-51.
- GAUTHIER, J.P. & AJACQUES, J.M. (1989): La perle au microscope électronique. - *Rev. Gemm. a.f.g.* **99**, 12-17.
- GOEBEL, M. & DIRLAM, D.M. (1989): Polynesian black [cultured] pearls. - *Gems & Gemology* **25**, 130-148.
- GÜBELIN, E. (1996): An attempt to explain the instigation of the formation of the natural pearl. - *J. Gemm.* **24**, 8, 539-545.
- GUTMANNNSBAUER, W. (1992): Morphologische, strukturelle und chemische Untersuchungen an Perlmutter und Perlen einiger perlenbildender Muscheln. - Diploma Thesis, Min.-petr. Institut der Universität Basel, Switzerland.
- GUTMANNNSBAUER, W. (1993): AFM provides new insight into biomineralization processes. - *Topometrix Applications Newsletter* **93**, 2, 5.
- GUTMANNNSBAUER, W. & HÄNNI, H.A. (1994): Structural and chemical investigations on shells and pearls of nacre forming salt- and freshwater bivalve molluscs. - *J. Gemm.* **24**, 4, 241-252.
- HÄNNI, H.A. (1982): Perlendiagnose mit Laue-Aufnahmen. - *Z. Dt. Gemmol.Ges.* **31**, 131-142.
- JOBBS, E.A. & SCARRATT, K. (1990): Some aspects of pearl production with particular reference to cultivations at Yangxin, China. - *J. Gemm.* **22**, 1, 3-15.
- KOMATSU, H. (1987): Einführung in die Perlenuntersuchung. - *Zenkoku hōsekigaku kyōkai shuppanbu*, Tokyo 1-24, in Japanisch.
- LORENZ, R.I. & SCHMETZER, K. (1985): Möglichkeiten und Grenzen der röntgenographischen Untersuchung von Perlen. - *Z. Dt. Gemm. Ges.* **34**, 1/2, 57-68.
- LOWENSTAM, H.A. & WEINER, S. (1989): *On Biomineralization*. - University Press, Oxford.
- MAYER, F. K. & WEINECK, E. (1932): Die Verbreitung des Kalziumkarbonates im Tierreich unter besonderer Berücksichtigung der Wirbellosen. - *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft* **66**, 199-222.
- PAYETTE, F. (1995): Freshwater natural pearls from the Lac St. Jean area, Quebec. - in *Gem News, Gems & Gemology Winter 280-281*, Bericht über Referate von der IGC-Konferenz, Rayong, Thailand.
- SCHOEFFEL, H. (1996): *Perlen - Von den Mythen zur modernen Perlenzucht*. - Schoeffel - DuMont Buchverlag, Köln.
- STRUNZ, H. & WACHSEN, G. (1978): Perlen aus dem Fichtelgebirge. - *Der Aufschluss* **29**, 379-295.
- TABURIAUX, J. (1983): *La perle et ses secrets*. - Hemmerlé Petit & Cie, Paris
- WADA, K. (1981): Pearls. - *J. Gemmol. Soc. Japan* **8**, 151-158.
- WISE, S.W. (1970): Microarchitecture and mode of formation of nacre (mother-of-pearl) in Pelecypods, Gastropods and Cephalopods. - *Eclogae Geol. Helvetiae* **63**, 775-797.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 12. September 1997.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. HENRY A. HÄNNI, FGA
SSEF Schweizerisches Gemmologisches Institut, Falknerstrasse 9, CH - 4001 Basel, Schweiz.