

# Begleitveröffentlichungen zu wissenschaftlichen Filmen

Film C 1864

**Funktion und Entladungsmechanismus der Stenotelen bei  
*Hydra attenuata* (Cnidaria Hydrozoa)**

Thomas HOLSTEIN, Walter VÖLLENKLE, Pierre TARDENT



Österreichisches Bundesinstitut für den  
Wissenschaftlichen Film  
Wien

## Funktion und Entladungsmechanismus der Stenotelen bei *Hydra attenuata* (Cnidaria Hydrozoa)

Thomas HOLSTEIN, Zoologisches Institut der Universität Zürich  
Walter VÖLLENKLE, Österreichisches Bundesinstitut für den Wissenschaftlichen Film, Wien  
Pierre TARDENT, Zoologisches Institut der Universität Zürich

### Filminhalt

Mikrokinematographische Zeitdehnungsaufnahmen der Entladung der Nematocyten (Stenotelen) bei *Hydra attenuata* zeigen, daß diese spezialisierte Exocytose in weniger als 3 Millisekunden abgeschlossen ist. Dabei wird eine mittlere Geschwindigkeit von 2 Metern pro Sekunde erzeugt, was einer Beschleunigung von 40.000 g entspricht (HOLSTEIN und TARDENT 1984). Die Entladung der Nematocyten ist somit einer der schnellsten zellulären Vorgänge in der Natur und zum ersten Mal im Film zu sehen.

### Contents of the film

Function and mechanism of discharge of the stenoteles in *Hydra attenuata* (Cnidaria, Hydrozoa). – High-speed microcinematography of nematocyst discharge in *Hydra attenuata* shows that this specialized exocytosis requires a total of less than 3 milliseconds. A medium velocity of 2 meters per second is generated, corresponding to an acceleration of 40,000 g (HOLSTEIN and TARDENT 1984). Thus nematocyst discharge is one of the fastest cellular processes in nature.

### Daten zum Film C 1864 des ÖWF

Funktion und Entladungsmechanismus der Stenotelen bei *Hydra attenuata* (Cnidaria, Hydrozoa). 16-mm-Film, Magnetton, Farbe, 7 Minuten, deutscher (englischer) Kommentar. Dieser Film ist zur Verwendung in Forschung und im Universitätsunterricht bestimmt. Institute: Institut für Zoologie der Universität Wien und Zoologisches Institut der Universität Zürich.

Wissenschaftliche Autoren: Dr. Th. Holstein, Dr. W. Völlenklee, Prof. Dr. P. Tardent. Hergestellt durch das Österreichische Bundesinstitut für den wissenschaftlichen Film, Wien. Aufgenommen 1983, veröffentlicht 1986. Kamera: H. Kerschner, Mikrotechnik: Dr. Th. Holstein; Trick: D. Rigoli; Schnitt: S. Thomas; Gestaltung: Dr. W. Völlenklee.

### Zitierform

Holstein, Th. und Völlenklee, W.: Funktion und Entladungsmechanismus der Stenotelen bei *Hydra attenuata* (Cnidaria, Hydrozoa). Film C 1864 des ÖWF. Wien: Österreichisches Bundesinstitut für den Wissenschaftlichen Film 1986. Begleitveröffentlichung von Th. Holstein in Wiss. Film Nr. 36/37, 1987, S. 44–52.

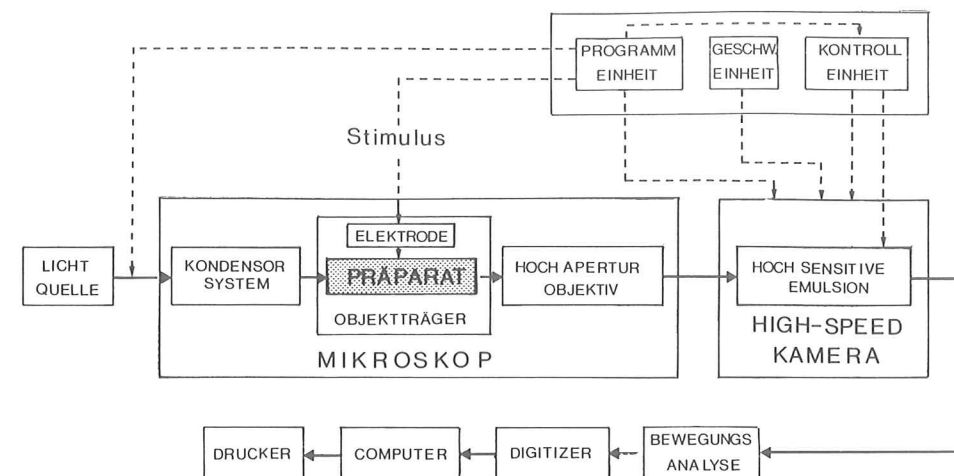


Abb. 1. Flußdiagramm der Versuchseinrichtung für hochfrequenz-mikrokinematographische Aufnahmen bei biologischen Objekten.

