



Foto: © Studio-FI/stock.adobe.com

Zoonosen sind ökologische Systeme

Die Coronapandemie macht deutlich, welche verheerenden Auswirkungen neu auftretende Krankheitserreger haben können. 75 % davon sind Zoonosen, d. h., die Krankheitserreger kommen aus dem Tierreich. Bisher standen deren biologische Charakterisierung und die Entwicklung von Bekämpfungs- und medizinischen Präventionsverfahren (Impfungen) im Vordergrund. Seit einigen Jahren werden auch die sozialen und ökologischen Zusammenhänge untersucht, die zur Entstehung und zum zunehmenden Überspringen von zoonotischen Krankheitserregern beitragen.

Tiere begleiten die gesamte Evolution des Menschen. Zunächst als Wildtiere, die gejagt wurden, und seit etwa 10 000 Jahren als domestizierte Nutz- und Heimtiere. Tiere liefern Nahrung und Kleidung, dienen der Erholung und sind Begleiter des Menschen. Tiere sind also äußerst nützlich und in der Regel ist der Mensch der Überlegene. Von Anfang an war mit dem Kontakt zu Tieren aber auch die Gefahr verbunden, von deren Krankheitserregern infiziert zu werden. Solche Infektionen werden als **Zoonosen** (von gr. *zoon* = Tier und gr. *nosos* = Krankheit) bezeichnet.

Der Begriff geht auf den deutschen Arzt Rudolf Virchow zurück, der 1855 als Erster entdeckte, dass Tierkrankheiten auch bei Menschen vorkommen können. Heutzutage werden darunter von Tier zu Mensch und seltener von Mensch zu Tier übertragbare Infektionskrankheiten verstanden. Sie kommen zwar im Prinzip natürlicherweise vor, aber ihre Zunahme in den letzten Jahrzehnten ist vor allem durch mensch-

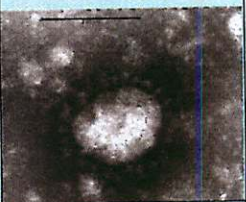
Erregertyp	Beispiele für zoonotische Erreger oder Zoonosen	Anteil an Zoonosen	relativer Anteil	Abbildung
Viren	Influenzavirus, West-Nil-Virus, Nipah-Virus, Hantaviren, Dengue-Virus, Zika-Virus, Coronaviren, HIV (AIDS), Ebolavirus, Tollwutvirus, Gelbfiebertvirus, Rift-Valley-Virus, Chikungunya-Virus	19 %	80 %	SARS-CoV-2 
Bakterien	Pest, Borreliose, EHEC, <i>Campylobacter pylorii</i> , Tuberkulose, Salmonellose, Cholera, Streptokokken, Milzbrand, Chlamydiosen, Bartonellose, Brucellose, Ehrlichiosen, Leptospirose, Listeriose, Tularämie	31 %	50 %	EHEC 
Einzeller	Malaria, Amöbose, Babesiose, Giardiose, Leishmaniose, Mikrosporidiose, Sarkosporidiose, Schlafkrankheit (Trypanosomose)	5 %	70 %	Plasmodium 
Pilze	Penicilliose, Lobomykose, Adiaspiromykose, Entomophthoromykose, Paracoccidioidomykose	13 %	40 %	<i>Penicillium spinulosum</i> 
Würmer	Bilharziose, Fasziole, Echinokokkose, Taeniose	32 %	95 %	Pärchenegel 

Tabelle 1: Erregertypen von Zoonosen mit Beispielen („Anteile“ nach Taylor u. a. 2001)

Fotos: © Bundeswehr/Claudia Kahlhofer (SARS-CoV-2); © Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung/Manfred Rohde (EHEC); Sadia Saeed/Annie Tremp/Johannes Dessens: Biogenesis of the crystalloid organelle in Plasmodium involves microtubule-dependent vesicle transport and assembly (International Journal of Parasitology 31(8), 2015, DOI:10.1016/j.ijpara.2015.03.002), <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> (Plasmodium); © Mednyc/wikiipedia.org, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> (Echinokokkose); © Science Photo Library / EYE OF SCIENCE (Pärchenegel)

liche Eingriffe in natürliche Ökosysteme verursacht (s. u.). Zurzeit sind etwa 200 Zoonosen bekannt.

Welche Erreger von Zoonosen gibt es?

Die Erreger von Zoonosen sind vielfältig: Viren, Bakterien, Einzeller, Pilze und Würmer (Tabelle 1).

