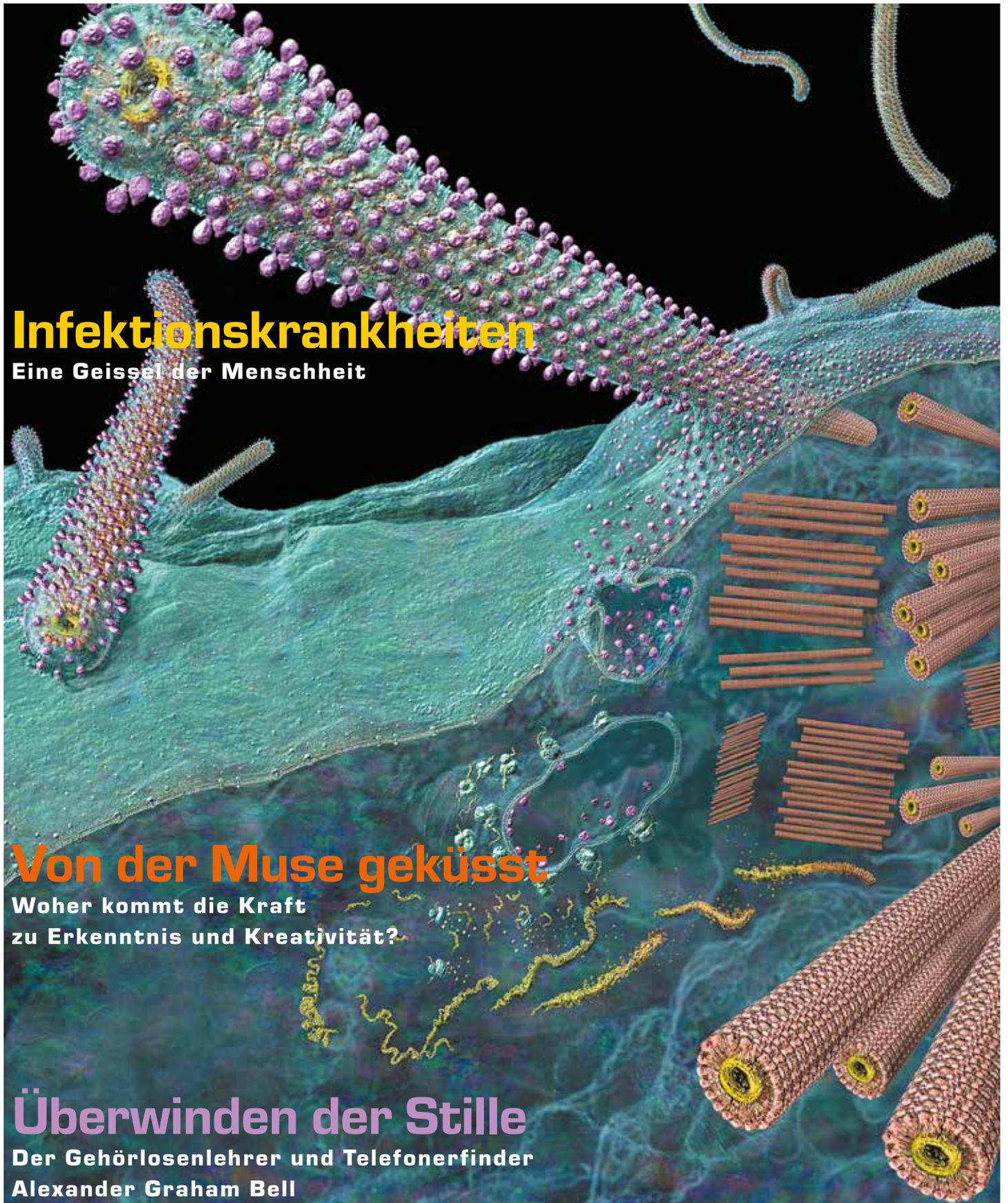


# MUSEION 2000

KULTURMAGAZIN GLAUBE, WISSEN, KUNST IN GESCHICHTE UND GEGENWART



## Infektionskrankheiten

Eine Geißel der Menschheit

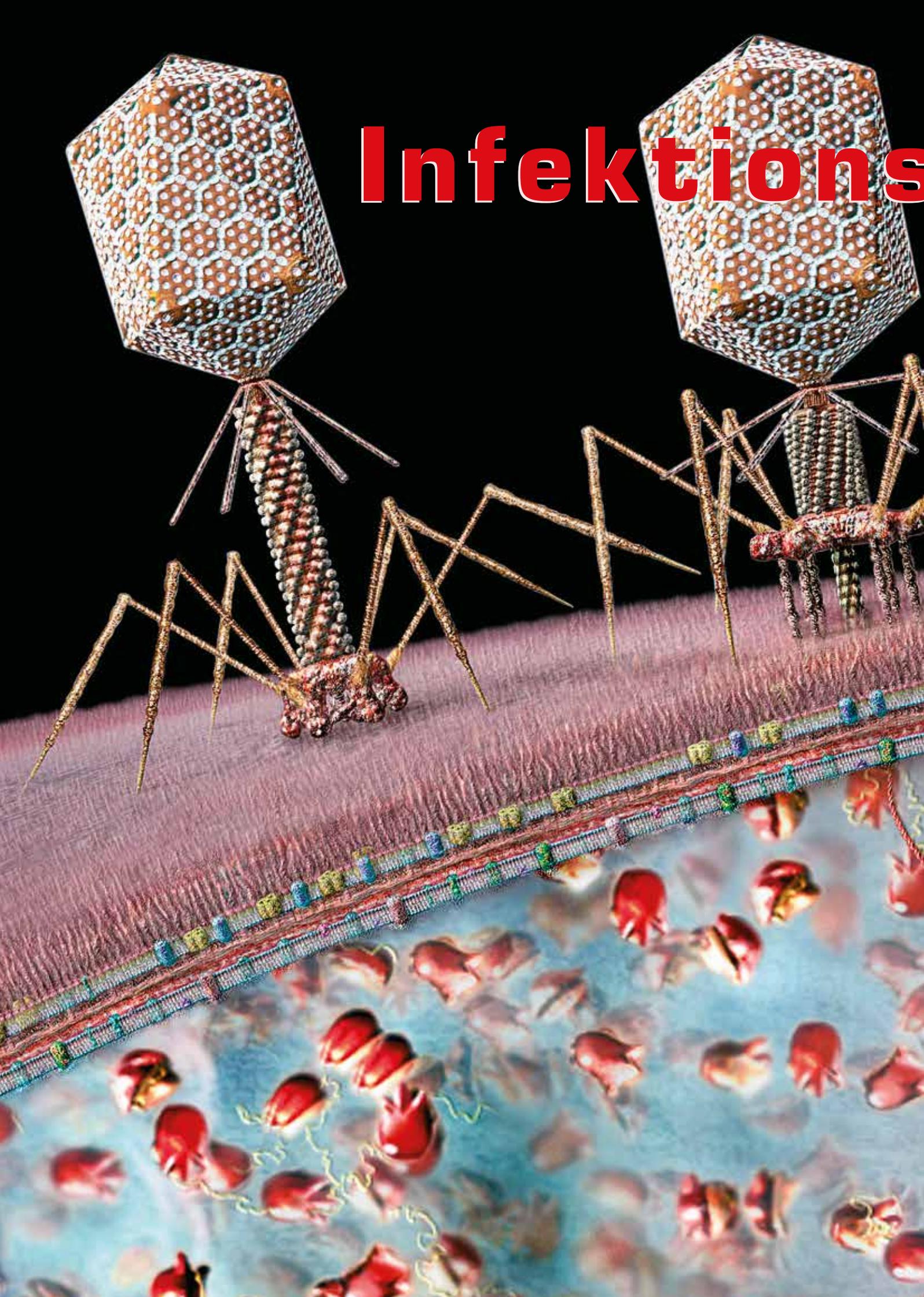
## Von der Muse geküsst

Woher kommt die Kraft  
zu Erkenntnis und Kreativität?

## Überwinden der Stille

Der Gehörlosenlehrer und Telefonerfinder  
Alexander Graham Bell

# Infektions

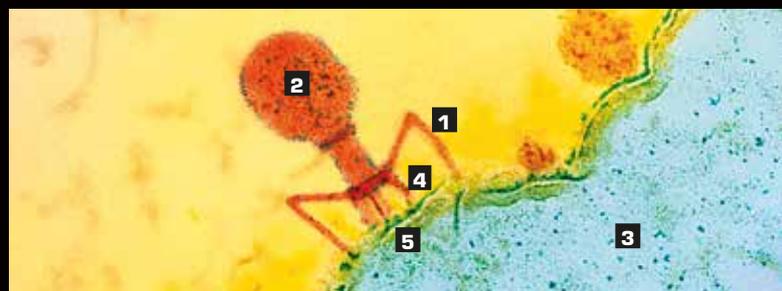


# s krankheiten

## EINE GEISSEL DER MENSCHHEIT

Nicht nur höher organisiertes Leben kämpft gegen infektiösen Krankheitsbefall – bereits eine Vielzahl von Bakterien sind davon betroffen: Wo Leben oder Anzeichen von Leben zu finden ist, heften sich ihm Krankheiten wie ein Schatten an. Diese Tatsache brachte dem Menschen viel Leid, stärkte ihn aber auch in Erkenntnis und Willen, Lebensumstände zu ändern oder die Forschung voranzutreiben, um beispielsweise für Mensch und Tier neue Medikamente oder Impfstoffe im Kampf gegen Infektionskrankheiten zu entwickeln.

Über die eigentlichen Hintergründe, die zum Auftreten von Krankheiten führen, ist nur wenig bekannt. Werden elementare Erkenntnisse vernetzter als gewohnt betrachtet, ist es aber durchaus möglich, mehr darüber in Erfahrung zu bringen.



