

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 1 (1946)
Heft: 5

Artikel: Anwendung des Übermikroskopes
Autor: Frey-Wyssling, A. / Mühlethaler, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-653735>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Anwendung des Übermikroskopes

PROF. DR. A. FREY-WYSSLING UND K. MÜHLETHALER

In zäher, Jahrzehntelanger Arbeit haben die optischen Werkstätten vor der Jahrhundertwende das Auflösungsvermögen des *Lichtmikroskopes* von $0,5 \mu$ = fünf Tausendstelmillimeter (Trockensysteme) auf $0,3 \mu$ (Immersionssysteme) und 1904 schließlich auf $0,1 \mu$ (Ultraviolettmikroskop) gesteigert. Die moderne Entwicklung der Zytologie und die Erkenntnisse über die sichtbare Struktur der Zellwände, Chlorophyllkörper, Blutzellen, Nervenfasern, Muskelfibrillen, Kerne und Chromosomen verdankt man dem Immersions- und dem Ultraviolettmikroskop. Das Auflösungsvermögen von $0,1 \mu$ wurde als absolute Grenze der Abbildungsmöglichkeit erklärt. Wollte man daher in den unsichtbaren Feinbau der zytologischen Objekte eindringen, so mußte man sich indirekter Methoden bedienen (Polarisationsmikroskop, Röntgenspektrographie) und sich aus den indirekten Daten ein Bild der tatsächlichen Verhältnisse konstruieren.

Da tauchte vor dem zweiten Weltkrieg die Möglichkeit auf, mit den sehr kurzweligen Elektronenstrahlen mikroskopische Bilder zu erzeugen. Die Entwicklung des *Elektronenmikroskopes*¹ zu einem Laboratoriumsinstrument steigerte das Auflösungsvermögen für die Mikroskopie schlagartig von $0,1 \mu$ auf $0,005 \mu$ oder $5 \text{ m}\mu$. Gegenüber einem gewöhnlichen Lichtmikroskop (Trockensystem) bedeutet dies eine hundertfache und gegenüber dem Ultraviolettmikroskop eine zwanzigfache Verbesserung! Wenn man bedenkt, welche grundlegenden Entdeckungen in der Mikroskopie durch die Steigerung des Auflösungsvermögens von $0,5 \mu$ auf $0,1 \mu$ möglich geworden sind, auf denen z. B. die Zytogenetik beruht, d. h. die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Chromosomenbau und Vererbung, so muß man von der unvermittelten Herausschiebung des Auflösungsvermögens ins Reich der kolloiden Abmessungen eine revolutionäre Entwicklung der Biologie erwarten. Die fünffache Verbesserung des Mikroskopes, die frühere Forschergenerationen in langsamter Entwicklungsarbeit errungen haben, ist nun plötzlich um das Zwanzigfache überboten worden, so daß dem mikroskopierenden Biologen unbegrenzte Möglichkeiten eröffnet scheinen!

Die Prometheus-Natur des Menschen läßt ihn mit dem erreichten Auflösungsvermögen von $5 \text{ m}\mu$, das erlaubt, Kolloidteilchen abzubilden, jedoch nicht zufrieden sein. Schon wird der Wunsch geäußert, man sollte nicht nur Teilchen und Makromoleküle kolloider Abmessungen, sondern auch gewöhnliche Moleküle abbilden können. Die äußerst kurzen Wellen-

längen der Elektronenstrahlen, die hundertmal kleiner sind als der Durchmesser der kleinsten Moleküle, lassen eine solche verwegene Hoffnung aufkommen. Vorläufig verhindern jedoch technische Schwierigkeiten eine Ausnutzung der theoretischen Möglichkeiten. Zur Zeit ist eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit des Elektronenmikroskopes übrigens auch gar nicht notwendig; denn bis das gesamte Gebiet der «vernachlässigten Dimensionen» zwischen 100 und $5 \text{ m}\mu$ erschöpfend durchforscht ist, haben wir keine Berechtigung, noch bessere Instrumente von den Konstruktionswerkstätten zu fordern. Voraussichtlich werden wiederum mehrere Generationen zu forschen haben, bis wir die Morphologie der kolloiden Systeme so gut kennen wie Gestalt und Struktur der zytologischen Objekte.

