

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 272/1960

Proteus
Hemmungsformen durch Penicillinwirkung

Mit 1 Abbildung

GÖTTINGEN 1975

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Proteus

Hemmungsformen durch Penicillinwirkung

G. POETSCHKE, München

Allgemeine Vorbemerkungen¹

Die Bakteriengattung *Proteus* gehört zur Familie der Enterobacteriaceae. Sie ist in unserer Umwelt weit verbreitet, insbesondere in zerfallendem oder faulemdem organischen Material, ferner im Darm und Kot. Auch als Krankheitserreger des Menschen spielen *Proteus*-Arten keine geringe Rolle, besonders bei Infektionen der Harnwege. Die Gattung hat ihren Namen nach dem griechischen Meergott Proteus erhalten, der seine Gestalt dauernd wechseln konnte.

In der Tat ist der Gestaltwandel, zu dem alle Arten, besonders aber *Proteus mirabilis* und *Proteus vulgaris* befähigt sind, besonders groß. Diese beiden *Proteus*-Arten zeichnen sich auch durch ein Bewegungsverhalten aus, das in dieser Form nur bei ihnen vorkommt. Es handelt sich um die Ausbreitung über die ganze Oberfläche feuchter Nährböden.

Näheres darüber in der Beschreibung des Films „Bewegungsvorgänge bei *Proteus*“ (vgl. POETSCHKE [11]).

In den Versuchen, die diesem Film zugrunde liegen, wurden die verschiedenen Hemmungsformen durch Zugabe von Penicillin G-Natrium zum Nährboden erzeugt (meist 200 E/ml).

FLEMING et al. [2] und FLEMING [1] haben wohl als erste Hemmungsformen beschrieben, die durch Penicillin hervorgerufen werden.

Neben die Hemmung der Zellwandsynthese durch Penicillin tritt die Hemmung der Querteilung durch einen chemisch nicht näher bekannten Metaboliten des Stoffwechsels der *Proteus*-Bakterien selbst, den man „Schwärmstoff“ genannt hat (KNÖLL [4], LOMINSKI und LENDRUM [5], s. auch POETSCHKE [11]).

¹ Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 8 u. 9.

Bei ausschließlicher Wirkung von Penicillin scheinen nur runde Formen zu entstehen. Bei einer Einwirkung von „Schwärmstoff“ bilden sich nur lange Fäden; bei der Einwirkung beider Stoffe die verschiedensten Übergangs- und Mischformen.

Sehr auffällige Hemmungsformen sind Fäden, die etwa in der Mitte eine runde oder fadenförmige Ausstülpung zeigen. Man darf wohl annehmen, daß diese an der Stelle auftreten, an der die Querteilung der Zelle hätte einsetzen sollen, als die Teilungshemmung durch den als „Schwärmstoff“ wirkenden Metaboliten oder das Penicillin oder beide zur Wirkung kamen.

An dieser „Sollbruchstelle“ ist die Zellwand bereits schwach, möglicherweise durch lokalisierte Enzyme, die einen Abbau der Zellwand bewirken.

Zwei weitere Phänomene treten unter Penicillinwirkung auf: Die Bildung dickerer Geißeln und ihr vermehrtes freies Auftreten mit Bildung von Geißelzöpfen. Normale Bakteriengeißeln können bei Hellfeld- oder Phasenkontrastbeleuchtung nicht gesehen werden (Ausnahme: *Selenomonas*). Bei vielen der gezeigten Hemmungsformen sind bei Phasenkontrastbeleuchtung Geißeln gut sichtbar. Es ist uns nicht bekannt, durch welchen Mechanismus solche dickeren Geißeln entstehen und warum sie vermehrt abgeworfen werden.

Die Aggregation abgeworfener Bakteriengeißeln zu sog. Geißelzöpfen wird damit erklärt, daß der periodische molekulare Aufbau der Geißeln periodische polare Ladungen an ihrer Oberfläche entstehen läßt. Die polaren Ladungen benachbarter Geißeln ziehen einander an und führen zur parallelen Aggregation.