Seit wann gibt es Zoonosen?

Genau datieren lässt sich das nicht, aber es wird davon ausgegangen, dass sich seit dem Übergang von den Jäger- und Sammler- zu Ackerbaugesellschaften vor etwa 10 000 Jahren die Anzahl der Krankheitserreger, die von Wildtieren und dann auch von Haustieren auf den Menschen übergesprungen sind, vervielfacht hat. Dies hängt weitgehend mit menschlichen Aktivitäten wie dem Sesshaftwerden und der landwirtschaftlichen Produktion zusammen. Es kam zu Entwaldung, Zerstückelung von natürlichen Lebensräumen und Ersatz der natürlichen Vegetation durch Nutzpflanzen. Dadurch veränderten sich die Zusammensetzung der Populationen und das Wanderungsverhalten der Wildtiere. Insgesamt ging die Biodiversität zurück und erzeugte Umweltbedingungen, die Zoonosen begünstigten (s. u.). Des Weiteren spielte auch der enge Kontakt zu Tieren, die domestiziert wurden, eine wichtige Rolle.

In der Forschung wird dieses Ereignis als erster epidemiologischer Übergang bezeichnet, durch den sich das Krankheitsspektrum hin zu Infektionskrankheiten veränderte (Kasten 1). Diese dominierten bis zum zweiten epidemiologischen Übergang, der industriellen Revolution in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Vor allem durch bessere Hygiene wurden die Infektionskrankheiten zurückgedrängt und von chronischen und degenerativen Krankheiten wie Herzinfarkt, Diabetes und Krebs abgelöst. Am Ende des 20. Jahrhunderts dreht sich das Blatt wieder. Mit dem dritten epidemiologi-

schen Übergang kehren die Infektionskrankheiten als neu auftretende und wieder auftretende Krankheiten zurück.

Zoonosen haben mit 75 % den größten Anteil an den neu auftretenden Infektionskrankheiten (*emerging infectious diseases*, EID). Sie werden i. d. R. durch bereits existierende Krankheitserreger verursacht, von denen durch Mutationen neue Varianten entstanden sind (z. B. Influenzavirus). Ebenso kann ein Erreger in einer anderen geografischen Region in eine neue Population übertragen werden (z. B. West-Nil-Virus). Manchmal kommen auch Krankheitserreger zurück, die bereits als bekämpft galten (*re-emerging infectious diseases*, z. B. Erreger der Tuberkulose oder Masern). Eine große Rolle spielen Erreger, die inzwischen gegen Medikamente (z. B. Antibiotika) resistent geworden sind.

Wie werden Erreger von Tieren auf Menschen übertragen?

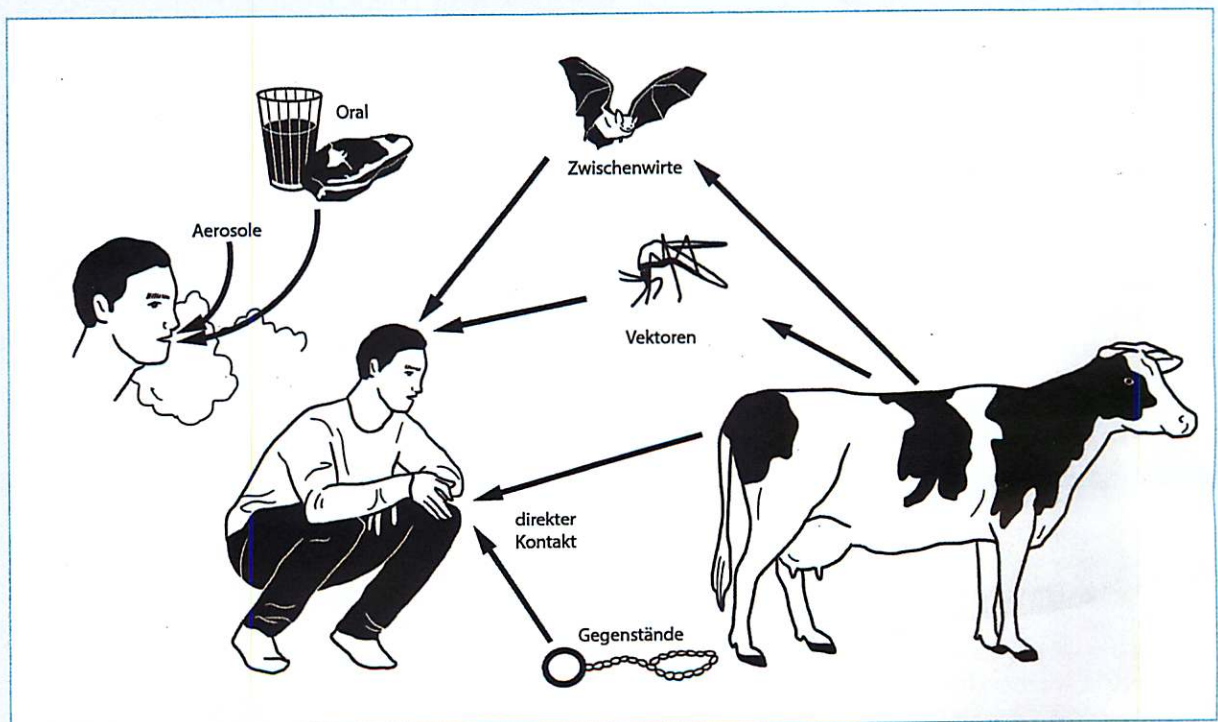
Es gibt sechs verschiedene Wege, wie zoonotische Krankheitserreger übertragen werden (Abb. 1).