Wichtiger als der Ruf nach einer weiteren Steigerung des Auflösungsvermögens ist die Entwicklung einer geeigneten *Mikrotechnik* für die Anwendung des Elektronenmikroskopes. Der Vorstoß der Abbildungsmöglichkeit im submikroskopischen Gebiete ist so unerwartet erfolgt, daß die Präpariertechnik zurzeit hinternach hinkt. Die Verhältnisse liegen umgekehrt wie bei der Entwicklung der Lichtmikroskopie. Damals stellten die Histologen, Zytologen, Pathologen und Bakteriologen durch eine hochentwickelte Schneide- und Färbetechnik geeignete Präparate her, und die Optik mußte mikroskopische Objektive schaffen, um die Einzelheiten dieser Präparate aufzulösen. Heute ist uns umgekehrt ein wundervolles leistungsfähiges Instrument geschenkt, aber wir besitzen nur wenige Präparate, die erlauben, diesen Fortschritt voll auszunützen. Für die meisten Objekte fehlt uns vorläufig noch die Kunst der Präparation, so daß das Gebot der Zeit in der Entwicklung der elektronenoptischen Mikrotechnik besteht.

Abbildung korpuskular disperser Systeme

Relativ günstig liegen die Verhältnisse für die Abbildung und Darstellung kolloider Einzelteilchen. Diese werden auf einem Film aus Kollodium oder Zaponlack von etwa $10 \text{ m}\mu$ Dicke aufgeschwemmt, der als Objektträger dient. Mit dieser Methode hat man erstaunenswerte Ergebnisse erzielt: Die Abbildung kolloider Gold-, Ruß- und Tonteilchen ist möglich geworden und man findet die früheren Ergebnisse der indirekten Größenbestimmung im Ultramikroskop, durch Diffusionsversuche usw. bestätigt. Neu ist für die Biologie die Darstellung der Erreger der Viruskrankheiten, deren submikrosko-

pische Dimension aus ihrer Fähigkeit, durch Bakterienfilter zu filtrieren, bekannt war. Auch die Bakteriologie hat neue Erkenntnisse errungen, indem bei gewissen Bakterien feinste Cilien oder Geißeln

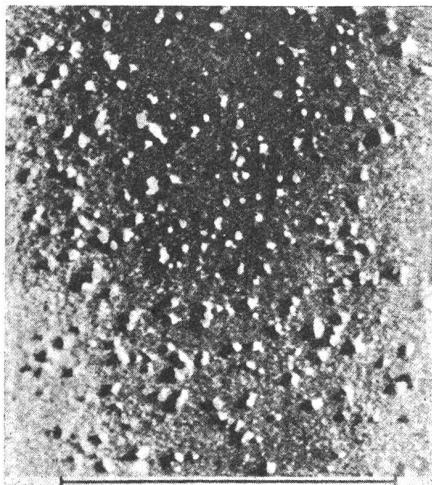


Bild 1. *Abdruck einer monomolekularen Haemocyanin Schicht. Die Moleküle wurden auf einer Glasplatte mit einer dünnen Goldschicht beschattet. Vergr. 45 000 : 1. Aus Journal of applied Physics 17, 31 (1946).*

abgebildet worden sind, über deren Zahl und Größe früher Uneinigkeit herrschte. Häufig erklären sich jedoch die Bakteriologen vom Elektronenmikroskop unbefriedigt, da es nicht gelingt, im riesig vergrößerten Bakterienleibe Einzelheiten zu erkennen. Dieser erscheint als schwarzes Schattenbild, das die Geheimnisse der Feinbaustruktur nicht frei gibt.