Die futuristisch anmutende Illustration (links) und das mit Elektronenmikroskopaufnahme festgehaltene reale Geschehen (oben) verdeutlichen den Befall einer Bakterienzelle durch ein Bakterienvirus, den sogenannten T4-Bakteriophagen. Mit Hilfe der Tentakel (1) tastet der Bakteriophage (2) die Oberfläche der Bakterienzelle (3) ab. Während sich die Spikes am Opfer festhaken (4), bohrt sich die Kanüle des Bakteriophagen durch die Zellwand der Bakterienzelle (5) und 'impft' dem Bakterium fremdes Genmaterial ein. Es erfolgt eine 'Umprogrammierung' der Bakterienzelle, welche das Ziel verfolgt, das Bakterium zu missbrauchen, um unzählige neue Viren zu produzieren.

## Die Bekämpfung von Infektionskrankheiten – eine grosse Herausforderung

Die Statistiken der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sprechen eine unmissverständliche Sprache: *Infektionskrankheiten* zählen zu den häufigsten krankheitsbedingten Todesursachen der Weltbevölkerung. Breitet sich eine solche in einem grösseren, umgrenzten Gebiet aus, spricht man von einer *Epidemie*. Die gegen Ende letzten Jahres ausgebrochene Lungenkrankheit SARS ruft uns diese Tatsache schmerzlich in Erinnerung. Infektionskrankheiten sind, wie die Erfahrung lehrt, trotz technischen und medizinischen Fortschritts noch lange nicht besiegt – im Gegenteil: Neue und wieder auftretende Krankheiten dieser Art sind nach wie vor ein hochaktuelles Thema; stellt doch ihre Bekämpfung Organisationen wie die WHO, aber auch die Wissenschaft vor grosse Herausforderungen.

Die Auseinandersetzung mit dem Thema Infektionskrankheiten ergibt sich nicht nur aus aktuellem Anlass, sondern auch – wie dieser Beitrag aufzuzeigen versucht – aus der bedeutsamen Rolle, die derartige Krankheiten im Zusammenhang mit der Entwicklungsgeschichte irdischen Lebens spielen. Denn es handelt sich bei den Erregern von Infektionen, wenn man von infektiösen Pilz- und Prionenkrankheiten absieht, um *Viren*, *Bakterien* oder *Parasiten*. Aus wissenschaftlicher Sicht zählen Bakterien und Parasiten – virale Krankheitserreger ausgenommen – zur Lebewelt: Während Bakterien erst *Merkmale* von Leben aufweisen, können bestimmte Parasiten eindeutig der *niederen Tierwelt* zugeteilt werden. So kann der eigentliche Krankheitserreger also selbst eine Lebensform sein, und zudem ist sehr oft die niedere Tierwelt in die Übertragung von Infektionskrankheiten involviert.

Im Gegensatz zu *seelischen* Krankheiten ist die Ursache einer Infektion ein Erreger, der in vielen Fällen genau bestimmt werden kann. Dies ermöglichte für gewisse Infektionskrankheiten wie

Pocken oder Kinderlähmung die Entwicklung von Impfstoffen, die wirkungsvollen Schutz bieten. Dank Impfkampagnen, die die WHO unterstützte, gelang im Jahre 1979 die *weltweite* Ausrottung der schrecklichen Pockenkrankheit (vgl. *Abbildungen 1*), die in der Vergangenheit Entstellung, Blindheit, Hirnschäden und vorzeitigen Tod über die Menschheit brachte. Dennoch gibt es für eine erhebliche Anzahl von Infektionskrankheiten, welche unter anderem durch Viren wie HIV (*Abbildung 2*) oder Ebola (*Abbildung 3*) sowie durch Bakterien und Parasiten hervorgerufen werden, derzeit noch keine Impfstoffe.

Infektiöse Einheiten in Form von Viren zählen indes nicht zu den Lebewesen – sie besitzen *keinen* Stoffwechsel – und dennoch können auch sie relativ komplex aufgebaut sein. Die moderne Wissenschaft, insbesondere die Virologie, Bakteriologie und Molekularbiologie, hat daher alle Hände voll zu tun, Funktion und Wirkung bestehender oder neu auftretender Krankheitserreger dieser Art zu ergründen, um entsprechende Gegenmassnahmen einleiten zu können. Dank den bereits vorliegenden Erkenntnissen kann die Naturwissenschaft – wie wir später feststellen werden – in zahlreichen Fällen sehr detailliert Auskunft darüber erteilen, welche *Mechanismen* solchen Infektionskrankheiten zugrunde liegen und wie diese grundsätzlich funktionieren. Diese relativ komplizierte, aber äusserst aufschlussreiche Thematik müsste eigentlich, so die Überlegung, wesentlich zur Klärung des Sachverhalts beitragen, warum die irdische Lebewelt derart aufgebaut ist, dass sie – je nach Organisationsgrad – so anfällig für Krankheiten ist.

## Waren erste Organismen, die Merkmale von Leben aufweisen, frei von Krankheiten?

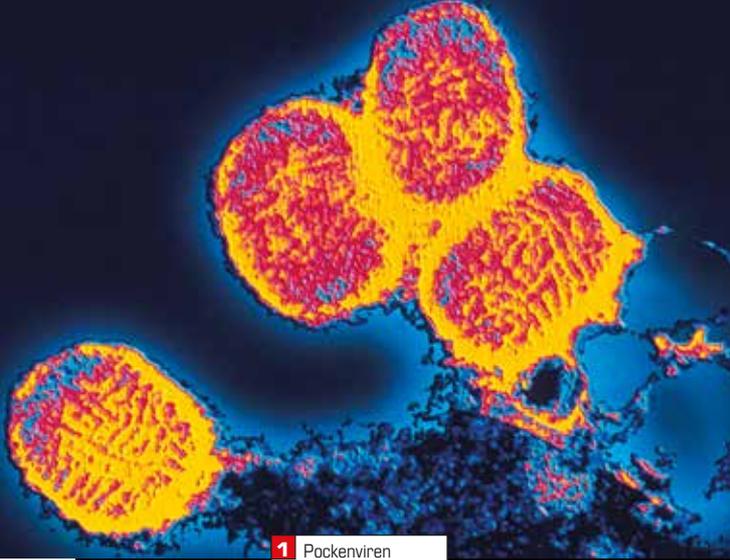
Wo Leben zu finden ist, heftet sich ihm Krankheiten wie Schatten an – in der Regel ist kaum ein Individuum in der Natur davon ausgenommen. 1978 konnte mit Hilfe von Fossilien

1 WHO-Urkunde vom 9.12.1979 über den Vollzug der weltweiten Ausrottung der Pockenkrankheit



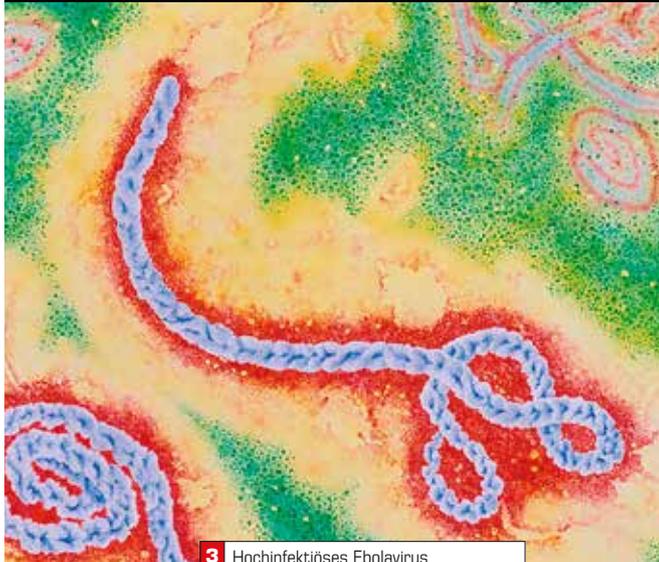
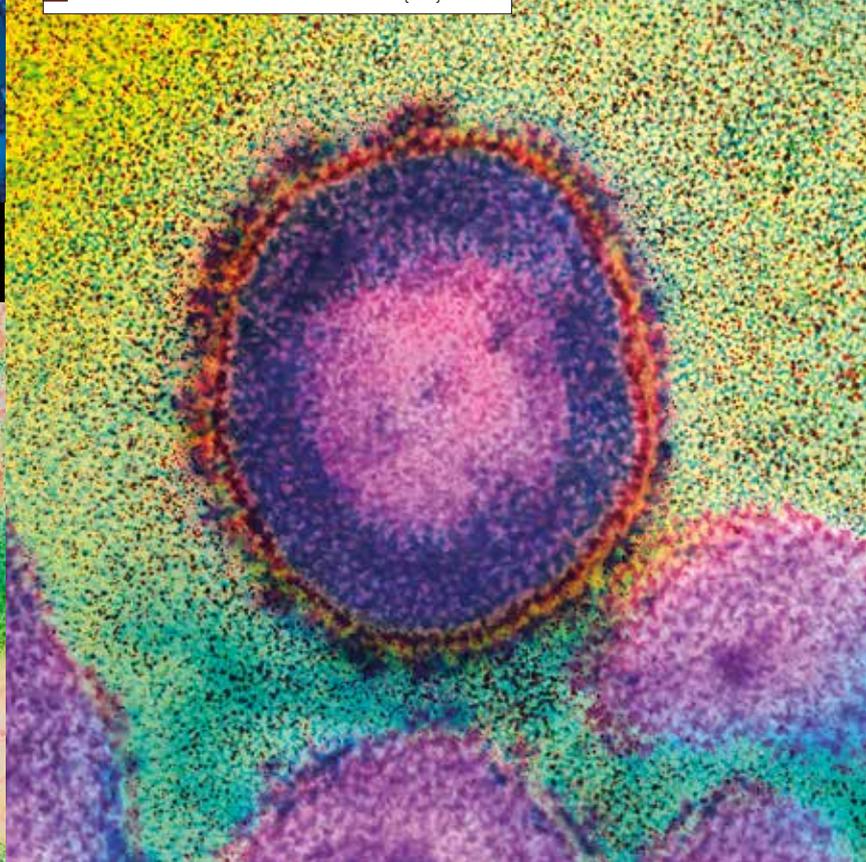
nachgewiesen werden, dass bereits vor 3,4 Milliarden Jahren Bakterien auf der Erde existierten. Diese ältestbekannten Organismen, die, wie erwähnt, Merkmale von Leben aufweisen, sind normalerweise mikroskopisch klein, das heisst von blossen Auge nicht sichtbar. Sie unterscheiden sich aber von 'höheren' Lebensformen wie Algen, anderen Pflanzen, Pilzen oder Tieren dadurch, dass sie einfacher aufgebaut sind und zudem über keinen *echten* Zellkern verfügen (Prokaryoten); Bakterien können sich auch nicht im eigentlichen Sinne geschlechtlich vermehren, wie dies bei Pflanzen, Tieren und Menschen der Fall ist.