### Zur Aufnahmetechnik

#### Kulturbedingungen und Standard-Hydran

*Hydra attenuata* wurde in einem modifizierten Loomis/Lenhoff-Medium (1956) kultiviert, das 1 mM  $\text{CaCl}_2$ , 0.1 mM  $\text{MgCl}_2$ , 0.1 mM  $\text{KCl}$  und 1 mM  $\text{NaHCO}_3$  in deionisiertem Wasser, eingestellt auf einen pH von 7,8, enthielt. Die Kultur und alle Experimente wurden bei 18–20° C durchgeführt. Die Tiere wurden täglich mit frisch geschlüpften *Artemia* Nauplien gefüttert und nach 6–8 Stunden gewaschen. Für die Aufnahmen wurden für 24 Uhr ungefütterte, knospenlose Hydran gewählt.

#### Mikrotechnik (vgl. Abb. 1)

##### Mikroskop

Ein Zeiss Universal-Mikroskop wurde mit einem 63/1.4 Öl Plan-Apochromat-Objektiv und einem 1.4 Kondensor-System ausgerüstet. Als Lichtquelle diente eine 75 W Xenon Lampe (Leuchtdichte 40.000 candela  $\text{cm}^{-2}$ ), gespeist durch ein Siemens VHXC 75/100 Vorschaltgerät. Zwischen Leuchtfeldblende und Kondensor wurde zusätzlich ein durch die Cu-6a Kontroll-Einheit steuerbares Diaphragma in den Strahlengang eingebaut; dadurch wurde erreicht, daß die Proben vor der elektrischen Auslösung der Nematocysten-Entladung nur für maximal 1 Sekunde dem hohen Lichtfluß ausgesetzt wurden. Der hohe Lichtstrom alleine löst keine Entladung der Nematocysten aus.

##### High-Speed Kamera

Mit dem Mikroskop wurde eine Hycam 16-mm/120-m High-Speed Kamera (Redlake City Corporation) über eine Zeiss 125 mm Projektiv-Optik und einen Zeiss Cine-Adapter verbunden. Die Kamera war (a) mit einem optischen Vollbildkopf und Sektoren-Verschluß für 16-mm-Vollformat (Öffnung 1 : 2,5) und (b) mit einem optischen ¼ Bild-Kopf und Sektoren-Verschluß für ¼ 16-mm-Bildformat (Öffnung 1 : 2,5), sowie mit einem Zeit- und Nullmarken-Generator ausgestattet. Die Kamera wurde durch eine Cu-6a Kontroll-Einheit und eine PR-4a Programm-Einheit (Weinberger, Zürich) synchronisiert.

### Triggering

Um die Nematocysten zur Entladung zu bringen, wurden isolierte, lebende Tentakel von *Hydra* auf einen mit zwei Elektroden versehenen Glas-Objektträger gebracht und durch einen elektrischen Puls gereizt (30  $\mu$ sek, 24 V D.C.).

Die für die elektrische Auslösung benötigten zwei Elektroden (Abstand 10 mm) wurden mit dem Objektträger fest verbunden, indem übereinander je eine  $\sim 150$  Å dicke Schicht von Chrom, Palladium und Gold aufgedampft wurde. Diese drei Schichten wurden anschließend durch Galvanisierung mit einer 30  $\mu$ m dicken Schicht elementaren Goldes verstärkt.

Die elektrische Auslösung der Nematocysten-Entladung wurde mit der High-Speed-Kamera durch die Cu-6a Kontroll-Einheit und die PR-4a Programm-Einheit synchronisiert. Die Verzögerung zwischen Beginn des elektrischen Stimulus und Beginn der Entladung der Nematocyste variiert zwischen 0,025 und 2,5 Millisekunden. Diese Variabilität ist höchstwahrscheinlich durch Schwankungen der Zeit bedingt, in der sich die Kontakte des Relais in der Cu-6a Kontroll-Einheit schließen.

Als Aufnahmematerial wurde Kodak Ektachrome VNF High Speed 7250 (400 ASA, Kunstlicht) und Eastman Ektachrome High Speed Daylight Film 7251 (400 ASA, Tageslicht) benutzt. Die Filmaufnahmen wurden mit einem Vanguard M 16 C Bewegungsanalyse-Gerät, ausgestattet mit einem Digitizer und einem HP 9845-b Computer, ausgewertet.

Um die mit dem  $\frac{1}{4}$  16-mm-Format erstellten Ultra-High-Speed-Aufnahmen in eine projektionsgerechte Form zu bringen, wurden die aufeinanderfolgenden  $\frac{1}{4}$  Kader (a) auf je ein 16-mm-Vollformat umkopiert (Cinemascope-Effekt) und (b) zusätzlich jeder Kader verdreifacht (40.000  $\rightarrow$  120.000 Bilder/Sekunde) bzw. verzehnfacht (40.000  $\rightarrow$  400.000 Bilder/Sekunde).