Aerosole: Die Übertragung erfolgt über kleinste Tröpfchen, die von einem infizierten Tier freigesetzt, über die Luft weitergegeben und von einem Menschen eingeatmet werden. Die Überlebensrate von Erregern in diesen Aerosolen ist sehr unterschiedlich, sodass oft ein geringer Abstand zwischen dem infizierten Tier und dem Menschen, der sich ansteckt, erforderlich ist.

Oral: Die Übertragung erfolgt über Nahrungsmittel und Getränke, die mit einem Erreger infiziert sind. Das kann passieren, wenn beispielsweise Milch nicht pasteurisiert ist oder Fleisch nicht heiß genug gebraten wurde. Auch mit Fäkalien kontaminiertes Trinkwasser gehört dazu. Wer infizierte Tiere anfässt und sich anschließend nicht die Hände wäscht, kann auf diese Weise Erreger an weitere Personen übertragen.

Direkter Kontakt: Dieser Übertragungsweg setzt einen direkten körperlichen Kontakt mit einem infizierten Tier voraus. Die Übertragung des Erregers erfolgt über die Haut,

1: Übertragungswege von zoonotischen Krankheitserregern



1 | Infektionsökologie

In der klassischen Sichtweise der Humanmedizin werden bei Infektionskrankheiten die Krankheitserreger, deren Pathogenitätsfaktoren und ihre Virulenz sowie die Infizierten, deren Anfälligkeiten, ihre Resistenzen und ihre Abwehrreaktionen betrachtet. Ausgeblendet bleibt, dass die Krankheitserreger in einer komplexen Umwelt mit mitunter vielen tierischen Beteiligten leben, und dass ökologische Beziehungen und Gesetzmäßigkeiten das Infektionsgeschehen beeinflussen. Genau damit beschäftigt sich seit geraumer Zeit die **Infektionsökologie** (engl. *disease ecology*).

die Schleimhäute oder über offene Wunden. Auch durch Bisse werden Erreger übertragen (z. B. Tollwutvirus).

Gegenstände: Werden Gegenstände, die im Rahmen der Tierhaltung verwendet werden, durch Erreger kontaminiert und anschließend von Menschen angefasst, können sie auf diesem Weg übertragen werden. In der modernen Massentierhaltung kommen dafür auch Transportfahrzeuge infrage.

Vektoren: Als Vektoren werden Organismen bezeichnet, die sich bei einem Tier mit einem Erreger infizieren und diesen anschließend auf Menschen übertragen. Die häufigsten Vektoren sind Stechmücken und Zecken, die die Krankheitserreger bei sogenannten „Blutmahlzeiten“ aufnehmen und wieder abgeben. Die Übertragung ist in vielen Fällen nicht einfach nur ein Transport, sondern häufig finden in den Vektoren wichtige Entwicklungsschritte der Erreger statt.