An dieser enttäuschenden Tatsache ist indessen nicht das Elektronenmikroskop schuld, sondern unsere mangelhafte Präpariertechnik. Die meisten Bakterien sind für eine Durchleuchtung zu dick, so daß sie nur einen Schatten werfen, anstatt nach den Gesetzen der Beugungsoptik ein Bild zu erzeugen. Wir müßten daher die Bakterien in Schnitte zerlegen. Selbst wenn dies gelingen würde, wären jedoch den Abbildungsmöglichkeiten Grenzen gesetzt, die das theoretische Auflösungsvermögen nicht erreichen; denn die Objekte kommen auf den Objektträgerfilm zu liegen, der selbst einen submikroskopischen Feinbau besitzt. Ein Objekt kann daher die Bahn der Elektronenstrahlen nur wirksam beeinflussen, wenn es dicker ist als die Trägerfolie oder wenn es schwerere Elemente enthält, die die Strahlen stärker ablenken als die Elemente C, O, N der organischen Verbindungen. Mit zunehmender Feinheit des Objektes nimmt daher der Kontrast seines Bildes gegenüber dem grauen Untergrund des Objektträgerfilms ab. Die Präparationsschwierigkeit liegt also darin, daß zu dicke Objekte nur Schattenbilder, zu dünne organische Objekte dagegen nur flau Bilder liefern können. Die Kunst der Elektronenmikrotechnik be-

steht nun darin, diese Schwierigkeiten zu überwinden. In Amerika ist man dazu übergegangen, durch schiefe Aufdampfung von Gold oder Silber den Kontrast kleinster Objekte zu steigern. Es ist dadurch gelungen, den Traum der Abbildung von Molekülen, wenigstens für Makromoleküle, die einen wesentlich größeren Durchmesser als 5μ besitzen, zu verwirklichen (Bild 1)². Es gelingt auch, biologische Objekte auf diese Weise zu vergolden; eine Möglichkeit, Aufschluß über den inneren Aufbau der Objekte zu erhalten, besteht dabei natürlich nicht.

Abbildung retikular disperter Systeme

Die zytologischen Objekte Zellwand, Chlorophyllkörper, Zellkerne usw. sind im Gegensatz zu den kolloiden Lösungen und Aufschwemmungen keine korpuskular dispersen Systeme, sondern sie besitzen als gelartige Substanzen eine submikroskopische Netzstruktur; es handelt sich um retikular disperse Systeme. Nachdem wir uns in Zürich zweieinhalb Jahr-

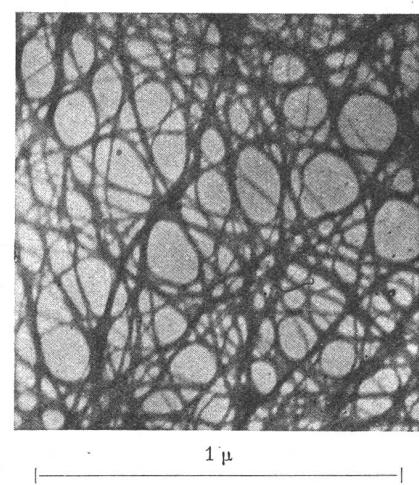
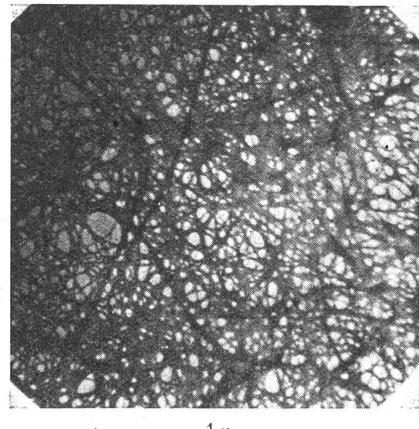