### Allgemeine Vorbemerkungen

Die Nematocyten (Cnidocyten, Nesselzellen) kennzeichnen alle Cnidaria und stellen einen der komplexesten Zelltypen des Metazoen dar. Nematocyten entstehen aus pluripotenten Stammzellen (DAVID and GIERER 1974). Das entscheidende Organell der Nematocyte ist die Nematocyste (Cnidocyste, Nesselkapsel), die ein extrem komplexes Sekretionsprodukt des Endoplasmatischen Retikulum und des Golgi-Apparates darstellt (HOLSTEIN 1981). Bei Polypen und Medusen dienen die zahlreichen Typen der Nematocysten (WEILL 1930, WERNER 1965, MARISCAL 1974) verschiedenen vitalen Funktionen wie dem Beutefang, der Abwehr und der Lokomotion. Die Entladung der Nematocyste wird durch die Nematocyste selbst kontrolliert. Bei Reizung des sensorischen, ciliären Receptors der Nematocyste, des „Cnidocil-Nematocyst Complex“ (Hydrozoa) wird die Entladung der Nematocyste induziert (HAUSMANN and HOLSTEIN, 1985 a und b). Dabei wird in einer spektakulären Exocytose der tubuläre toxische Inhalt durch Evagination herausgeschleudert (TARDENT and HOLSTEIN 1982, HOLSTEIN and TARDENT 1984).

Drei verschiedene Hypothesen wurden zur Erklärung der Entladung der Nematocysten aufgestellt: (1) Die Entladung erfolgt durch Volumenzunahme der kapsulären Matrix, bedingt durch die osmotische Aufnahme von Wasser [osmotische Hypothese (LUBBOCK and AMOS 1981)]; (2) in der Cnidogenese werden Spannungskräfte aufgebaut, die plötzlich während der Entladung freigesetzt werden [Spannungshypothese (CARRÉ 1980)]; (3) kontraktile Elemente, die die Kapsel umgeben, deformieren die Kapselwand und erhöhen so den intrakapsulären Druck [kontraktile Hypothese (CORMIER and HESSINGER 1980)]. Um diese Hypothesen zu überprüfen, ist der Entladungsprozeß bei einem der am höchsten entwickelten Nesselkapselty-

pen, den Stenotelten (Durchschlagskapseln), mit Hilfe von elektronenoptischen Methoden und durch Auswertung der hier im Film gezeigten hochfrequenz-mikrokinematographischen Aufnahmen analysiert worden (TARDENT and HOLSTEIN 1982, HOLSTEIN and TARDENT 1984, TARDENT, HOLSTEIN, WEBER and KLUG 1985):

### Struktur der Stenotele

Ruhende Stenotelten besitzen einen äußeren Durchmesser von 13–16,5  $\mu$ m und eine Länge von 16–20  $\mu$ m (Abb. 2 und 3). Die dickwandigen (0,33  $\mu$ m) Kapseln sind durch ein Operculum verschlossen. Der tubuläre Inhalt der Nematocyste ist eine Fortsetzung der Kapselwand und besteht aus drei Abschnitten: (1) dem unbewaffneten Schaftteil („Hals“), (2) dem bewaffneten Schaftteil (drei Reihen von Lamellen, deren proximalste zu je einem Stilet verschmolzen sind) und (3) dem gifführenden Tubulus. Der lange ( $\sim 500$   $\mu$ m) und dünne ( $\sim 1$   $\mu$ m) Tubulus ist in der Ruhekapsel ca. 11–15mal um den zentralen Schaftabschnitt gewunden (vgl. TARDENT and HOLSTEIN 1982).

### Morphodynamik der Entladung

Die Entladung der Stenotelten wird normalerweise mechanisch durch die Beute (gewöhnlich kleine Copepoden und Cladoceren) ausgelöst. Die Nematocyste schnellst dabei ihre drei zu einer Pfeilspitze aneinandergelagerten Stilette heraus, die ein Loch in das Integument der Beute schlagen. In einem zweiten Schritt evaginiert der lange Schlauch durch diese Öffnung in den Körper der Beute und entläßt Gifte, die zur Paralyse und zum Tod der Beute führen. Die hochfrequenz-mikrokinematographische Analyse dieses Prozesses zeigt, daß der gesamte Prozeß (vom Aufklappen des Operculums bis zur Evagination des Tubulus) in ca. 3 msec abgeschlossen ist; man kann vier Phasen unterscheiden (HOLSTEIN and TARDENT 1984) (Abb. 2a–2d):

#### Phase 1 (Abb. 2–a)

Während des Intervalls zwischen Beginn des elektrischen Stimulus und Aufspringen des Operculums nimmt das Volumen der Nematocyste um 10% zu; dies ist die erste sichtbare Reaktion der Kapsel auf den Stimulus.