Zwischenwirte: Als Zwischenwirte werden Tiere bezeichnet, die ins Spiel kommen, wenn die Erreger nicht in der Lage sind, Menschen direkt zu infizieren. Das kann zwei Gründe haben. Ist ihre Konzentration in den Wirten (z. B. in Fledermäusen) zu gering für eine direkte Infektion, kommt es im Zwischenwirt zur Vermehrung der Erregerzahl, die dann für eine Infektion ausreicht. Ist der Erreger noch nicht ausreichend an den neuen Wirt angepasst, kommt es im Zwischenwirt zu genetischen Veränderungen, die dann eine Infektion erlauben (z. B. Influenzaviren in Schweinen). Bei Erregern mit Generationswechsel (z. B. Plasmodium, die Erreger der Malaria) findet die geschlechtliche Vermehrung immer im Wirt (in den Stechmücken) und die ungeschlechtliche im Zwischenwirt (in den Menschen) statt.

Von welchen Tieren werden Zoonosen übertragen?

Zoonosen werden von Wildtieren und Haustieren übertragen. Unter den Haustieren wird zwischen landwirtschaftlichen Nutztieren und Heimtieren („Kuscheltieren“, engl. *pets*) unterschieden. Eine Studie, in der nach systematischen Gruppen unterschieden wurde, kam zu folgendem Ergebnis (Tabelle 2).

Zoonosen entstehen durch Kontakte zwischen Wildtieren und Menschen und zwischen Haustieren und Menschen. Außerdem werden Krankheitserreger durch Kontakte zwischen Wildtieren und Haustieren übertragen. Viele Erreger kommen in allen drei Populationen vor (Abb. 2).

Oft unterschätzt wird die Übertragung von zoonotischen Krankheitserregern durch Heimtiere. Diese erfüllen zwar wichtige Funktionen, die die Gesundheit ihrer Besitzer positiv beeinflussen können. Aber viele Menschen haben mit ihren Tieren so engen körperlichen Kontakt, dass eine Übertragung nicht unwahrscheinlich ist. Der Kontakt zu Heimtieren wird derzeit für über 70 verschiedene Krankheiten beim Menschen verantwortlich gemacht. Die meisten sind bakteriellen Ursprungs. Aber auch Einzeller, Pilze und Würmer werden übertragen. Am seltensten ist die Übertragung von Viren.

Was ist das Besondere von Zoonosen, die durch Vektoren übertragen werden?

Die Zahl der Zoonosen, die durch Vektoren (Stechmücken, Zecken, Fliegen) übertragen werden, hat sich in den letzten 20 Jahren vervielfacht. Für diese Entwicklung werden vier Gründe angeführt:

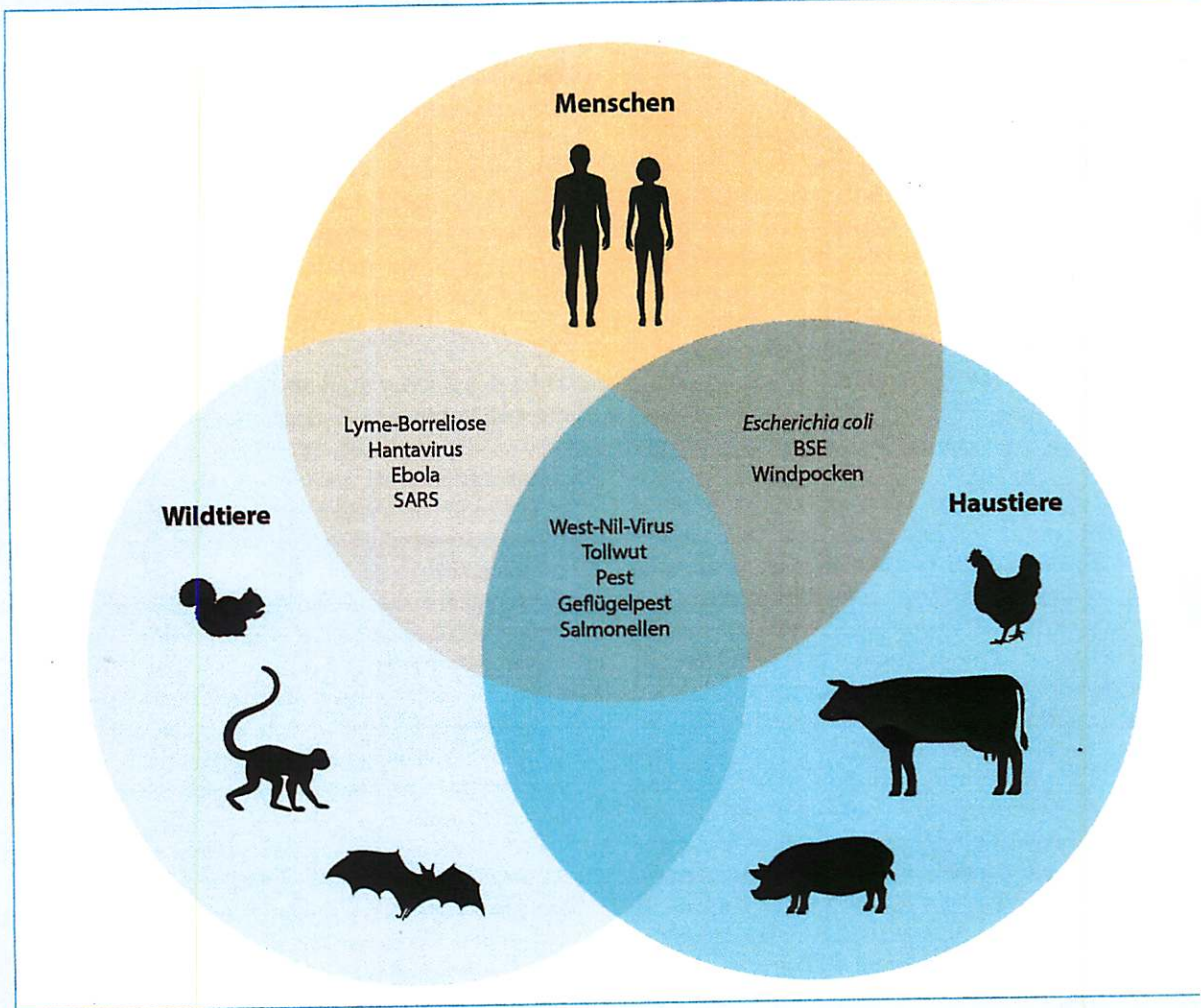
- Unter nahezu allen Erregertypen haben sich Formen entwickelt, die durch blutsaugende Arthropoden übertragen werden: Viren (z. B. West-Nil-Virus, Zika-Virus), Bakterien (z. B. *Borrelia burgdorferi*, der Erreger der Lyme-Borreliose), Einzeller (z. B. *Plasmodium falciparum*, einer der Erreger der Malaria) und Würmer (z. B. *Onchocerca volvulus*, der Erreger der Flussblindheit). Nur Pilze sind nicht vertreten.
- Durch die Vektoren werden Barrieren überwunden, die normalerweise den Kontakt zwischen den tierischen Wirten und den Menschen verhindern. So hätte z. B. *Borrelia burgdorferi*, das sich in Nagetieren vermehrt, ohne Zecken als Vektoren vermutlich kaum eine Chance, einen Menschen zu infizieren.
- Die Komplexität der Übertragung durch Vektoren bietet den Krankheitserregern vielfältige Möglichkeiten, sich weiterzuentwickeln. Die Vektoren sind nicht einfach nur Transportmittel, sondern häufig finden in den Vektoren wichtige Entwicklungsschritte der Erreger statt. Als Folge kann es zu Epidemien kommen, allein weil sich die Übertragung durch einen Vektor verbessert und nicht weil sich die Pathogenität des Erregers gesteigert hat.
- Die Verbreitungsgebiete von Vektoren sind unter anderem von klimatischen Faktoren (z. B. Temperatur) abhängig. Die durch den Klimawandel bedingte zunehmende Erwärmung der Erde kann zur Folge haben, dass sich die

Tiergruppe	Anzahl der Arten auf der Erde	Anzahl und Anteil der zoonotischen Arten	übertragene Erregerarten
Nagetiere	2220	244 (10,7 %)	85
Fledertiere	1100	108 (9,8 %)	27
Insektenfresser	426	19 (4,5 %)	19
Fleischfresser	285	139 (48,8 %)	83
Huftiere	247	73 (29,6 %)	68
Primaten	365	77 (21,1 %)	63

Tabelle 2: Anzahl und Anteil zoonotischer Arten sowie übertragene Erregerarten in verschiedenen Gruppen des Tierreichs

Quelle: zusammengestellt nach Informationen aus Han u. a. 2016

2: Beispiele von Zoonosen und von ihnen betroffene Populationen



Verbreitungsgebiete verändern und die Vektoren in neuen Regionen vorkommen. Wegen dieser Komplexität sind Zoonosen, die durch Vektoren übertragen werden, schwer zu kontrollieren und nicht zu beseitigen. Dabei spielt eine wichtige Rolle, dass die Vektoren gegen die Insektizide, die gegen sie eingesetzt werden, zunehmend resistent werden.