Bild 2 oben: *Vanadinpentoxyd-Gel; elektronenoptisch 20 000 : 1.*
Unten: *Getrocknetes Vanadinpentoxyd-Gel; elektronenoptisch 20 000 : 1, Nachvergrößerung auf 50 000 : 1.*

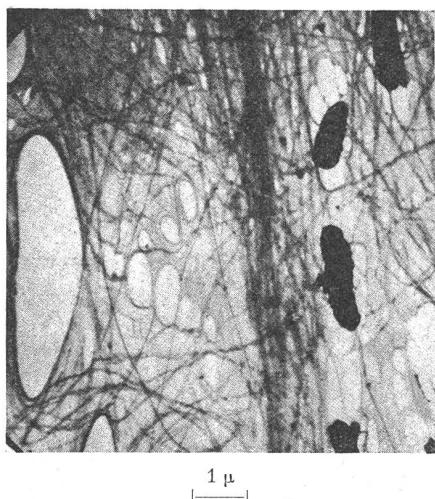


Bild 3. Oberflächenfilm einer Kultur von *Bacterium xylinoides*. Vergrößerung 6200mal.

zehnte um die Aufklärung dieser Strukturen auf indirektem Wege bemüht haben, ist es nun unser Ziel, die Elektronenmikroskopie der Untersuchung solcher Objekte zugänglich zu machen. Dabei stößt man auf noch größere Schwierigkeiten als bei der Abbildung aufschwemmbarer Teilchen, weil die Zellbestandteile erst schonend zerlegt werden müssen, ohne daß die charakteristische Struktur zerstört wird. Die Ergebnisse sind bisher noch bescheiden, doch berechtigen sie zu gewissen Hoffnungen.

Wie bei den korpuskularen dispersen Systemen liefern anorganische Modellsubstanzen kontrastreichere Bilder als organische Gele. Bild 2³ zeigt eine auf einer Trägerfolie aufgetrocknete Gellslösung von Vanadinpentoxyd. Dieses Bild darf als Muster des submikroskopischen Feinbaus einer Gallerte betrachtet werden. Wie bereits auf Grund der indirekten Untersuchungsmethoden behauptet worden ist⁴, besteht der submikroskopische Feinbau der Gele aus Strängen von Fadenmolekülen, die sich vielseitig berühren (Haftpunkte) und so ein lockeres Netzwerk bilden. In den Maschen dieser Lockerstruktur ist der große Wassergehalt der Gallerter gebunden.

Da es technisch unmöglich ist, so dünne Schnitte herzustellen, wie es die Elektronenmikroskopie verlangt, sind wir auf die Idee gekommen, Gelhäutchen sich entwickeln zu lassen und diese zu untersuchen, solange sie noch submikroskopisch dünn sind. Dies ist uns bei den Zellulosefilmen gelungen, die von gewissen Essigbakterien (*B. xylinum* und *B. xylinoides*) erzeugt werden. Diese Bakterien scheiden merkwürdigerweise Zellulose aus, welche sie aus Zuckermolekülen aufbauen, und da die Zellulose wasserunlöslich ist, schwimmt sie auf der Oberfläche der Kulturlösung. Läßt man nun diesen zellulösen Oberflächenfilm auf eine Objektträgerfolie absitzen, bevor er auf der Kulturlösigkeit überhaupt sichtbar ist, so besitzt er gerade die richtige Dicke, um

gute übermikroskopische Bilder zu liefern. Bild 3⁵ zeigt, wie das Zellulosegel ähnlich der Vanadinpentoxyd-Gallerte aus feinsten Strängen besteht, die sich gegenseitig überkreuzen und ein lockeres Gefüge bilden.