#### Phase 2 (Abb. 2–b)

Durch das Aufklappen des Operculums kann der Schaft mit den Stiletten herauskatalpultiert werden. In einem Film waren die ruhende Kapsel und die Kapsel mit den bereits herausgeschleuderten Stiletten auf demselben Kader abgebildet. Da die Belichtungszeit pro Kader 10  $\mu$ sek beträgt (der Verschluß schießt zwischen zwei Kadern für 15  $\mu$ sek), muß die zweite Phase in deutlich weniger als 10  $\mu$ sek abgeschlossen sein. In dieser Zeit legt die Pfeilspitze ca. 20  $\mu$ m zurück, was einer mittleren Geschwindigkeit von 2 m sek<sup>-1</sup> und einer konstanten Beschleunigung von 4  $\times 10^5$  m sek<sup>-2</sup> oder  $\sim 40.000$  G entspricht.

#### Phase 3 (Abb. 2–c)

Die Entladung ist vorübergehend für ungefähr 150  $\mu$ sek aufgehalten. Während dieser Zeit müssen sich die Stilette von der Öffnung, die sie mechanisch erzeugt haben, zurückziehen, damit der restliche Schlauch in den Körper der Beute evaginieren kann. Viele rasterelektronenmikroskopische Bilder von entladenen Stenotelten zeigen, daß die Stilette immer zurückgeschlagen sind und das Loch von ihnen frei bleibt (TARDENT and HOLSTEIN 1982).

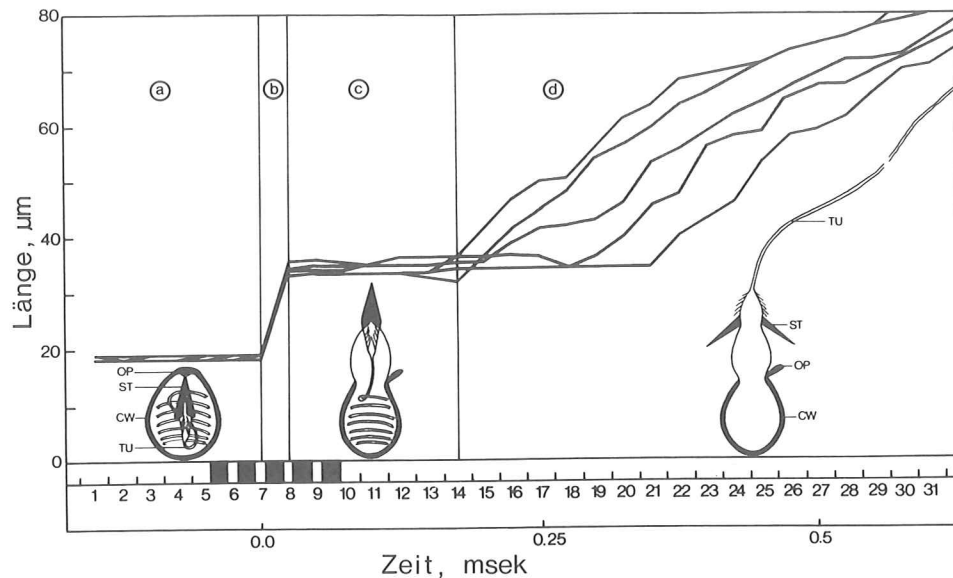


Abb. 2. Die 4 Phasen der Stenotelen-Entladung (a-d), rekonstruiert aus 5 hochfrequenzmikrokinematographischen Versuchen (vgl. Abb. 4): In den Kurven sind die Längenänderungen der Kapsel (einschließlich des evaginierenden Inhalts, d. h. Stilette und Tubulus) gegen die Zeit (den Entladungsprozeß) aufgetragen. CW – Kapselwand; OP – Operculum; ST – Stilette; TU – Tubulus (nach HOLSTEIN and TARDENT 1984).