Viele Bakterien sind Krankheitserreger, doch gibt es unter ihnen auch eine Reihe von Nutzorganismen, welche für die Existenz von höherem Leben unbedingt notwendig sind. Molekularbiologische Untersuchungen erbrachten in den siebziger Jahren den aussergewöhnlichen Befund, dass bei den Bakterien zwei verschiedene 'Urreiche' existieren: die sogenannten *Archaeobakterien* (*Abbildung 4*), welche mit extremen Lebensräumen zurechtkommen, wie sie hauptsächlich in

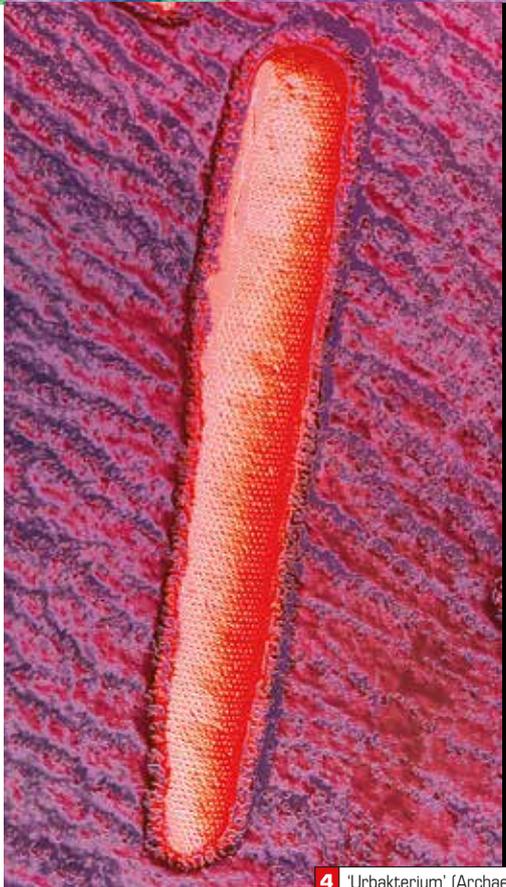


1 Pockenviren

2 Schnitt durch humanes Immundefizienzvirus (HIV)

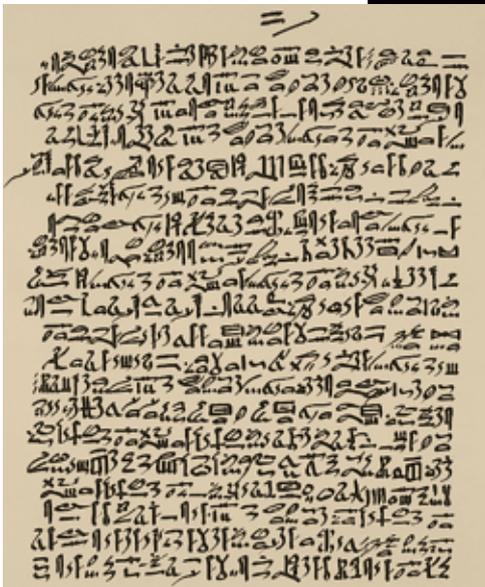


3 Hochinfektiöses Ebolavirus



4 'Urbakterium' (Archaeobakterium)

den Anfängen auf der Erde vorherrschten, und die heute am meisten verbreiteten 'echten' Bakterien, die *Eubakterien*. Archaeobakterien finden sich noch heute in extremen Umgebungen wie der Tiefsee, beispielsweise in der Nähe der grossen Bruchzonen am Ozeanboden, wo weit über 100 Grad heisse Gase aus meterhohen Gesteinskaminen aus dem Boden quellen. Die sensationelle Entdeckung dabei: In derartig lebensfeindlicher Umgebung können meist nur Archaeobakterien existieren und ihre Aufgabe als 'Pioniere' in den Stoffkreisläufen der Natur erfüllen. Interessanterweise sind unter ihnen bislang *keine* Krankheitserreger gefunden worden. Anscheinend sind Infektionen in lebensfeindlichem Umfeld, wo sich höher entwickeltes Leben in der Regel nicht aufhalten



5 Ausschnitt des Papyrus Ebers, in welchem die Krankheit Lepra in Ägypten erwähnt ist (um 1550 v. Chr.).



6 Ausschnitt der Transkription in Hieroglyphen des Papyrus Edwin Smith (um 1600 v. Chr.). Im rot umrahmten Textteil steht das altägyptische Wort *jadet*, welches Plage oder Seuche bedeutet.

kann, kein Thema. Namhafte Mikrobiologen gehen davon aus, dass die ersten Bakterien auf Erden diesen Archaeobakterien ähnlich waren. Diese Erkenntnis führt zur Vermutung, dass die ältestbekanntesten Organismen der Erde frei von Krankheiten waren.

### Seuchenplagen im alten Ägypten und im ägäischen Raum

Mit der Entwicklung zu höher organisiertem Leben wird sich dieser Zustand schon bald geändert haben, und der Lebewelt blieben todbringende Seuchen bis in die heutige Zeit nicht erspart. Beschränken wir uns im folgenden auf die von der Geschichtsschreibung belegte Zeit. Dank ihr wird uns offenbar, dass alle Zivilisationen unter den fatalen Konsequenzen ansteckender Krankheiten zu leiden hatten, was archäologische Funde noch erhärten. Denn neben schriftlichen Überlieferungen stehen aus dem alten Ägypten auch mumifizierte menschliche Körperreste in einem zum Teil erstaunlich guten



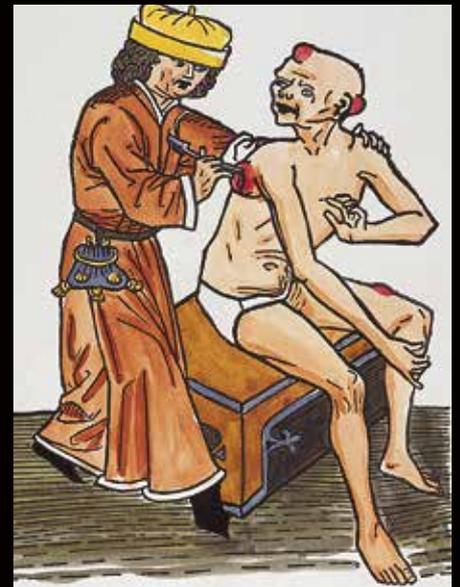
7 Trojanischer Krieg, festgehalten in rotfiguriger Vasenmalerei (um 360 v. Chr.).

Erhaltungszustand zur Verfügung. Entsprechende biomedizinische Untersuchungen an Mumien aus ungefähr 3500 Jahre alten Grabstätten haben ergeben, dass sogar die bessergestellte Bevölkerung eine sehr hohe Rate krankhafter Befunde aufwies. Nebst Knochenfrakturen, Entzündungen, Gelenkabnutzungserscheinungen und degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule, Blutarmut sowie bösartigen Tumoren traten in beträchtlichem Masse auch bakterielle Infektionskrankheiten auf. So gibt es auf der Basis von pathologischen

Untersuchungen beispielsweise Hinweise darauf, dass grosse Teile der damaligen Bevölkerung von *Tuberkulose* heimgesucht worden waren, wobei eine Durchseuchungsrate von mindestens 50% der erfassbaren Bevölkerung angenommen wird. Der Papyrus Ebers (Abbildung 5) berichtet von einer weiteren schrecklichen Krankheit, nämlich der *Lepra*, welche Hautverfärbungen und Entstellungen des Körpers nach sich zieht. Darüber hinaus liess sich durch Untersuchungen von Mumien wie jener von *Ramses V.* eine virale Infektionskrankheit, nämlich



8 Choleraepidemie in Hamburg. Einsatz von Rotkreuzhelfern im Feldlazarett (Illustration, 1892).



9 'Pestarzt' beim Beulenaufschneiden (Holzschnitt, Nürnberg 1482).



10 Bau eines Abwasserkanals in Wien (Lithographie, 1831).

die Pocken, nachweisen. Aber auch parasitäre Infektionen – beispielsweise Befall durch *Saugwürmer*, insbesondere im Darmtrakt – zählten zu den krankheitsbringenden Plagen der alten Ägypter. Eine weitere Handschrift mit medizinischem Inhalt, der Papyrus *Edwin Smith* (Abbildung 6), erwähnt das alt-ägyptische Wort *jadet*, mit welchem Plagen beziehungsweise Seuchen beschrieben wurden. Oft kurzerhand auch als *Pest* bezeichnet, waren es wohl andere ansteckende Infektionskrankheiten.

Auch die frühe Antike blieb von schnell um sich greifenden, tödlich verlaufenden Krankheiten nicht verschont. *Homer* berichtet im ersten Gesang seines Werkes »Ilias« vom Trojanischen Krieg (Abbildung 7), der kurz nach 1200 v. Chr. in Kleinasien stattfand und bei dem vor Troja im Kriegslager der *Achaier*, den Altdorern der Peloponnes, eine todbringende

Seuche ausbrach – ob es tatsächlich die Pest war, ist nicht gesichert. Auch eine Stelle in Homers »Odyssee« überliefert, dass Seuchen den Völkern der Antike Tod und Verderben brachten. Ausserdem erzählt der Geschichtsschreiber *Thukydides* von einer Epidemie, der sogenannten *attischen Pest*, die 429 v. Chr. das dicht bevölkerte Athen heimsuchte, und zwar zu einer Zeit, da unter der Führung von Perikles dort die Dorisierung bereits weit fortgeschritten war und sich der Niedergang der bis heute bewunderten ionischen Kultur abzeichnete.

Die Verbreitung von ansteckenden Infektionskrankheiten wird insbesondere durch *mangelnde Hygiene* begünstigt. Typische Zustände, wie sie früher vor allem in Kriegsgebieten, aber auch in grösseren Städten vorherrschten – unter anderem in Europa – zum Leid vieler Menschen.