Ein weiteres Ziel besteht nun im Nachweis solcher lichtmikroskopisch unsichtbarer Stränge in den Zellwänden. Dies ist gelungen durch eine schonende Zerfaserung von Zellulosefasern mittels Ultraschallwellen⁶. Eine ähnliche Zertrümmerung der Zellwände kann auch in der Kugelmühle erreicht werden; dabei wird die Wandstruktur jedoch schonungslos zerschlagen, so daß nur bestimmte Bruchstücke brauchbare Bilder liefern. Die kurzwelligen longitudinalen Schwingungen, die durch einen Ultraschallerreger in einer Flüssigkeit erzeugt werden können, spalten Zellulosefasern ohne irgendwelche Querbrüche in immer feinere Fibrillen, Mikrofibrillen und schließlich in allerfeinste Stränge, die wir als *Micellarstränge* bezeichnen. Bild 4 zeigt das Ergebnis einer solchen Beschallung. Es ist damit be-

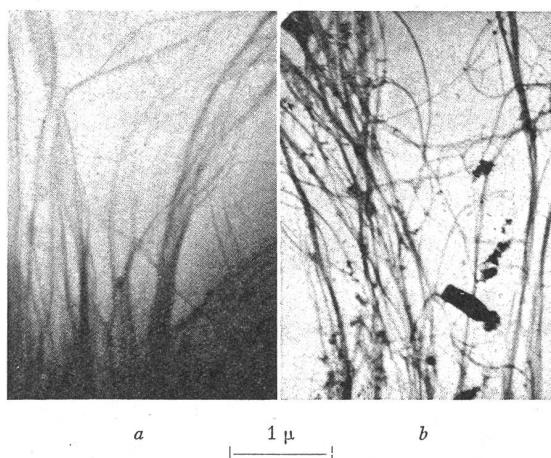


Bild 4. Elektronenmikroskopische Aufnahmen von beschallter Rami (a) und von Hanf (b). Vergrößerung 14 000mal.

¹ Induni G., Das Schweizerische Elektronenmikroskop. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich. 90. 181 (1945).

² Williams & Wickoff, Applications of Metallic Shadow Casting to Microscopy. J. applied Physics. 17. 31 (1946).

³ Frey-Wyßling und Mühlthaler, Elektronenoptische Abbildung des submikroskopischen Gel-Feinbaues. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich. 89. 214 (1944).

⁴ Frey-Wyßling, A. Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate. Berlin 1938.

⁵ Frey-Wyßling und Mühlthaler, Submicroscopic Structure of Cellulose Gels. J. Polymer Science 4, 172 (1946).

⁶ Wuhrmann, Heuberger und Mühlthaler, Elektronenoptische Untersuchungen an Zellulosefasern nach Behandlung mit Ultraschall. Experientia 2, 105 (1946).

wiesen, daß in den Zellwänden strangartige Bau-
elemente von unbestimmter Länge und 5–10 m μ
Dicke auftreten.

Die erwähnten Beispiele zeigen, wie erst eine neue
Mikrotechnik aufgebaut werden muß, um das Elek-
tronenmikroskop mit seiner bewundernswerten Lei-

stungsfähigkeit richtig auszunützen. Es ist nicht zu
vergleichen mit einer Lupe, unter die man beliebige
Objekte schieben und diese betrachten kann; sondern
bei jedem Objekt muß zuerst abgeklärt werden, wie
es in einen Feinheitsgrad zerlegt werden kann, der
eine nützliche Abbildung im Übermikroskop erlaubt.

Über Stachelhäuter

PROF. DR. BERNHARD PEYER

Star-fish heißt der Seestern auf englisch, die
Meduse der *jelly-fish*, der Krebs der *craw-fish* und *cuttle-fish*
der Tintenfisch. Alle diese Tiere gehören nicht
zu den Fischen im Sinne der Zoologie. Diese Namen
stammen aus alter Zeit; für die volkstümliche Zoo-
logie war eben alles, was im Wasser lebt, ein Fisch.
Auch im Deutschen gibt es ähnliches, z. B. den
Wal-fisch, der ein im Meere lebendes Säugetier ist
und dazu den *Tinten-fisch*. Für die Volkssprache ist
oft auch, was in der Luft fliegt, ein Vogel, wie z. B.
der *Sommer-vogel* und früher auch die *Fliege*; denn
in einem mittelalterlichen Verse heißt es von ihr:

Diu fliug ist, wirt der sumer haiz,
der chuenste vogel, den ich waiz.