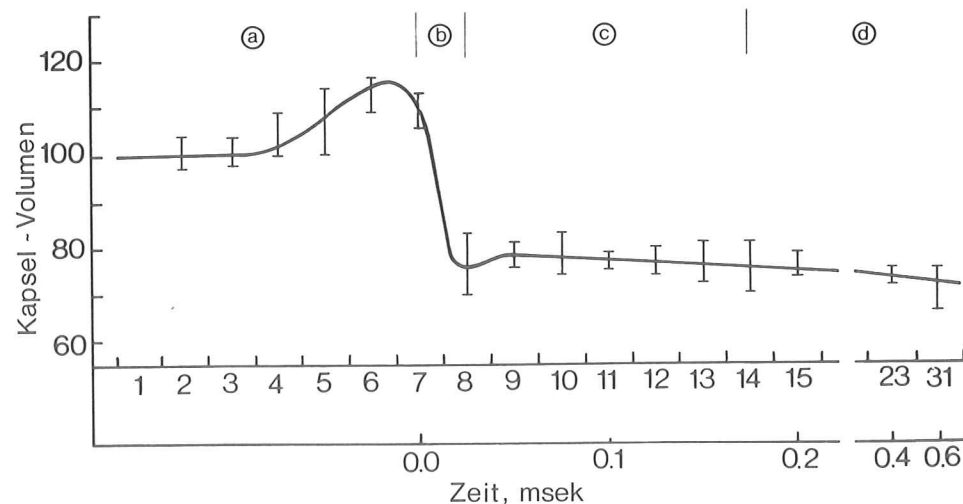


Abb. 3. Volumenänderungen der Stenotele nach elektrischer Reizgebung und während der Entladung (dieselben 5 mikrokinematographischen Versuche wie in Abb. 2) (nach HOLSTEIN and TARDENT 1984).

#### Phase 4 (Abb. 2-d)

Der konische Abschnitt des Schlauches mit den Lamellen und dem langen Endabschnitt evaginiert. Dieser Vorgang ist abgeschlossen, sobald der letzte Teil des Schlauches aus dem Inneren der Kapsel verschwunden ist. Im Vergleich zu den vorigen Phasen ist die Evagination des langen, dünnen Tubulus das langsamste Ereignis des ganzen Vorgangs; sie erfolgt mit einer Vorschubgeschwindigkeit von ca. 300 µm pro Sekunde.

Während der gesamten Entladung reduziert sich das Volumen der Cyste um 50% (TARDENT and HOLSTEIN 1982). In der hochfrequenzmikrokinematographischen Analyse der Entladung wird deutlich, daß diese Änderung schrittweise erfolgt (HOLSTEIN and TARDENT 1984). Unmittelbar vor Aufklappen des Operculums und dem Herausschleudern der Stilette erfolgt eine kleine aber distinkte Volumenzunahme der Cyste um 10%. In Phase 2 findet ein rapider Abfall auf 75% des Ruhevolumens statt, diesem folgt ein langsamer aber kontinuierlicher Abfall auf 50% des Originalvolumens in Phase 4. Während der gesamten Volumenänderungen bleibt die Dicke der Kapselwand konstant (TARDENT and HOLSTEIN 1982); die Cyste behält ihre typische Gestalt und zeigt keine Anzeichen einer Deformation (HOLSTEIN and TARDENT 1984).

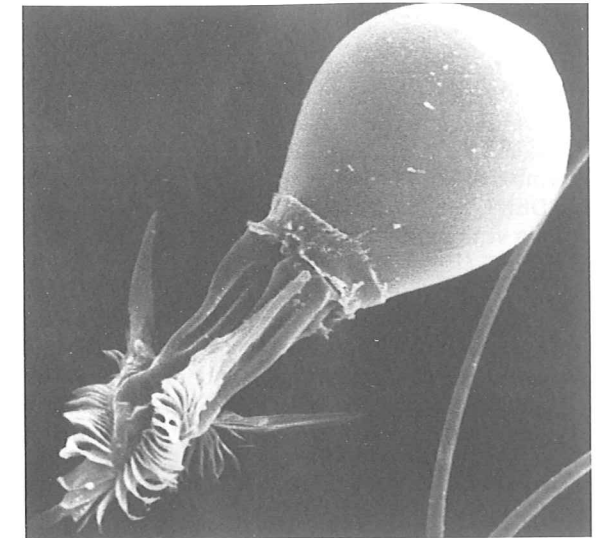


Abb. 4. Rasterelektronenmikroskopisches Bild (Vergrößerung 2600x) einer entladenen Stenotele mit zurückgeschlagenen Stiletten.

#### Energetik der Entladung

Die hochfrequenzmikrokinematographische Analyse der Entladung von Stenotelen eröffnet eine neue Sicht der Kräfte, die für diese spektakuläre Exocytose benötigt werden (HOLSTEIN and TARDENT 1984).

#### Beteiligung von kontraktile Elementen?

Der Volumenabfall während der Entladung ist konsistent mit der Hypothese, daß kontraktile Elemente die Kapselwand deformieren und so die Entladung verursachen (CORMIER and HESSINGER 1982). Man kann jedoch aus dem Volumenabfall in Phase 2 kalkulieren, daß die Oberfläche in einer Periode von weniger als 10 µsek um 22% schrumpft. Wäre diese Änderung durch sich kontrahierende Elemente bedingt, so müßten sich diese in dieser Zeit um 11% verkürzen (11.000 Längeneinheiten pro Sekunde), was etwa 500–1000mal schneller wäre als in den schnellsten bekannten Skelettmuskeln (CLOSE 1965). Man kann außerdem zeigen, daß in Nematocyten, die mit fluoreszentem Phalloidin gefärbt wurden, keine organisierten Bündel von Actin-Filamenten in der unmittelbaren Nachbarschaft der Kapsel vorkommen (HOLSTEIN and TARDENT 1984).