Die in diesem Film ferner gezeigten langen Fäden, die zu Spiralen aufgerollt um einen gemeinsamen Mittelpunkt rotieren, waren schon in dem Film „*Proteus*—Bewegungsverhalten“ (POETSCHKE [11]) gezeigt worden. Im vorliegenden Film sind die Fäden (infolge der Penicillinwirkung?) viel länger und die Spiralen daher viel umfangreicher.

Eine weitere ungewöhnliche Hemmungsform bei *Proteus* ist die Bildung verzweigter, dreistrahligter Gebilde, die wir „Sternformen“ genannt haben. Ihre Entstehung konnte nicht in allen Phasen verfolgt werden. Man kann aber einerseits Formen sehen, die an einem fast graden, längeren Faden einen kleinen, dritten Nebenfaden entwickelt haben und andererseits voll ausgebildete Sterne mit drei langen, biegsamen Fäden. Ferner sieht man alle möglichen Übergangsformen zwischen diesen Extremen (POETSCHKE [8], Abb. 8—11). Man geht wohl nicht fehl, wenn man diese Formen als Entwicklungsreihe auffaßt, die durch gleichzeitige Wirkung von Penicillin und Schwärmstoff entsteht. Durch Penicillin kommt es zu einer lokalen und vorübergehenden Hemmung der Zellwandsynthese in der Mitte des Fadens. Bei fortbestehendem

Wachstum des Cytoplasmas und Querteilungshemmung durch Schwärmstoff kommt es zu einer Ausstülpung, die als biegsamer Faden weiterwächst, weil eine mäßige Zellwandsynthese wieder möglich wird.

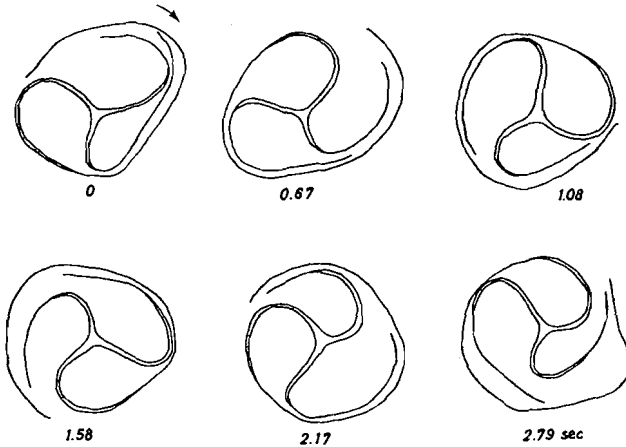


Abb. *Proteus mirabilis*. Drehphasen einer Sternform

Filmbeschreibung¹

24 B/s

Ein Teil der Schwärmfäden zeigt Anschwellungen oder Auftreibungen. Die Beweglichkeit der Fäden bleibt erhalten und kann sehr lebhaft sein, wobei Drehbewegungen auftreten.

Bei zunehmender oder anhaltender Penicillinwirkung kommt es zur vermehrten Bildung großer runder Körper (large bodies) und besonders dicker Schwärmfäden. Ein Teil dieser Formen zeigt lebhaft Rotationsbewegungen.

Bei anhaltender Penicillinwirkung entstehen immer mehr dicke Schwärmfäden mit Auftreibungen.

Geißelbewegungen

24 B/s

Große runde Körper, die zum Teil rotieren; ferner dicke Fäden (Regenwurmformen). Obgleich diese Fäden größtenteils keine Fortbewegung zeigen, sieht man an ihnen lebhaft bewegliche Geißeln.

¹ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Mit zunehmender Schädigung der Zellwandsynthese durch Penicillin kommt es zum Abwerfen (Verlust) von Geißeln und deren Aggregation zu Geißelzöpfen.

Sehr ungewöhnlich und interessant ist ein großer runder Körper, der zeitweise lebhaft rotiert. Man sieht deutlich, daß dieser Körper peritrich begeißelt ist. Insbesondere bei offensichtlichen, umweltbedingten Hindernissen der Rotation sieht man eine zusammengefaßte, synchrone Aktivität der Geißeln. Das Ganze wirkt zeitweise wie ein Medusenhaupt.