## Pest und Cholera – gefürchtete Plagen vom Mittelalter bis in die Neuzeit

Unser Kontinent wurde während des Spätmittelalters, in den Jahren 1348 bis 1350, von einer grossen *Pestepidemie* heimgesucht, die sich noch Generationen danach tief ins Gedächtnis der Menschen einprägte. Der schwarze Tod, wie die Pestepidemie später genannt wurde, brachte unsägliche Qualen (Abbildung 9) und ein grosses Sterben mit sich. Zu jener Zeit wusste man noch nichts über die Ursache der Krankheit und war ihr deshalb praktisch schutzlos ausgeliefert, und so fielen Bewohner ganzer Landstriche der Epidemie zum Opfer. Mehrere Male, bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts, trat diese hochansteckende bakterielle Infektionskrankheit mit dem Erreger *Yersinia pestis* vor allem in den grossen Städten Europas auf. Mangelnde Hygiene und fehlende sanitäre Anlagen, das heisst offene Abwassergräben in Gassen und Wegen, führten zu ungeheuren Rattenplagen, wobei die auf den Ratten schmarotzenden Flöhe den tödlichen Erreger auf Menschen übertrugen.

Es drängt sich die Frage auf, warum man nicht schon früher

gegen derartige Missstände vorgeht. Massgeblich verhinderte dies im Mittelalter die Obrigkeit, welche selbst darüber bestimmte, was die Pestepidemie verursachte: Es sei »der Zorn Gottes, der über die sündige Menschheit einfalle«. Diese auf klerikalem Dogmatismus basierende Behauptung, über Jahrhunderte in die Gemüter der Menschen eingepflanzt, richtete in vielerlei Hinsicht grossen Schaden an: So wurde jenen Menschen auf diese Weise ein völlig falsches Bild der Sachlage vermittelt, was dazu führte, dass sich effektive Massnahmen zur Gesunderhaltung der Bevölkerung gar nicht durchsetzen konnten.

Nach der Pest erreichte eine weitere grosse Epidemie aus Asien Europa: die Cholera (Abbildung 8). Diese Infektionskrankheit wütete um 1831/32 in vielen Städten, darunter auch Paris, Wien, Berlin, Hamburg und London. Hervorgehoben wird die Cholera durch das Bakterium *Vibrio cholerae*, welches sich vor allem durch verschmutztes Trinkwasser verbreitet. So suchten bis zum Ersten Weltkrieg insgesamt fünf grosse Choleraepidemien Europa heim. Cholera war im 19. Jahrhundert nicht die einzige bedrohliche Infektionskrankheit – bekannt waren damals auch *Fleckfieber*, *Typhus* oder *Tuberkulose*. Angesichts der schwerwiegenden Folgen bahnte sich langsam ein Umdenken an: So kam es im Laufe der Zeit in den meisten Grossstädten Europas zu einer wesentlichen Verbesserung der hygienischen Verhältnisse. Es wurden Massnahmen für eine zeitgemässe Trinkwasserversorgung getroffen und Kanalisationen erstellt (Abbildung 10). Der Nachweis des eigentlichen Choleraerregers gelang dann 1883 dem Bakteriologen *Robert Koch* (1843–1910).

Die Betrachtung von Infektionskrankheiten aus historischer Sicht ist sehr bedeutsam, denn auf diese Weise wird unmissverständlich klar, welche verheerende Auswirkungen Infektionskrankheiten haben können, wenn keine oder nur ungenügende Schutzmassnahmen zur Verfügung stehen. Noch heute ein hochaktuelles

Thema, denn die Rückkehr von in der westlichen Zivilisation schon besiegt geglaubten bakteriellen und parasitären Infektionskrankheiten wie *Tuberkulose* oder *Malaria* ist eine beunruhigende Tatsache – ja in Entwicklungsländern können sie ohne tatkräftige Mithilfe der Industrienationen kaum unter Kontrolle gebracht werden. Darüber hinaus zeichnen sich vermehrt *Resistenzen* gegen Antibiotika ab, was dazu führt, dass sich bakterielle Infektionen nicht mehr in jedem Fall erfolgreich bekämpfen lassen. Wenn von den Millionen Bakterien im Körper eines Kranken nur ein einziges 'zufällig' eine Mutation trägt, die es gegen das verwendete Antibiotikum widerstandsfähig macht, kann es sich – weil die anderen abgetötet werden – umso besser vermehren. Daher können, selbst wenn das Immunsystem des Kranken letztlich obsiegt, resistente Keime in die Umgebung gelangen und sich weiter ausbreiten, was eine nicht zu unterschätzende Gefahr bedeutet. Gegen Ende des Zweiten Weltkrieges stand erstmals ein Antibiotikum zur Bekämpfung von bakteriellen Infektionen zur Verfügung und wurde breit eingesetzt.

So machte es lange Zeit den Anschein, als seien, abgesehen von Parasiten, nur die durch Antibiotika grundsätzlich nicht angreifbaren Viren die letzten gefährlichen Krankheitserreger des 20. Jahrhunderts. Leider bewahrheitete sich dies nicht. Heute steht daher der verantwortungsvolle Umgang mit Antibiotika ganz im Vordergrund, denn jeder überflüssige oder nicht zu Ende geführte Einsatz dieses Medikaments vergrössert die Wahrscheinlichkeit von Antibiotikaresistenzen.

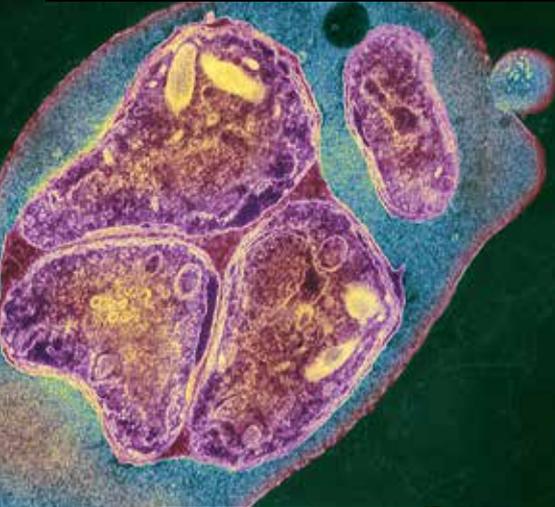
### Schwerwiegende Krankheiten durch Parasitenbefall

Im Gegensatz zu den Bakterien, die über keinen echten Zellkern verfügen und im wissenschaftlichen Sinne nicht der Pflanzen- oder Tierwelt zugeordnet werden, zählt die nächste Entwicklungsstufe der Lebewelt generell zur

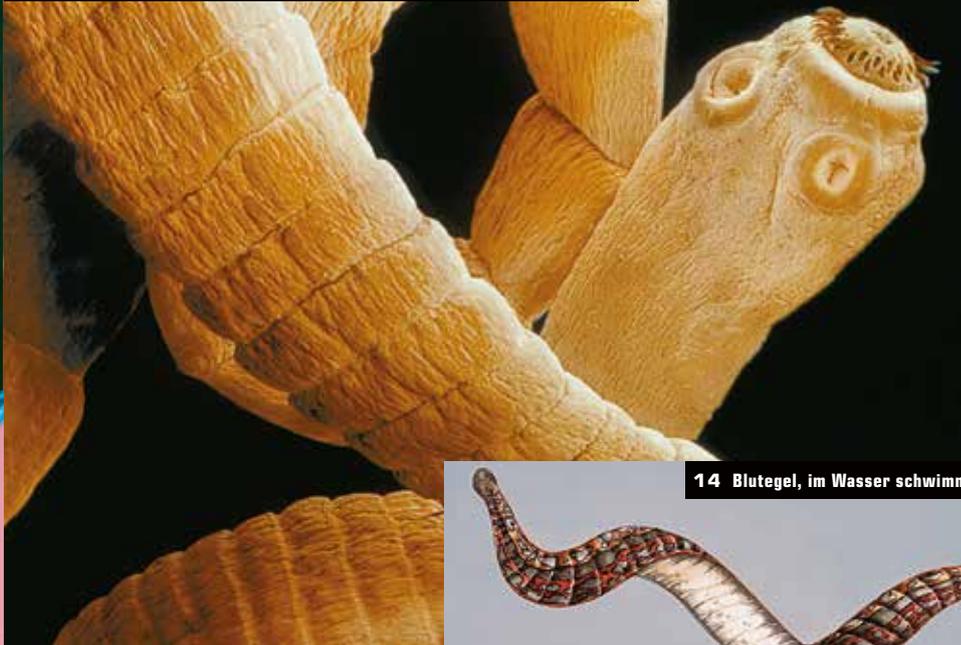
Vorstufe der niederen Tierwelt. Die Wissenschaft spricht in diesem Zusammenhang von sogenannten Vortieren beziehungsweise Urtieren (Protozoen), die vielfältige Lebensfunktionen in sich vereinigen. Es handelt sich hierbei um Lebewesen, die nur aus einer Zelle mit echtem Zellkern beziehungsweise echten Zellkernen (Eukaryoten) aufgebaut sind. Wenn ein Organismus auf Kosten und zum Schaden eines andern lebt, ohne diesen direkt zu töten, wird allgemein von *Parasitismus* gesprochen. Viele dieser Einzeller leben parasitisch (Abbildung 11). Zu den Parasiten zählen weiter auch Vielzeller (Metazoen); darunter fallen eine Unzahl von Würmern wie *Saug-*, *Band-* (Abbildung 12), *Spul-*, *Haken-* (Abbildung 13), *Zungen-* und *Gürtelwürmer* (*Blutegel*, Abbildung 14). Parasitisch verhalten sich zudem gewisse *Spinnentiere* wie *Zecken* (Abbildung 17) und *Milben* (Abbildung 16), aber auch *Insekten* wie *Läuse* (Abbildung 15), *Wanzen*, bestimmte *Fliegen* (Abbildung 19) oder *Mücken* und *Flöhe* (Abbildung 18). Einige von ihnen sind nur lästig, andere verursachen durch ihr parasitäres Verhalten beim Opfer schwerwiegende Erkrankungen.