#### Osmotische oder Spannkraft?

In dem Modell eines rein osmotischen Entladungsmechanismus würde man nicht erwarten, daß während der Entladung der Kapselvolumen abnimmt. Andererseits ist die Volumenzunahme, die man nach der elektrischen Auslösung beobachten kann, schwer durch ein reines Spannungsmodell zu erklären: Einer Volumenzunahme würde in einem solchen Modell ein Druckabfall entsprechen; die Öffnung des Operculums in Phase 1–2 suggeriert jedoch einen Druckanstieg (HOLSTEIN and TARDENT 1984).

Um die vorliegenden experimentellen Fakten zu erklären, wurde von HOLSTEIN and TARDENT (1984) folgender Entladungsmechanismus postuliert: Während der Entladung der Stenotelen werden osmotische Kräfte erzeugt, die zu der anfänglichen Volumenzunahme führen; in der weiteren Entladung kommt es zusätzlich zu der Freisetzung mechanischer Energie, die in der Kapselwand gespeichert ist. Ein substantieller Anteil dieser mechanischen Energie wird während dem raschen Heraus-schleudern der Stilette (Phase 2) freigesetzt, während die Hauptkraft der folgenden, langsameren Ereignisse (Phase 3–4) durch den Druck bedingt ist, der durch das Anschwellen des osmotisch aktiven Matrixmaterials der Kapsel erzeugt wird.

Diese Beobachtungen werfen die Frage nach der molekularen Basis der bei der Entladung wirksamen Kräfte auf, vor allem nach denen, die zu einer Volumenzunahme des Matrixmaterials führen. Es konnte in röntgen-spektrometrischen Analysen (REM) von Nematocysten gezeigt werden, daß bei Seeanemonen (LUBBOCK and AMOS 1981) und bei *Hydra* (TARDENT, HOLSTEIN, WEBER and KLUG 1985) in den Ruhekapseln Calcium in sehr hoher Konzentration gespeichert ist und während der Entladung plötzlich freigesetzt wird. Der molekulare Mechanismus, durch den das gespeicherte Calcium u. U. ein Anschwellen der Cyste blockiert, ist noch nicht geklärt. Auch in anderen Systemen wurde ebenfalls ein Anschwellen des exocytotischen Vesikels unter Calciumbeteiligung als erster Schritt während der Entladung postuliert (GAROFALO and SATIR 1984, ZIMMERBERG and WHITAKER 1985). Die Entladung von Nematocyste kann daher als ein Modell dienen, um andere exocytotische Prozesse und die damit verbundenen biophysikalischen Prozesse zu verstehen.

#### Filmbeschreibung

##### Szene 1–3 (24 Bilder/Sekunde)

##### Habitus von *Hydra attenuata*

Man erkennt den schlauchförmigen Körper, an dessen Vorderende der Kopf mit dem kegelförmigen Hyposthom, der Mundöffnung und 5–12 radiärsymmetrisch angeordneten Tentakeln liegen. Der Rumpf besteht aus der Gastralregion und der proximalen, schwächer pigmentierten Siphonregion, an deren Ende sich die Fußscheibe befindet. Die Tentakel führen charakteristische Fangbewegungen aus.

##### Szene 4 (24 Bilder/Sekunde)

##### Fangakt

Ein Polyp fängt mehrere Daphnien. Jeder Tentakel von *Hydra attenuata* besitzt ca. 2000–3000 Nematocyten, die in Gruppen von ca. 20 in großen ektodermalen Epithelzellen (Batteriezellen) angeordnet sind. Diese Batterien enthalten vier verschiedene Typen von Nematocyten, die als wesentliches Merkmal für die zuverlässige Unterscheidung der verschiedenen Arten des Genus *Hydra* dienen (HOLSTEIN 1986). Atriche und holotriche Isorhizen („Glutinant“) besitzen einen klebrigen Schlauch, der den Polypen zur Anheftung an das Substrat während ihrer Lokomotion dient. Die Beute wird durch die toxische Wirkung der Stenotelen („Penetranten“) gelähmt,

während die Desmonemen („Volventen“) ein Abfallen der Beute von der Oberfläche des Tentakels verhindern.

##### Szene 5–6 (24 Bilder/Sekunde)

##### Fangakt und Schlingreaktion

Die Schlingreaktion wird durch ein bei der Verletzung freigesetztes Peptid (Glutathion) induziert: Die Tentakel kontrahieren sich und führen das Beutetier zur Mundöffnung; gleichzeitig öffnet sich die Mundöffnung, wobei sich diese um ein Vielfaches ihres ursprünglichen Durchmessers erweitert und das Hyposthom sich langsam über das gefangene Beutetier schiebt.