Bildung von Geißelzöpfen

24 B/s

In der vornehmlich aus ziemlich kurzen Schwärmfäden bestehenden Population ist es (bei sehr geringem Penicillin-Einfluß) zum Abwerfen vieler Geißeln gekommen, deren Struktur man gut erkennen kann.

In dem engen Flüssigkeitsraum zwischen Deckglas und Agar werden die Geißelzöpfe deformiert, wenn Stäbchen oder Fäden, die sich rasch bewegen, mit ihnen zusammenstoßen. Treffen solche Keime senkrecht zur Längsachse auf einen größeren Geißelzopf, so wird dieser zu einer Fläche parallel liegender Geißeln breitgewalzt. Trifft ein schnell beweglicher Faden einen Geißelzopf parallel zur Längsachse, so kann dieser in zwei Teile gespalten werden, die sich nach der Passage des Keimes schnell zu der alten Form zusammenlegen.

Kreisbewegungen

24 B/s

Unter leichter Penicillinwirkung kommt es zur Bildung besonders langer Fäden, die sich zu großen Spiralen aufwinden. Die Umgebung zeigt andere Folgen der Penicillinhemmung.

Kürzere Hemmungsformen, die Kreisbewegungen zeigen.

Sternformen

24 B/s

Die Drehrichtung der Sternformen ist sehr konstant. Wir sahen bei allen Beobachtungen nur einmal, daß ein rotierender Stern eine kurze Zeit anhielt und die erneut aufgenommene Rotation im Gegensinne begann.

Quantitative Ergebnisse

1. Rotationsbewegungen

Bei Spiralen, die aus einem einzigen Faden bestehen, wurden Geschwindigkeiten von 12,3, 21,6 und 36,3 $\mu\text{m/s}$ gemessen. Bei Spiralen, die aus

zwei gegensinnig rotierenden Fäden bestanden, war die Geschwindigkeit des inneren Fadens stets größer als die des äußeren.

	I	II
Äußerer Faden	9,2	8,6 $\mu\text{m/s}$
Innerer Faden	21,1	18,5 $\mu\text{m/s}$

2. Sternformen

Zwei derartige Gebilde wurden ausgemessen (Abb.). Es ergaben sich folgende Werte:

	Länge (μm) des			Geschwindigkeit (außen)	Rotationszeit
	äußeren	mittleren	inneren		
I	63	26	17	28,3 $\mu\text{m/s}$	28,3 s
II	20	18	11	17,8 $\mu\text{m/s}$	9,3 s

Danksagung

Herrn H. H. HEUNERT möchte ich auch an dieser Stelle für das große Verständnis und die unermüdliche Unterstützung bei der mühsamen und zeitraubenden Durchführung der Aufnahmen danken, deren technische Leitung in seinen Händen lag. Fräulein BRIGITTE MILTHALER hat mit großer Einfühlungsgabe die schwierige meßtechnische Auswertung durchgeführt. Die Durchführung der Filmaufnahmen und ihre Auswertung wurden durch die großzügige Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, und des Instituts für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, ermöglicht.

Literatur und Filmveröffentlichung

- [1] FLEMING, A.: Further observations on the motility of *Proteus vulgaris* grown on Penicillin agar. J. gen. Microbiol. 4 (1950), 457.
- [2] FLEMING, A., A. VOUREKA, I. R. H. KRAMER and W. H. HUGHES: The morphology and motility of *Proteus vulgaris* and other organisms cultured in the presence of penicillin. J. gen. Microbiol. 4 (1950), 257.
- [3] HEUNERT, H. H.: Die Anwendung der Mikrokinematographie in der bakteriologischen Forschung. In: Der Film im Dienste der Wissenschaft. Göttingen 1961, S. 115.
- [4] KNÖLL, H.: Untersuchungen über das rhythmische Schwärmen des *Bacterium vulgare* (*proteus*). Kolloid Z. 89 (1939), 135.
- [5] LOMINSKI, I., and A. C. LENDRUM: The mechanism of swarming of *Proteus*. J. Path. Bact. 59 (1947), 688.