Parasiten befallen insbesondere auch die höher organisierte Lebewelt. Das infizierte Opfer wird hierbei häufig als »Wirt« bezeichnet. Grundsätzlich wird heute zwischen den *Ektoparasiten* und den *Endoparasiten* unterschieden. Erstere findet man bei Mensch und Tier meistens als Blutsauger aussen am Wirt, wobei einige nur temporär parasitieren wie die *Stechmücken* und *Zecken*, die nach der Nahrungsaufnahme den Wirt verlassen; andere – zu ihnen gehören beispielsweise *Läuse* und *Fischasseln* – verbleiben während der ganzen parasitären Phase auf ihren Wirten. Endoparasiten, darunter fallen eine Vielzahl von *Wurmarten*, kommen in verschiedenen Körperhöhlungen, dem Darmtrakt oder den Exkretionsorganen vor. Sie nutzen Blut und andere Körperflüssigkeiten oder auch den Nahrungsbrei des Verdauungstraktes als Fressquelle. Endoparasiten können im befallenen Wirt beträchtliche Grössenordnungen erreichen;

11 Einzelliger Parasit Plasmodium (Verursacher von Malaria) im Vermehrungsstadium in rotem Blutkörperchen



12 Bandwurm mit 'Kopf' aus Hakenkranz und Saugnäpfen (rechts)



13 Geschlechtsorgan eines männlichen Hakenwurms



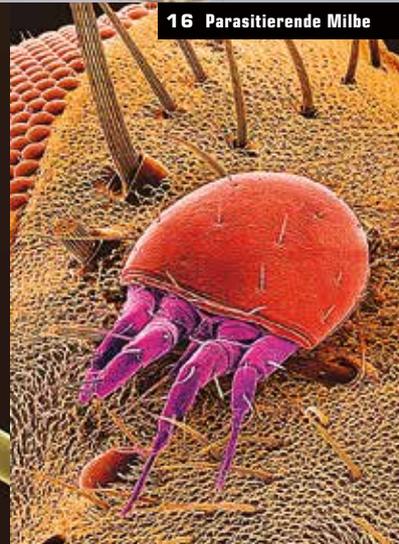
14 Blutegel, im Wasser schwimmend



15 Kopflaus auf einem menschlichen Haar



16 Parasitierende Milbe



17 Zecke in menschlicher Haut

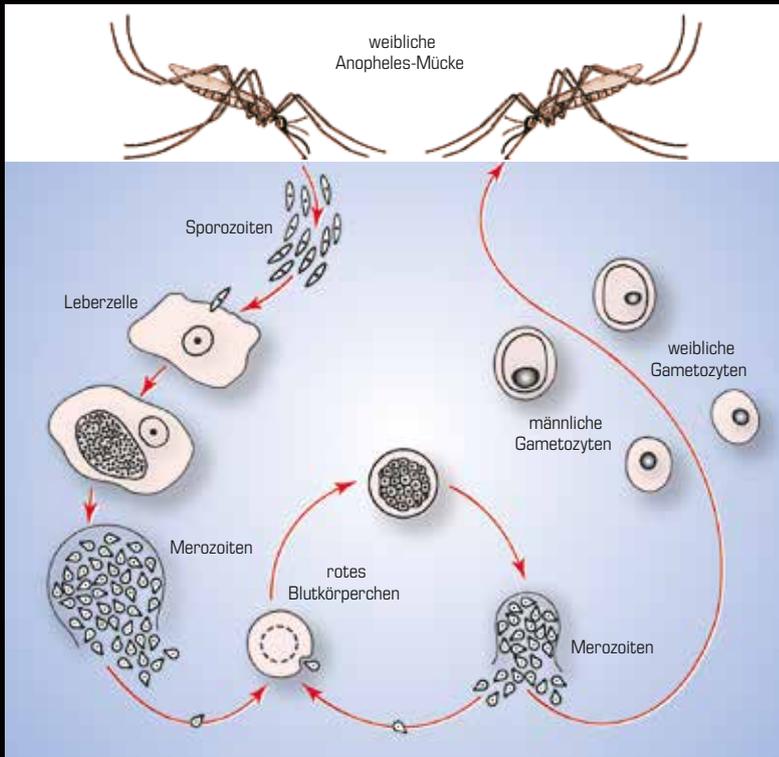


19 Tsetsefliege, Überträgerin des Erregers der Schlafkrankheit

18 Katzenfloh, der Bandwürmer übertragen kann



### Wirkweise des Malariaerregers beim Menschen



Eine infizierte Anopheles-Mücke überträgt den Malariaerregers Plasmodium (Sporoziten) auf den Wirt (links oben). Diese dringen über die Blutbahn in Leberzellen ein. Dort werden, vereinfacht formuliert, durch Vermehrung viele kleine neue Vorläufer neuer Sporoziten produziert, die dann rote Blutkörperchen befallen und sich dort wieder vermehren. Die dadurch zerstörten Blutkörperchen rufen beim Wirt Fieberschübe hervor. Nachdem sie sie verlassen haben (unten), wird der Malariaerregers (Gametozyten) schliesslich durch das Stechen und Blutsaugen einer anderen Anopheles-Mücke auf diese übertragen (rechts oben).

so wird der *Fischbandwurm* bis zu 20 Meter lang.

Vor allem Ektoparasiten vermehren sich stark in unseren Breitengraden nach milden Wintern beziehungsweise in feuchtwarmen Sommern. Sehr hohe Populationsdichten an Parasiten werden auch durch die von Menschen geschaffenen extremen Bedingungen, wie etwa in der *Massentierhaltung* – in Schweinemast, Hühner-Legebatterien oder Lachsfarmen –, hervorgerufen. Mangelnde Hygiene spielt auch hier einmal mehr eine entscheidende Rolle. Vor allem wegen dieses Missstands konnten sich, wie eingangs erwähnt, die grossen Seuchen in der Vergangenheit ungehindert verbreiten. Vielfach war es das mit Fäkalien und Wurmeiern verseuchte Trinkwasser, welches auch parasitäre Krankheiten verursacht; zudem begünstigt feuchtwarmes Klima die Verbreitung von Parasiten. Ganz besonders leiden Menschen in den Tropen unter verschiedenen parasitären Erkrankungen. Fest steht, dass vor allem in den Entwicklungsländern ungefähr eine Milliarde Menschen allein von *Spulwürmern* befallen sind, die bis etwa 30 Zentimeter lang werden können. Diese parasitäre Krankheit greift die inneren Organe an und kann bei Mensch und Tier zum Tode führen.

Daneben gibt es eine Reihe weiterer Parasiten, gegen welche die stetig zunehmende Bevölkerung in Entwicklungsländern zu kämpfen hat – so zum Beispiel gegen den einzelligen Parasiten *Plasmodium*. Bei ihm handelt es sich um den Erreger der *Malaria*, mit welchem schätzungsweise 300 bis 500 Millionen Menschen infiziert sind. Der Malariaerregers, der einen relativ komplizierten Lebenszyklus aufweist (vgl. *Illustration nebenan*), wird durch blutsaugende, weibliche Stechmücken der Gattung *Anopheles* übertragen. Malaria ist eine Tropenkrankheit, welche vor allem in Afrika weit verbreitet ist und medikamentös behandelt werden kann – allerdings tritt auch bei dieser Infektionskrankheit vermehrt Medikamentenresistenz auf. Ein industriell hergestellter

## BEISPIELE NEUARTIGER ODER ZUNEHMENDER VIRUSERKRANKUNGEN BEIM MENSCHEN

Virus	Erbmaterial	Verbreitung	natürlicher Wirt	Erkrankung
Influenzaviren (Grippeviren)	RNA, 7–8 Segmente	weltweit	Schweine, Geflügel	Grippe
Hantaan-, Seoul-, Puumulavirus	RNA, 3 Segmente	Asien, Europa, USA	Nager	Fieber, zu Blutungen führend
Rift-Valley-Fiebertvirus	RNA, 3 Segmente	Afrika	Moskito, Paarhufer	Fieber, zu Blutungen führend
Arenaviren	RNA, 2 Segmente	Südamerika, Afrika	Nager	Fieber, zu Blutungen führend
Denguevirus	RNA	Tropen	Moskito, Affe	Fieber, zu Blutungen führend
Gelbfiebertvirus	RNA	Südamerika, Afrika	Moskito, Affe	Fieber, zu Blutungen führend
Filoviren	RNA	Afrika	unbekannt	Fieber, zu Blutungen führend
HIV	RNA	weltweit	{SIV: Altweltaffen}	AIDS
Affenpockenvirus	DNA	Zentralafrika	Nager	pockenartig [abgeschwächt]
SARS-Virus (Coronavirus)	RNA	potentiell weltweit	Geflügel, Schweine?	SARS

Impfstoff steht derzeit noch nicht zur Verfügung.

### Der hochkomplexe Mechanismus einer Virusinfektion

Die *niedere* Tierwelt spielt, wie wir bislang feststellten, beim Thema Infektionskrankheiten in mehrfacher Hinsicht eine ganz entscheidende Rolle: Sie kann als der eigentliche Erreger auftreten – man denke an den Malariaparasiten – oder als Überträger der Krankheit fungieren und beispielsweise, wie dies bei Zecken der Fall ist, bakterielle oder schwerwiegende virale Infektionskrankheiten beim Wirt auslösen (*Borreliose*, *Frühsummer-Meningoenzephalitis* [FSME]).

Nun möchten wir die Virusinfektion etwas genauer betrachten. Auch Viren zeigen nämlich parasitäres Verhalten, und zwar auf zellulärer Ebene. Sie werden jedoch nicht zu den Lebewesen gezählt – sie weisen keinen eigenen Stoffwechsel auf; sie sind aber ein geeignetes Werkzeug, um in Zellprozesse von Lebewesen einzugreifen, deren optimalen Ablauf zu stören oder Zellen sogar zu schädigen beziehungsweise zum Absterben zu bringen. Jedes Virus ist Träger von genetischen Informationen und vom Aufbau her in der Lage, sich den Bedingungen des Wirts anzupassen. Damit solches überhaupt möglich wird, muss das Virus funktionell möglichst 'optimal' auf den Wirt abgestimmt sein. Einige Viren sind sogar in der Lage, das Immunsystem des Wirts wirkungsvoll zu unterlaufen oder zu zerstören. Dank

dem Wissensgebiet der molekularen Virologie können heute diese Wirkmechanismen immer genauer aufgezeigt werden. Daraus resultieren bedeutsame Erkenntnisse, um neuartigen beziehungsweise zunehmenden Viruserkrankungen entgegenwirken zu können (*vgl. Tabelle oben*). Vielversprechend sind in diesem Zusammenhang auch Forschungen auf Basis der sogenannten *Gentherapie*.