Wie werden zoonotische zu menschlichen Krankheitserregern?

Nach einem aktuellen Modell entwickeln sich Zoonosen in fünf Stufen (Abb. 3).

- Stufe 1:** Die Krankheitserreger kommen ausschließlich in Tieren vor und wurden bisher bei Menschen nicht nachgewiesen.
- Stufe 2:** Die Krankheitserreger werden zwar von Tieren auf Menschen, aber nicht zwischen Menschen übertragen. Beispiele: Tollwutvirus, Nipah-Virus, West-Nil-Virus, Milzbrandbakterien, bakterieller Erreger der „Hasenpest“ (Tularämie).
- Stufe 3:** Die Krankheitserreger werden hauptsächlich von Tieren auf Menschen und nur gelegentlich auch zwischen Menschen übertragen, sodass Ausbrüche bei Menschen begrenzt sind. Beispiele: Ebolavirus, Marburgvirus, Affenpockenvirus.
- Stufe 4:** Die Krankheitserreger werden zwar immer wieder von Tieren auf Menschen übertragen, aber die meisten

Übertragungen erfolgen zwischen den Menschen ohne die Beteiligung von tierischen Wirten. Bei einigen Erregern ist der natürliche Lebenszyklus zwischen den Wildtieren bedeutsamer. Beispiele: Gelbfieberevirus, Erreger der Chagas-Krankheit. Bei weiteren Erregern ist beide Übertragungswege gleichbedeutend – die Übertragung von einem Tier auf einen Menschen und die Übertragung zwischen Menschen. Beispiel: Dengue-Virus. Schließlich gibt es Erreger, bei denen der Anteil der Übertragung zwischen Menschen größer ist als der von tierischen Wirten zu Menschen. Beispiele: Influenzaviren, Cholerabakterium, Typhusbakterium, Erreger der afrikanischen Schlafkrankheit.

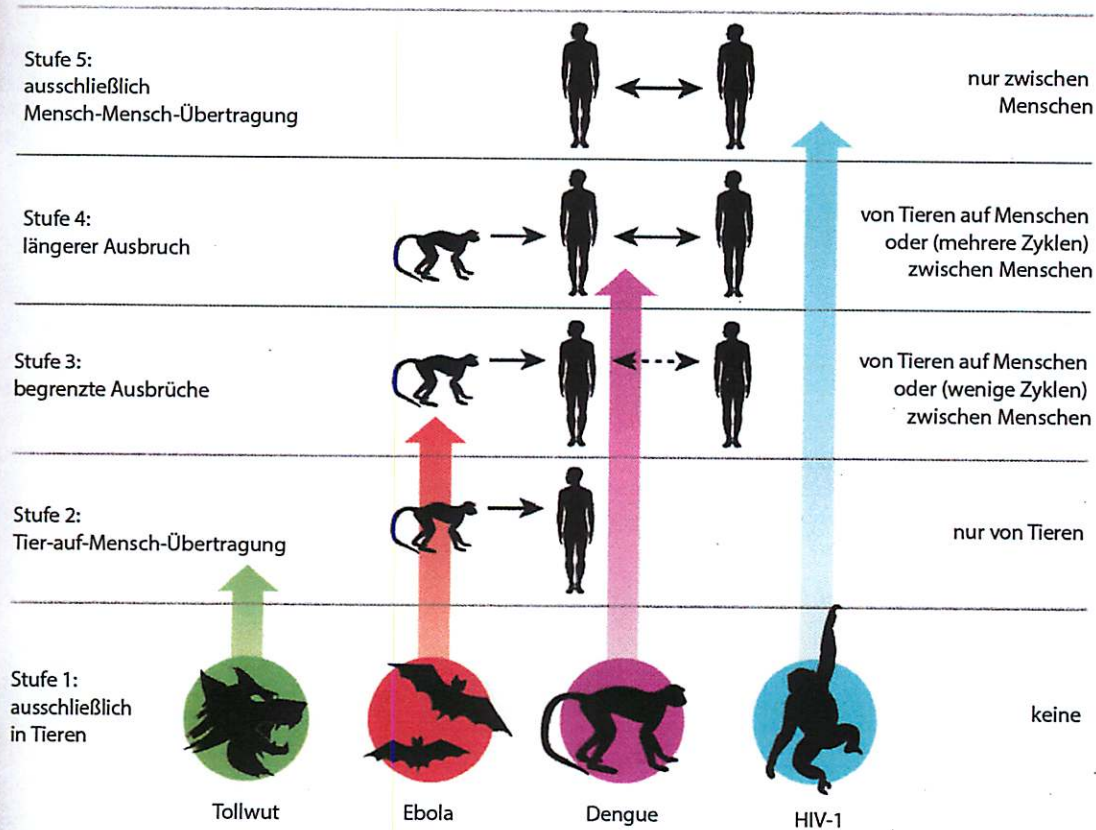
Stufe 5: Die Krankheitserreger werden ausschließlich zwischen Menschen übertragen. Beispiele: Masernvirus, Poliovirus, Pockenvirus, Erreger der Malaria.