- [6] MILTHALER, BRIGITTE: Meßtechnische Auswertung von Forschungsfilm-
aufnahmen. In: Der Film im Dienste der Wissenschaft. Göttingen
1961, S. 138.
- [7] MOLTKE, O.: Untersuchungen über das Phänomen des Schwärmens
der Proteusbazillen. Zbl. Bakt. (I Abt. Orig.) 111 (1929), 399.
- [8] POETSCHKE, G.: Kinematographische Studien über Bewegungsvor-
gänge bei Proteus. Zbl. Bakt. 172 (1958), 421.
- [9] POETSCHKE, G.: Kinematographische Methoden in der Mikrobiologie,
I. Internationaler Kongreß für medizinische Photographie und Kine-
matographie, Düsseldorf 1960.
- [10] POETSCHKE, G.: Kinematographische Studien an Proteus. Path.
Microbiol. 24 (1961), 1019—1034.
-
- [11] POETSCHKE, G.: Proteus — Bewegungsverhalten. Film E 271 des
Inst. Wiss. Film, Göttingen 1960.
-

Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1960 zur Auswertung in Forschung und Hoch-
schulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 63 m,
6 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden im Jahre 1959. Veröffentlichung aus der Ab-
teilung für Mikrobiologie und Serologie der Deutschen Forschungsanstalt
für Psychiatrie, München, Prof. Dr. G. POETSCHKE, und dem Institut für
den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dr. K.-H. Höfling; Aufnahme:
H. H. HEUNERT.

Inhalt des Films

Alle *Proteus*-Arten zeigen bei Einwirkung geringer Konzentrationen von
Penicillin infolge der Hemmung der Zellwandsynthese eine Fülle verschie-
dener morphologischer Veränderungen, besonders lange oder dicke Fäden,
teilweise auch mit Auftreibungen, große runde bewegliche oder unbewegliche
Gebilde, ferner verzweigte Fäden. Die langen Fäden bilden z. T. rotierende
Spiralen, auch die runden oder verzweigten Gebilde zeigen z. T. Rotations-
bewegungen.

Die Bakteriengeißeln werden infolge größerer Dicke auch im Phasen-
kontrastmikroskop gut sichtbar. Die Synchronisation ihrer Bewegungen ist
deutlich zu beobachten.

Die Geißeln werden vermehrt abgeworfen. Ihre Aggregation zu Geißelzöpfen
ist gut zu sehen.

Die Ergebnisse der quantitativen Auswertung werden im Begleittext ein-
gehend beschrieben.

Summary of the Film

All species of *Proteus* show numerous morphological changes under low
concentrations of penicillin, due to inhibition of cell wall synthesis, namely
unusually long or thick threads, sometimes with protuberances, large round

mobile or immobile bodies, and branching threads. The long threads sometimes form rotating spirals, the round or branching structures also sometimes show rotatory movement.

The flagellae of the bacteria become well visible in the phase contrast microscope owing to their greater thickness. The synchronisation of their movements is clearly visible.

The flagellae are increasingly cast off. Their aggregation to flagella plaits is easily seen.

The results of quantitative evaluation are described in detail in the accompanying text.

Résumé du Film

Toutes les catégories de *protéus* montrent sous l'effet de faibles concentrations de pénicilline, par suite de l'inhibition de la synthèse de la paroi cellulaire, une multitude de différentes modifications morphologiques, des fils particulièrement longs ou épais, en partie même avec des ballonnements, de grandes formes rondes mobiles ou immobiles, ou encore des fils ramifiés. Les longs fils forment, en partie, des spirales rotatives, de même il y a des formations rondes ou ramifiées qui montrent des mouvements rotatifs.

Par suite de leur plus grande épaisseur les flagelles des bactéries deviennent bien visibles également sous le microscope à contraste de phase. La synchronisation de leurs mouvements est clairement perceptible.

Il y a une séparation accrue des flagelles. Leur aggrégation sous forme de tresses de flagelles est facilement percevable.

Les résultats de l'évaluation quantitative sont décrits en détail dans le contexte.