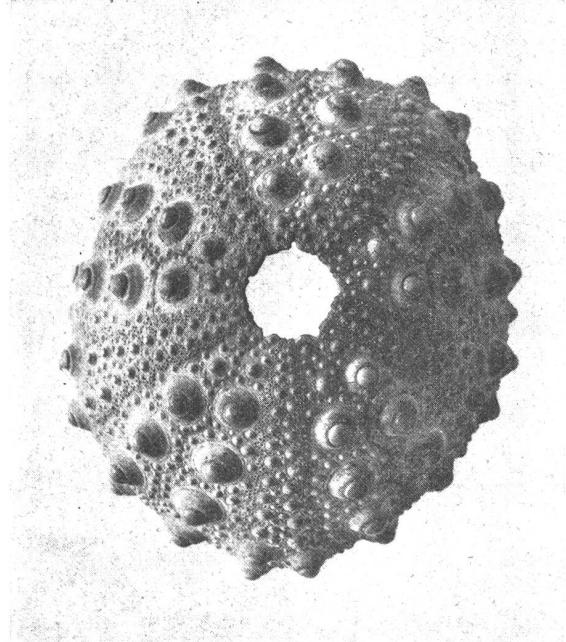


Bild 1: Schale eines rezenten Seeigels. Ansicht von oben.

Die *Seesterne* und ihre Verwandten, die *Schlangen-sterne*, die *Seeigel*, die *Seelilien* und die abenteuerlich
geformten *Seewalzen* kommen alle nur im Meere
vor. Für das Süßwasser oder gar das Festland ist
offenbar ihre Organisation nicht geeignet. Gemein-
sam ist allen, so verschieden sie auch geformt sind,
der Besitz eines sogenannten *Wassergefäß-Systemes*,
sowie eines *Skelettes* (Bild 1), das unter dem Mikro-
skop eine charakteristische feine Gitterstruktur auf-
weist. Alle diese genannten Formen werden deshalb
zum Tierstamm der *Echinodermen* oder *Stachelhäuter*
vereinigt.

Das Skelett scheint beim Seeigel oder beim See-
stern äußerlich zu liegen; in Wirklichkeit ist es von
Weichteilen bedeckt. Es liegt somit prinzipiell im
Innern des Körpers. Es setzt sich aus zahlreichen
Teilen zusammen, die entweder gegeneinander be-
weglich sind, wie bei Seesternen und Seelilie, oder aber
einen starren Panzer bilden, wie beim Seeigel, bei
dem jedoch die Stacheln beweglich sind (Bild 2). Bei
den Seewalzen ist das Skelett bis auf wenige Stücke
im Innern des Körpers verschwunden. Verschieden
ist auch der Grad der Ortsbeweglichkeit. Manche
Seewalzen sind frei flottierende Tiere, andere krie-
chen auf dem Grunde; die Seelilien dagegen sind
meist mittels eines Stieles am Grunde verankert. Die
festsitzenden Formen nähren sich von Plankton-
organismen, die durch eine von schlagenden Wim-
pern erregte Wasserströmung dem Munde zugeführt
werden. Andere, wie z. B. die Seesterne, sind Räu-
ber. Unser Röntgenbild (Bild 3) zeigt zwei See-
sterne, deren Magen ganz von Schalen von ge-
fressenen Weichtieren gefüllt sind. Unter den See-
igel haben die einen ein kräftiges Gebiß, die so-
genannte Laterne des Aristoteles, während andere
als Schlammfresser keinen solchen Kauapparat be-
sitzen. Die meisten Stachelhäuter zeigen wie der
Seestern einen fünfstrahligen Bau. Sie wurden des-
halb früher mit den ebenfalls radiär gebauten See-