Welche Faktoren führen zur Entstehung von Zoonosen?

Noch vor Kurzem führte die Frage „Was verursacht Ebola?“ zu Identifikation des Krankheitserregers und zu den unmittelbaren Ursachen seines Ausbruchs. Inzwischen lautet die Frage: „Weshalb kommt es zu einer bestimmten Zoonose in einer bestimmten Region zu einem Ebola-Outbreak?“ Es geht um das Zusammenspiel einer Vielzahl von Faktoren, die zum Ausbruch eines Krankheitserregers beitragen. In der Forschungsliteratur werden die Faktoren, die zur Entstehung von Zoonosen und neu auftretenden Infektionen

Stufen

Übertragung auf Menschen



3: Stufen der Entstehung von Zoonosen mit vier unterschiedlichen Erregern als Beispiele

tionskrankheiten führen, als „driver“ (dt.: Treiber) bezeichnet. Dazu gehören neben vielen externen auch interne Faktoren. Die internen Faktoren betreffen die Infektionsbiologie der jeweiligen Krankheitserreger (Pathogenität), der Wirtstiere, der Vektoren – wenn beteiligt – und der Menschen (Krankheitsanfälligkeit, Einnahme von Antibiotika). Zu den externen Faktoren gehören in der Reihenfolge der Bedeutung: Veränderung der Landnutzung (z. B. Entwaldung), Intensivierung der Landwirtschaft, Internationalisierung von Handel und Verkehr (z. B. Flugreisen), Hunger und Krieg, Klimawandel, kein funktionierendes Gesundheitssystem, Veränderung der Lebensmittelproduktion und der Ernährungsgewohnheiten (z. B. *bushmeat* = Fleisch von waldbewohnenden Wildtieren).

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben auf der Basis von weltweit erhobenen Daten den Anteil der einzelnen Treiber ermittelt (Abb. 4). Mit 26 % haben „andere“ Faktoren zwar den höchsten Anteil, aber in dieser Kategorie sind Faktoren wie Internationalisierung von Handel und Verkehr, Veränderungen der Bevölkerungsentwicklung, Klimawandel und Zusammenbruch von Gesundheitssystemen zusammengefasst. Unter den Einzelfaktoren sind die Veränderung der Landnutzung mit 18 % und die Krankheitsanfälligkeit der Menschen mit 17 % führend.

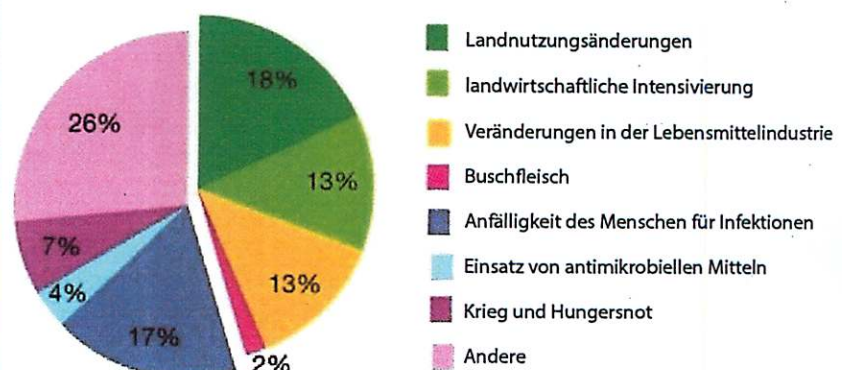
Hinter der Bezeichnung „Veränderung der Landnutzung“ verbirgt sich Abholzung oder Brandrodung von Wäldern, vor allem in den Tropen, Zerstückelung von natürlichen Lebensräumen und Ersatz der natürlichen Vegetation durch landwirtschaftliche Nutzpflanzen. Durch diese Maßnahmen

wurde und wird massiv in den natürlichen Lebensraum von Wildtieren eingegriffen. Das Ergebnis ist ein Rückgang der Artenvielfalt und damit der Biodiversität.