##### Szene 7 (5000 Bilder/Sekunde, Hycam; Objektfeldbreite 80 $\mu\text{m}$ , Durchlicht)

##### Entladung einer Stenotele

Die obere der beiden Kapseln wird hier künstlich durch einen kurzen elektrischen Puls zur Explosion gebracht. Neben den Stenotelen erkennt man Desmoneme und holotriche Isorhizen.

##### Szene 8 (Trick)

##### Struktur einer Stenotele

Die dickwandige Stenotele ist durch das Operculum verschlossen. Der lange toxische Nessel Schlauch ist spiralig aufgerollt. In seiner Schaftregion trägt er den dreiteiligen Stilettapparat. An der Oberfläche der Zelle liegt der sensorische Apparat (Cnidocil Nematocyste Komplex), dessen Cilium – das Cnidocil – über die Oberfläche der Nematocyte und des Tentakels hinausragt.

##### Szene 9 (120.000 Bilder/Sekunde, Hycam $\frac{1}{4}$ Format, nachgedehnt von 40.000–120.000; Objektfeldbreite 80 $\mu\text{m}$ , Durchlicht).

##### Entladung einer Stenotele

##### Szene 10 (400.000 Bilder/Sekunde, Hycam $\frac{1}{4}$ Format, nachgedehnt von 40.000–400.000; Objektfeldbreite 80 $\mu\text{m}$ , Durchlicht).

##### Entladung einer Stenotele

Man kann die einzelnen Phasen erkennen (1) Öffnen des Operculums; (2) Ausschleudern der Stilette; (3) Ruhephase und (4) Evagination des langen Tubulus.

##### Szene 11 (120.000 Bilder/Sekunde, Hycam $\frac{1}{4}$ Format, nachgedehnt von 40.000–120.000; Objektfeldbreite 80 $\mu\text{m}$ , Durchlicht).

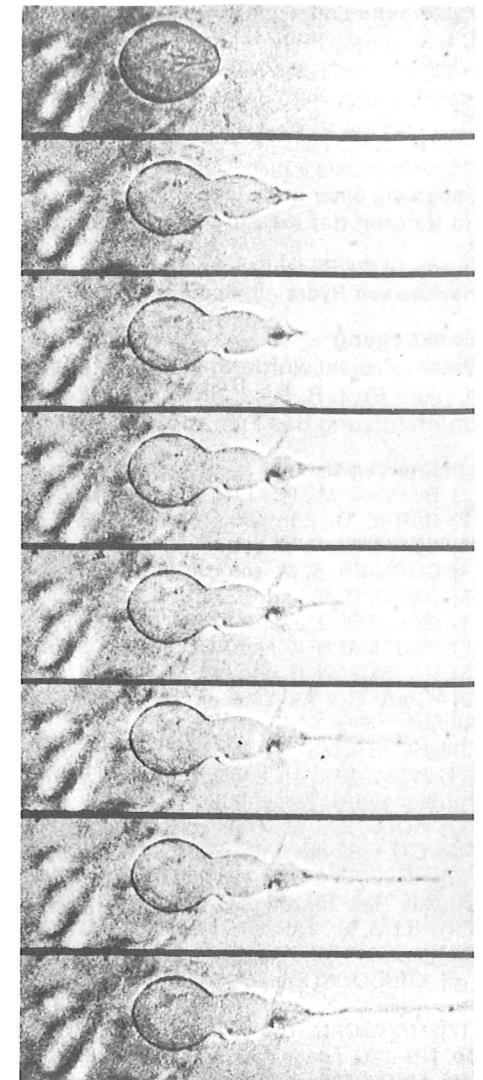


Abb. 5. Kinematographisch aufgenommene Sequenz der Stenotelen-Entladung mit den Phasen 1–4 [direkte Kopie vom Original-Film, 40.000 Bilder pro Sekunde, Hellfeld (X 1000), (nach HOLSTEIN and TARDENT 1984)].

#### **Fehlerhafte Entladung einer Stenotele**

Die Schlauchwand reißt während der Explosion, und das aufquellende Matrixmaterial wird sichtbar. Das Matrixmaterial tritt deutlich an einer Stelle aus (Riß in der Schafwand) und nimmt ständig an Volumen zu.

**Sezene 12–13** (400.000 Bilder/Sekunde, Hycam ¼ Format, nachgedehnt von 40.000→4.000.000; Objektfeldbreite 80 µm, Durchlicht).

#### **Entladung einer Stenotele**

Im Inneren der Kapsel erkennt man das Abspulen des Nesselschlauches.