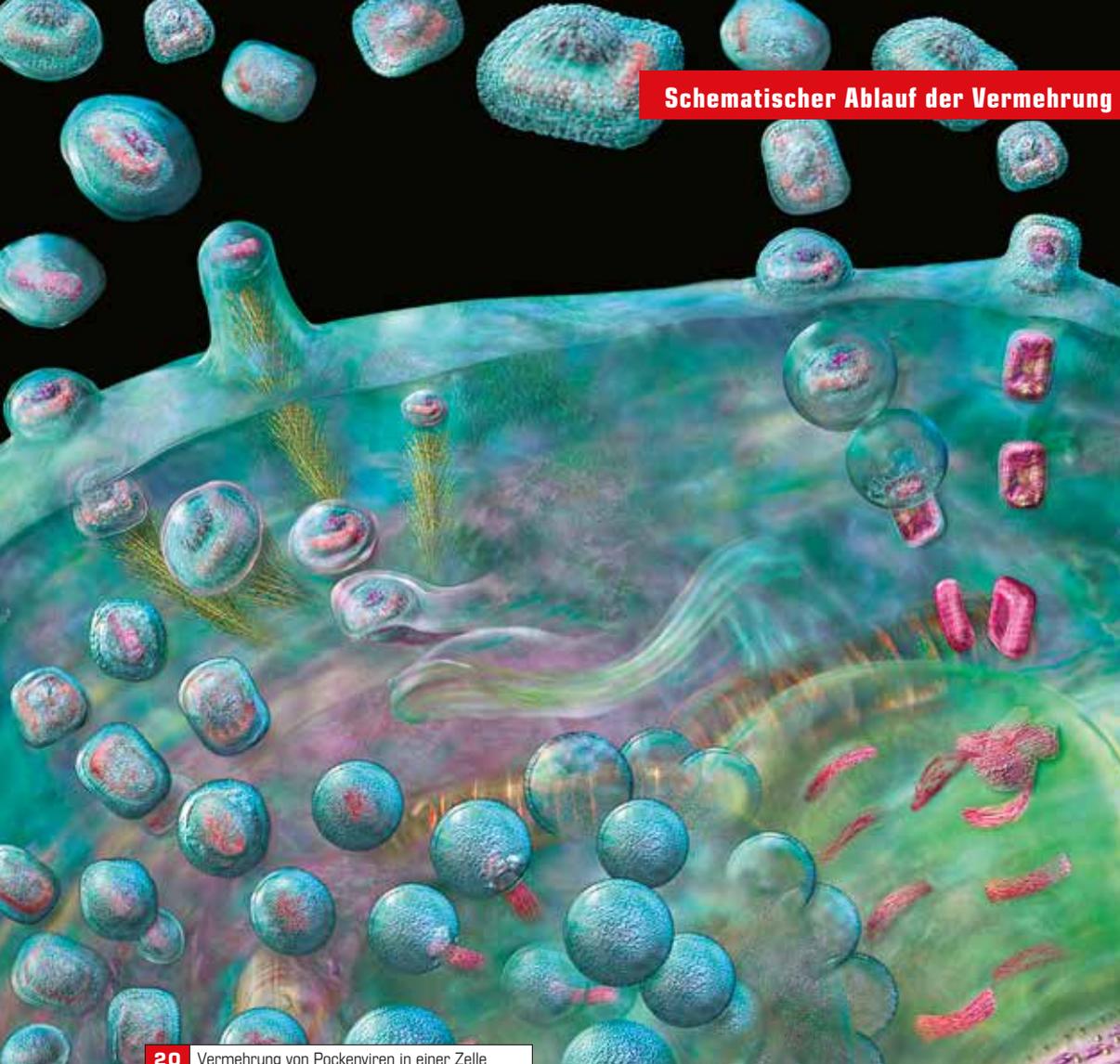
### Die Entdeckung viraler Infektionskrankheiten

Virenepidemien sind keine neue Erscheinung: Bereits vor 3000 Jahren sollen im alten China, in Indien und Ägypten verheerende Pockenepidemien aufgetreten sein. Wie bereits angesprochen, hatte auch Pharao Ramses V. (12. Jh. v. Chr.) eine Pockeninfektion, welche durch ein Virus hervorgerufen wird. Lange Zeit hielt man 'Gifte' für die Ursache infektiöser Krankheiten – der Begriff Virus stammt aus dem Lateinischen und bedeutet »Gift« oder »Schleim«. Es dauerte lange, bis die Viren entdeckt wurden. Weil sie noch *kleiner* sind als Bakterien, konnten sie ihrer geringen Grösse wegen nicht durch bakterien-dichte Filter zurückgehalten werden. Zwar vermochte man bereits 1898 mit der Entdeckung des Erregers der *Maul- und Klauenseuche* ein tierpathogenes Virus nachzuweisen, aber erst im Jahre 1940 gelang es mit Hilfe des Elektronenmikroskops, Viren sichtbar zu machen.

Impfstoffe können Schutz vor einigen viralen Infektionen wie den Pocken gewährleisten. Diese

Erkenntnis war schon bekannt, bevor das eigentliche Virus als Erreger identifiziert wurde. Man hatte nämlich beobachtet, dass Personen, die die berüchtigte Pockenkrankheit überstanden hatten, bei weiteren Epidemien gleicher Art verschont blieben, also immun waren. Dieser Schutzzustand liess sich auch künstlich herbeiführen: Übertrug man den getrockneten Schorf von Pocken auf noch nicht erkrankte Personen, so waren diese zumindest teilweise vor Pocken geschützt. Als man im 18. Jahrhundert in England wie in Deutschland feststellte, dass auch eine überwundene *Melkernknotenkrankheit*, welche durch einen mit dem Pockenvirus verwandten Erreger ausgelöst wird, Schutz vor den echten Pocken bietet, konnte erstmals eine Art Impfstoff erzeugt werden. In der Folge wurden Impfgesetze erlassen, und so vermochte man allmählich die gefürchtete Seuche in Europa einzudämmen. Auf ähnlicher Basis gelang im Jahre 1885 dem Chemiker und Mikrobiologen *Louis Pasteur* in Paris die Entwicklung eines Impfstoffs gegen Tollwut. Dies ist weniger bekannt, weil Pasteur in erster Linie mit einer anderen Entdeckung in Zusammenhang gebracht wird: nämlich, dass Mikroorganismen mittels *Enzymen* eine Gärung bewirken können und dass entsprechendes Erhitzen zum Abtöten vieler Mikroorganismen führt (Pasteurisierung).

Viren sind die Ursache zahlreicher zum Teil epidemischer Infektionskrankheiten. Hierzu zählt beispielsweise die zwischen 1918 und 1920 wütende Virusepidemie, die *spanische*



20 Vermehrung von Pockenviren in einer Zelle



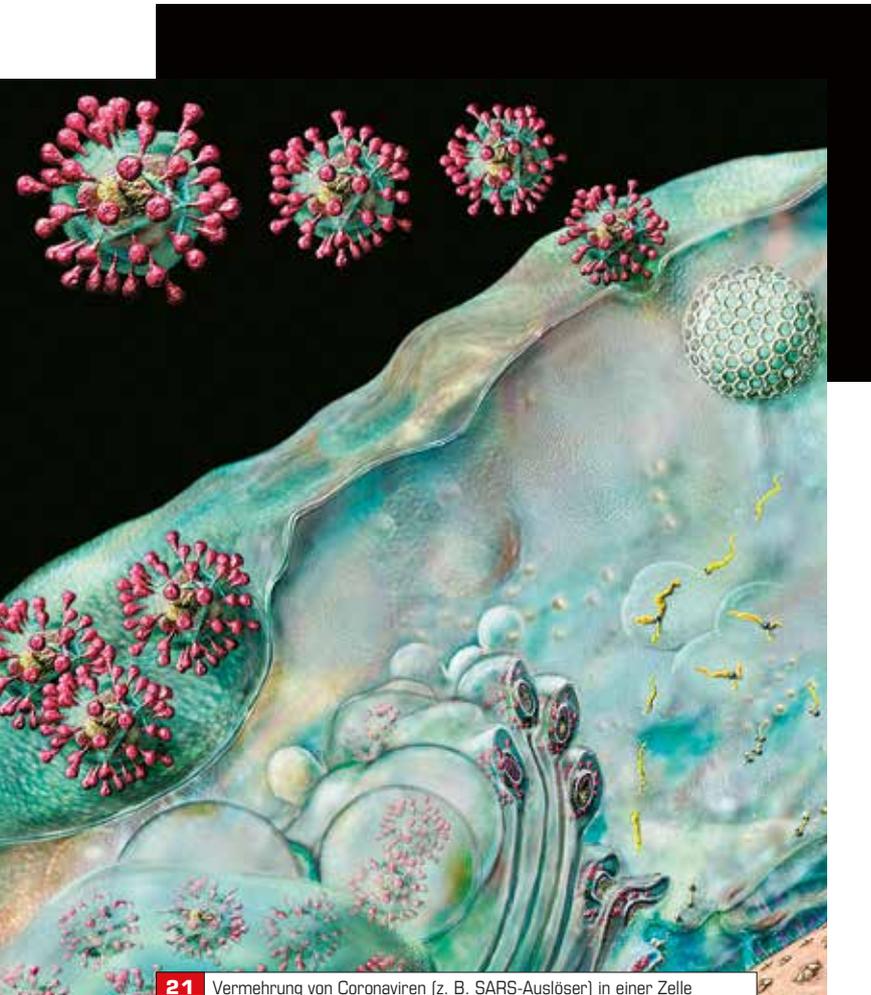
Grippe, welche weltweit ungefähr 20 Millionen Todesopfer forderte – mehr als der Erste Weltkrieg. Jedoch gelang es bis Ende der zwanziger Jahre nicht, diese Viren schlüssig zu bestimmen, da noch keine Möglichkeit des Nachweises bestand. Erst später fand man heraus, dass sich für die Vermehrung mancher Viren in diesen Hühnereiern konnte dann ihr Vermögen, rote Blutkörperchen zusammenzuballen, nachgewiesen werden, und so wurde 1941 der Grundstein für die Entwicklung von Tests zum Virennachweis gelegt. Den Durchbruch bei der Aufklärung krankheitserregender Wirkmechanismen bei Grippeviren brachten jedoch erst in den fünfziger Jahren molekularbiologische Verfahren, die es erlaubten, das genetische Material dieser Erreger, welche in Form von sogenannten einzelsträngigen RNA-Segmenten vorliegen, zu untersuchen. Zudem ermöglichte