**Szene 14** (24 Bilder/Sekunde)

**Habitus von *Hydra attenuata*.**

#### **Danksagung**

Dieses Projekt wurde vom schweizerischen Nationalfonds (3.174-081) unterstützt. Wir danken Prof. R. Riedl (Institut für Zoologie der Universität Wien) für die großzügige Unterstützung des Filmes.

#### **Literaturverzeichnis**

- [1] BILINSKI, M., PLATTNER, H. and MATT, H.: J. Cell Biol. 88, 179 (1981).
- [2] CARRE, D.: European Journ. Cell Biol. 2, 265 (1980).
- [3] CORMIER, S. M. and HESSINGER, D. A. (1980): Tissue & Cell 12, 713–721.
- [4] CORMIER, S. M. and HESSINGER, D. A. (1980): J. Ultrastr. Res. 72, 13–19.
- [5] DAVID, C. N. and GIERER, A. (1974): J. cell. Sci. 16, 359–375.
- [6] GAROFOLO, J. and SATIR, B. H. (1984): J. Cell Biol. 99, 2193–2199.
- [7] HAUSMANN, K. and HOLLSTEIN, T. (1985): Naturwissenschaften 72, 145–146.
- [8] HAUSMANN, K. and HOLSTEIN, T. (1985): J. Ultrastr. Res. 90, 89–104.
- [9] HOLSTEIN, T. (1986), in: Süßwasserfauna Mitteleuropas (ed. J. Schwoerbel), Fischer Verlag Stuttgart, New York, in press.
- [10] HOLSTEIN, T. and TARDENT, P. (1984): Science 223, 830–833.
- [11] HOLSTEIN, Th. (1980), in: Developmental and cellular biology of coelenterates (ed. P. Tardent and R. Tardent) 313–318.
- [12] HOLSTEIN, Th. (1980): Morphogenese der Nematocysten bei *Hydra attenuata* (Cnidaria). Film CTf 1682 des ÖWF, Wien.
- [13] HOLSTEIN, Th. (1981): The Morphogenesis of nematocytes in *Hydra* and *Forskalia*. J. Ultrastr. Res. 75, 276–290.
- [14] KLUG, M., TARDENT, P., SMIT, I. and HOLSTEIN, T. (1984): Presence and Localisation of Chitinase in *Hydra* and *Podocoryne* (Cnidaria, Hydrozoa). J. Exp. Zool. 229, 69–72.
- [15] LUBBOCK, R. and AMOS, W. B., Nature 290, 500 (1981).
- [16] LUBBOCK, R., GUPTA, B. L. and HALL, T. A.: Proc. Natl. Acad. Sci. USA 78, 3624 (1981).
- [17] MARISCAL, R. N. (1974): MUSCATINE, L. and LENHOFF, H. M. (Eds.) Coelenterate Biology, pp. 129–178, Academic Press, New York.
- [18] MARISCAL, R. N. and BIGGER, C. H. (1976), in MACKIE, G. O. (Ed.) Coelenterate Ecology and Behaviour, pp. 559–568.
- [19] POLLARD, H. B., PAZOLES, C. J., CREUTZ, C. E. and ZINDER, O.: Int. Rev. Cytol. 58, 159 (1979).
- [20] TARDENT, P., HOLSTEIN, T., WEBER and KLUG, M. (1985): The Morphodynamics and Actions of stenoteles (Nematocysts) in *Hydra*. Naturf. Ges. Genf (in press).
- [21] TARDENT, P. and HOLSTEIN, Th. (1982): Morphology and morphodynamics of the stenotele nematocyst of *Hydra attenuata* Pall. (Hydrozoa, Cnidaria). Cell Tiss. Res. 224, 269–290.
- [22] WATSON, G. M. and MARISCAL, R. N. (1984): J. Ultrastr. Res. 86 (2), 202–214.
- [23] ZIMMERBERG, J. and SATIR, B. H. (1985): Nature (London) 315, 581–584.

#### **Anschrift des Verfassers**

Univ.-Ass. Dr. Thomas Holstein, Zoologisches Institut der Universität München, Luisenstraße 14, D-8000 München.

Medieninhaber, Herausgeber und Verleger: Österreichisches Bundesinstitut für den Wissenschaftlichen Film (Direktor: Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Siegfried Hermann). Eine Dienststelle des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung. A-1050 Wien, Schönbrunner Straße 56, Telefon (0222) 55 45 05-0. – Redaktion: Ing. Peter Levenitschnig, ebendort. – Hersteller: Ferdinand Berger & Söhne Gesellschaft m.b.H., 3580 Horn. – Grundlegende Richtung gemäß Mediengesetz, § 25 Abs. 4: Information über alle Bereiche der wissenschaftlichen Kinematographie.

Die in den einzelnen Beiträgen geäußerten Ansichten stimmen nicht unbedingt mit der Meinung des Herausgebers überein.

ISSN 0379-444X