die Methode der *Zellkultur* unter kontrollierten Bedingungen die Züchtung einer grösseren Anzahl von Virenarten. Basierend auf diesem Prinzip, liessen sich Impfstoffe gegen *Kinderlähmung*, *Masern*, *Mumps* und *Röteln* herstellen. Mit Verbesserung der Virentests konnten 1971 *Herpesviren* indirekt nachgewiesen werden. Bis anhin hatte man allgemein angenommen, dass im Verlauf einer Virusinfektion der Erreger durch die entstehenden Antikörper gänzlich aus dem Organismus eliminiert würde. Das Auftreten von Herpesbläschen als Krankheitssymptom bei Personen mit Antikörpern brachte diese Vorstellung indes zu Fall. Denn dieses Virus vermag das Immunsystem erfolgreich zu schwächen beziehungsweise zu unterlaufen, wie dies auch beim humanen Immundefizienzvirus (HIV) eines an AIDS Erkrankten der Fall ist.

**Wie läuft eine virale Infektion ab?**

Viele Viren gelangen durch Tröpfcheninfektion oder auf anderem Weg auf Schleimhäute wie diejenigen von Mund, Nase, Rachen, oder sie erreichen durch kontaminierte Lebensmittel oder Futter den Magen oder Darm und nehmen mit den Zellen dieser Schleimhautregionen Kontakt auf. In anderen Fällen gelangen die Erreger durch Stiche oder Bisse infizierter Gliederfüsser (wie Stechmücken oder Zecken) in die Blutbahn und können so Gefässzellen oder direkt bestimmte Blutzellen infizieren. Schauen wir uns nun den generellen Wirkmechanismus von Viren etwas genauer an (*vgl.*

Schematische Darstellung der Zellinfektion durch Viren und ihre Vermehrung: Pocken- (vgl. Abbildung 20) sowie Coronaviren (unter anderem verantwortlich für SARS; vgl. Abbildung 21) 'docken' an Zellwänden an. Die Viruspartikel durchdringen sie und schleusen ihr genetisches Material in die Zelle ein (jeweils rechte Bildseite). Es werden im folgenden neue Virenbestandteile unter Schädigung der Wirtszelle hergestellt und zu Viren formiert. Diese verlassen sie dann (jeweils linke Bildseite) und befallen in der Folge weitere Zellen.



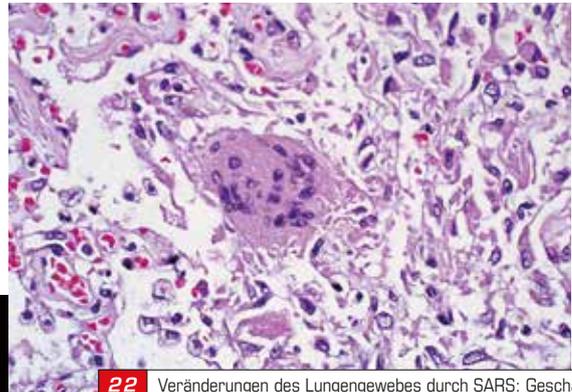
**21** Vermehrung von Coronaviren (z. B. SARS-Auslöser) in einer Zelle

Abbildungen 20 und 21). Wie bereits erwähnt, besitzen Viren keinen eigenen Stoffwechsel. Sie infizieren zur Vermehrung Zellen. Die Viruspartikel müssen in der Lage sein, bestimmte Eigenschaften der Wirtszelle zu erkennen, damit sie sich an diese anheften können. Bei Viren, die von einer Membran umgeben sind – dies ist bei Grippe- und Herpesviren der Fall –, erfolgt die Erkennung beziehungsweise Wechselwirkung mittels spezieller Proteine. Sind die Viren nicht von einer Membran umhüllt, wie etwa bei Polioviren (Kinderlähmung), besitzt die Oberfläche des spezifischen Proteins selbst die Eigenschaft, eine Bindung zur Zelle sicherzustellen.

Nach gelungenem 'Andocken' des Virus an die zu infizierende Zelle wird in der Regel das an die Zelloberfläche gebundene Viruspartikel ins Innere der Zelle aufgenommen. Die Viruspartikel müssen relativ schnell dorthin gelangen, da Zellen zum eigenen Schutz Enzyme aussondern, die das Virus zerstören sollen. Viren verfügen aber über relativ komplexe Mechanismen, die es gestatten, genau diesen Schutz zu umgehen.

### Die eigentliche Zellschädigung

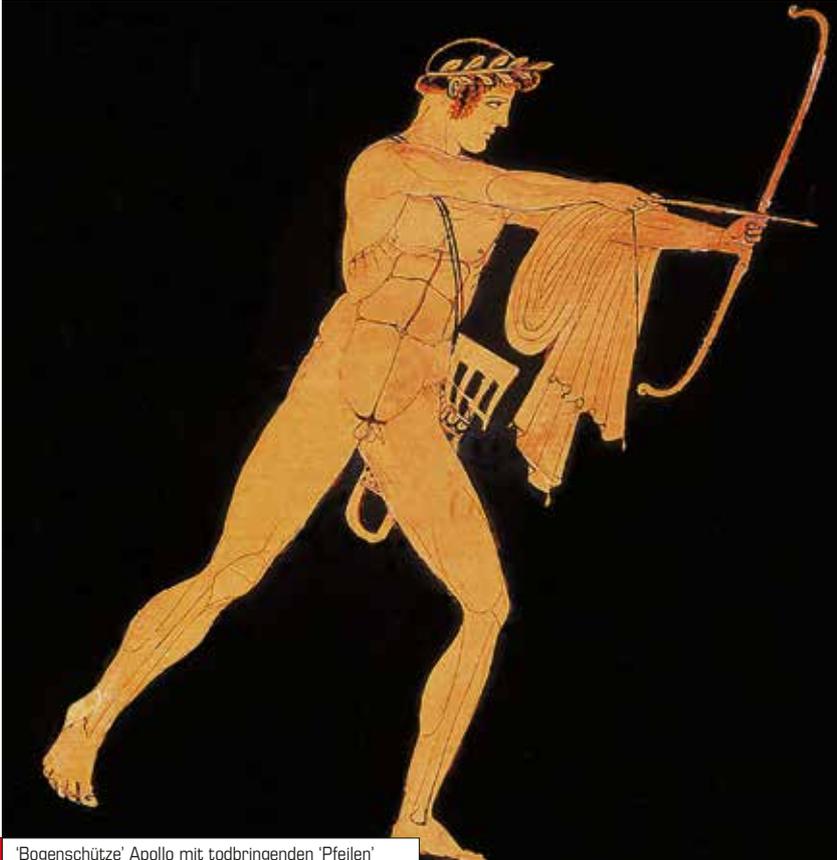
Ist das Virus ins Innere der Zelle gelangt, setzt es sein genetisches Material, das nur aus einer Art Nukleinsäure besteht, in der Wirtszelle frei.



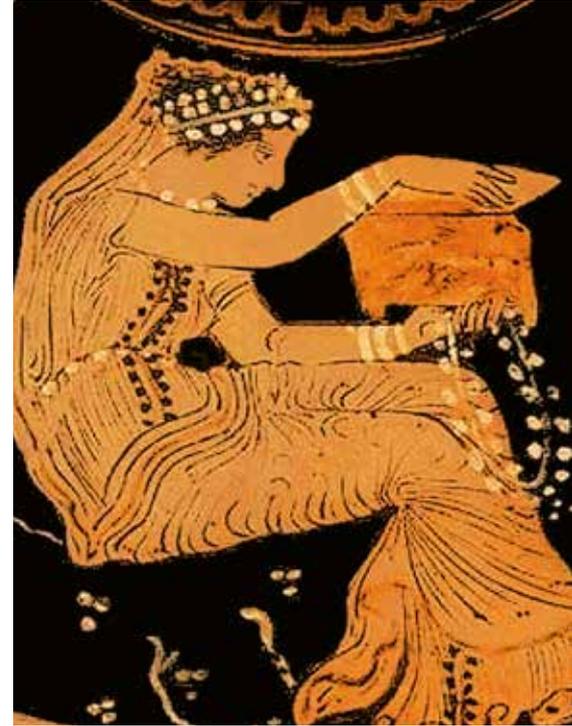
**22** Veränderungen des Lungengewebes durch SARS: Geschädigte Lungenbläschen (Hohlräume im Bild) und krankhafte, mehrkernige Riesenzelle (Mitte) sind erkennbar.

Wie diese Freisetzung genau geschieht, ist ein noch weitgehend ungeklärter Prozess der eigentlichen Zellinfektion. Kann das genetische Material des Virus freigesetzt werden, dirigiert es den Stoffwechsel der Zelle so um, dass, vereinfacht formuliert, vielfache Kopien des Virus produziert werden. Dies verläuft in komplexer Weise und je nach Virustyp unterschiedlich. Einige Virusarten integrieren ihre genetische Substanz in Teilen oder als Ganzes in die DNS der Wirtszelle und können Gene fragmentieren oder sogar zerstören. Auch eine Transformation zur Tumorzelle ist möglich. Viren können somit die Ursache für eine Krebserkrankung sein. Möglich ist auch, dass das Immunsystem vom Virus in seiner Funktion unterwandert wird beziehungsweise dieses paradoxerweise sogar noch entscheidend zur Entstehung der Krankheitssymptome beiträgt. Bei einer Virusinfektion findet man meist Zellbeziehungsweise Gewebeschädigungen (vgl. Abbildung 22), die auf einer Kombination der vorgenannten Mechanismen beruhen.

Glücklicherweise verlaufen zahlreiche Virusinfektionen relativ harmlos. In einigen Fällen, beispielsweise beim Befall einer Hautpartie, bleiben die Virusvermehrung und damit die Symptome auf den Eintrittsort beschränkt. Andere Viren, die zuerst die Schleimhaut von Mund und Rachen infizieren, können sich nach den ersten Vermehrungszyklen an der Kontaktstelle kontinuierlich über den gesamten Schleimhautbereich der Atemwege ausbreiten und lokale Entzündungsreaktionen



23 'Bogenschütze' Apollo mit todbringenden 'Pfeilen'



hervorrufen, die sich beispielsweise im Schleimhautbereich des Rachens als Erkältungssymptome äussern. Generell sind Stiche, Bisse, aber auch kleinere Hautverletzungen ideale Eintrittsstellen für Viren.

Fassen wir zusammen: Der Wirkmechanismus eines Virus ist hochkomplex und kann, wenn das Immunsystem nicht obsiegt, lebensbedrohlich sein. Konnte ein Virus erfolgreich eine gefährliche Krankheit auslösen, wird in der Regel dem befallenen Organismus beträchtlicher Schaden zugefügt. Es kristallisiert sich diesbezüglich eine gewisse Analogie zu *Computerviren* heraus. Auch diese können – wenn gleich nur an nichtbelebter Materie – grossen Schaden anrichten. Damit dies grundsätzlich möglich wird, muss der Konstrukteur eines Virus genaue Kenntnisse über die Systemumgebung besitzen und die Schwächen des Systems sehr genau kennen, um damit eine entsprechende Infizierungsstrategie entwerfen zu können. Kein einfaches Unterfangen, sondern vielmehr ein extrem

perfides! Aus Distanz betrachtet, lassen sich zwischen dem biologischen und dem 'digitalen' Virus eindeutig *Strategieparallelen* erkennen.

### Warum ist das irdische Leben so anfällig für Krankheiten?

Aus Sicht der Informatik kann ein Computervirus insbesondere dann grossen Schaden verursachen, wenn das System die nötige Angriffsfläche bietet. Beim biologischen Virus ist der Sachverhalt ähnlich: Es müssen Rahmenbedingungen erfüllt sein, damit das Virus zerstörerisch wirken kann. Es muss vom natürlichen Wirt, bei dem das Virus bei ausgeprägter Anpassung keinen direkten Schaden anrichten kann, auf eine *andere* Spezies übertragen werden. Man vermutet, dass genau dieser Mechanismus die häufigste Ursache für das Auftreten neuer Infektionskrankheiten ist. Mit Hilfe von genetischen und molekularbiologischen Methoden ist es heute möglich, Krankheitserreger genau zu identifizieren und die Infizierungsmechanismen

zu ergründen. Unklar sind aber die eigentlichen Hintergründe, die das Auftreten immer neuer Erreger erst ermöglichen.

Wer Interesse gegenüber den Quellen der hohen Philosophie und des Urchristentums bekundet, sie nicht einfach als Legende abtut, erhält diesbezüglich äusserst aufschlussreiche Hinweise. Gleichzeitig ist aber eine gewisse Toleranz vonnöten, denn es handelt sich um Informationen, die in der heutigen Zeit alles andere als geläufig sind; sie ergänzen jedoch die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse aufs eindrucklichste. In Platons *Timaios* wird der Frage nach der Ursache von Krankheiten aus ganzheitlicher Sicht nachgegangen. So findet sich einleitend im Zusammenhang mit der Erschaffung der Erde folgender Hinweis:

*Sie soll möglichst vollkommen sein, dies in allen wesentlichen Teilen, und zudem etwas Einzigartiges, das in dieser Form nicht mit anderem verglichen werden kann. Ferner soll die Erde unberührt von Alter und Krankheiten sein und auch nicht dem vorzeitigen Untergang preisgegeben werden.*  
32 d bis 33 a



Mit dem Auftreten der irdischen Lebewelt änderte sich gemäss Timaios eine elementare Rahmenbedingung, die zusammenfassend wie folgt erklärt werden kann:

*Die Bildung des sterblichen Geschlechts geschah nicht mehr in der nämlichen Reinheit.*  
41 c-d

Laut Timaios wurde die Erde ganz bewusst vollkommener geschaffen als das auf ihr beheimatete Leben. Es gebe zudem verschiedene Grade der Unvollkommenheit, und von einem gewissen Grad an können sogar Krankheiten entstehen. Eine Erklärung mit weitreichenden Konsequenzen. In Hesiods »Werke und Tage« wird das hintergründige Übel angesprochen, welches zur Unvollkommenheit führte:

*»Zahlloses Leiden entschwirrte unter die Menschen. Voll ist nämlich von Bösem die Erde und voll auch die Meerflut, Krankheiten gehen bei Tag und Krankheiten gehen bei Nacht um unter den Menschen willkürlich und bringen den Sterblichen Unheil.«*  
100-103

Hesiod nennt im selben Werk das eigentliche Unheil beim Namen und spricht vom »Krug der Pandora« – heute besser bekannt unter der Bezeichnung »Büchse der Pandora«, welche symbolisch gefüllt ist mit Übeln, Plagen und todbringenden Krankheiten (Abbildung 24); Pandora ist ein Wesen aus dem chthonischen Bereich (Unterwelt). Weiter erklärt Hesiod:

*»Aber die Frau entfernte den grossen Deckel des Kruges, leerte ihn aus und sann dem Menschen schmerzliche Leiden.«*  
94 f.

Ganz konkrete Hintergründe überliefert die ebenfalls aus dem griechischen Kulturraum stammende Offenbarung des Johannes. Johannes lebte damals auf der Insel Patmos, welche rund 50 Kilometer von Kleinasien entfernt in der Ägäis liegt. Er kleidete sein geistiges Erlebnis in folgende Worte:

*»Da sah ich hin und erblickte ein fahles Ross. Darauf sass ein Reiter, der hiess "Tod"; und die Bewohner des Totenreiches waren in seinem Gefolge. Ihnen wurde die Macht gegeben, [...] Erdenbewohner zu töten durch das Schwert, durch Hunger, Seuche und böartige Tiere der Erde.«*  
6,8

Im 15. Gesang von Homers Odyssee wird vom Seuchen bringenden Bogenschützen Apollo gesprochen, der mit lautlosen Pfeilen, nach Belieben treffend, Tod und Verderben über Menschen und Nutztiere bringt (vgl. Abbildung 23).

### **Das Ausmass von Infektionskrankheiten steht in direktem Zusammenhang mit Lebensstil und Verhalten des Menschen**

Die Zitate enthalten umfangreiches Wissen über die wirklichen Hintergründe von Krankheiten und widerlegen klar die mittelalterliche Vorstellung vom zürnenden Gott, der angeblich der Urheber schrecklicher Infektionskrankheiten sei. Denn es ist wirklich nicht schlüssig, dass die Natur in all ihrer Pracht

und Vielfalt der gleichen Schöpferkraft entspringen soll wie die Vielzahl von Krankheiten, die Tod und Verderben über die Menschheit bringen. Gott ist doch nicht zornig, denn ein zürnender Gott schafft keine so schöne Natur. Krankheiten werden aber zugelassen, und der stetig fortschreitende Forschergeist des Menschen verhilft dazu, sich gegen dieses Übel zur Wehr zu setzen. Dank Impfstoffen, medikamentöser Behandlung sowie durch organisatorische und hygienische Massnahmen ist es denn auch erfolgreich gelungen, infektiöse Erreger zurückzudrängen. Das Auftreten immer neuer Krankheiten in den letzten Jahren und die AIDS-Epidemie zeigen indes deutlich, dass man sich nicht in falscher Selbstsicherheit wiegen darf, denn nicht jede Infektionskrankheit lässt sich auf medizinischem Wege heilen. Die Virulenz, das heisst die Infektionskraft eines Erregers, kann auch in Ergänzung durch nicht-medizinische Massnahmen nachhaltig gesenkt werden: Es sind aktive Veränderungen im Lebensstil und Verhalten des Menschen vonnöten, damit derartige Seuchen erfolgreich bekämpft beziehungsweise eingedämmt werden können. ☹

#### **Bildquellen**

S. 5 o. re.: Corbis. S. 8 und 18/19: ABZ-Bildarchiv. S. 10 o.: Zentralbibliothek Zürich. S. 10 u. und 11: AKG Berlin. S. 13 u. re.: eye of science. S. 14 u.: nach Spektrum der Wissenschaft/S. Ingold. S. 17: CDC. S. 18: RMN. S. 5 o. li. und übrige Bilder: Focus/SPL.

#### **Literatur**

Rainer Hannig, Grosses Handwörterbuch Ägyptisch-Deutsch, Mainz 1995. Materialien Ägyptologie, Die medizinischen Papyri, Universität Marburg 2002 (Internetversion). Heinz Mehlhorn und Gerhard Piekarski, Grundriss der Parasitenkunde, Heidelberg 2002. Susanne Modrow, Viren – Grundlagen, Krankheiten, Therapien, München 2001. Susanne Modrow, Dietrich Falke, Uwe Truyen, Molekulare Virologie, Heidelberg 2003. Andreas Nerlich und Albert Zink, Leben und Krankheit im alten Ägypten, in: Bayerisches Ärzteblatt 8/2001, München 2001 (Internetversion). Jacques Ruffié und Jean-Charles Sourmia, Die Seuchen in der Geschichte der Menschheit, Stuttgart 2000. Georg Schön, Bakterien – Die Welt der kleinsten Lebewesen, München 1999. Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Seuchen, Heidelberg 1997. Richard Toellner, Illustrierte Geschichte der Medizin, Bde. 1 und 4, Vaduz 1992. WHO (World Health Organization), The World Health Report 2002, Genf 2002 (Internetversion). C. Dieter Zander, Parasit-Wirt-Beziehungen – Einführung in die ökologische Parasitologie, Heidelberg 1998.