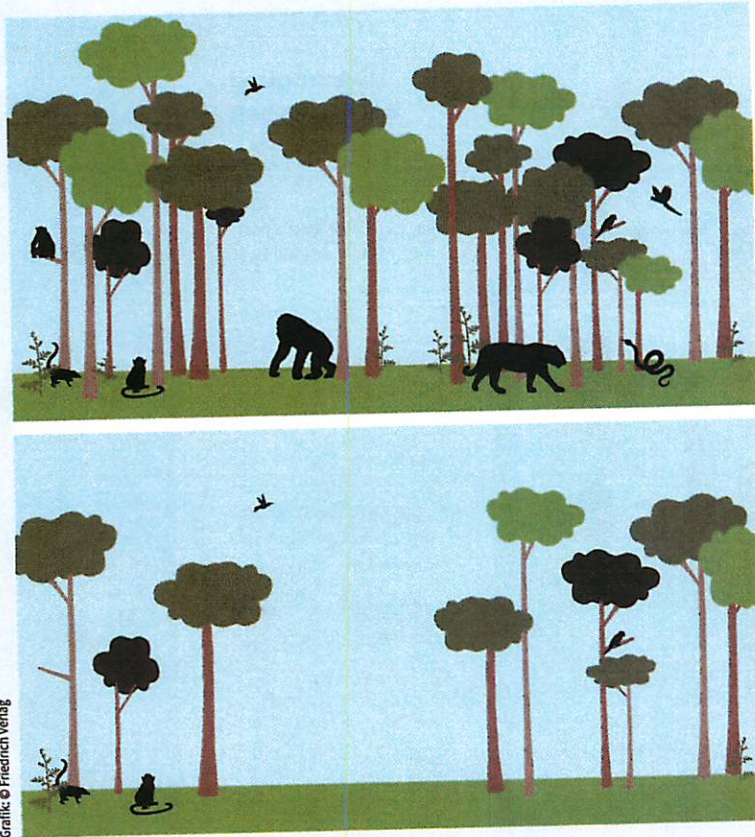
Außerdem suchen sich die Wildtiere neue Lebensräume in der Nähe von menschlichen Besiedlungen. Dadurch kommt es zu häufigeren Kontakten zwischen Wildtieren und Menschen, aber auch zwischen Wildtieren und Nutztieren. Durch die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion wiederum intensiviert sich der Kontakt der Nutztiere untereinander und zu den Menschen, die dort arbeiten.

Welche Faktoren begünstigen das Überspringen von Krankheitserregern von ihren Wirten auf andere Tiere oder

4: Prozentualer Anteil von Treibern neu auftretender zoonotischer Infektionskrankheiten zwischen 1940 und 2005



Graphic: Nature, 2010; 468(7240): 547–552, doi:10.1038/nature09575 © Nature Publishing Group, a Division of Macmillan Publishers Limited. All Rights Reserved. 2010



5: Auswirkungen des Rückgangs der Biodiversität in einem tropischen Regenwald

Menschen? Zwei Mechanismen beeinflussen die Übertragung von Krankheitserregern:

- Der erste wird als „**Verdünnungseffekt**“ (engl. *dilution effect*) bezeichnet und besagt, dass eine Zunahme der Artenvielfalt mit einer Abnahme des Infektionsrisikos einhergeht. Durch eine größere Artenvielfalt ist es für Krankheitserreger schwerer, zwischen verschiedenen Tieren zu wechseln, da sie häufiger auf weniger empfindliche oder resistente Arten treffen. Die Anzahl der möglichen Wirte „verdünnt“ sich.
- Der zweite wird als „**Vermehrungseffekt**“ (engl. *amplification effect*) bezeichnet und besagt, dass im Gegenteil eine Zunahme der Artenvielfalt auch eine Zunahme des Infektionsrisikos zur Folge hat.

2 | Das Vokabular der Epidemiologen

Eine **Epidemie** (von gr. *epi* = über, *demos* = Volk) ist ein räumlich und zeitlich begrenzter Ausbruch einer Infektionskrankheit wie der Pest im Mittelalter.

Eine **Endemie** (von gr. *en* = innerhalb, *demos* = Volk) ist ein räumlich begrenzter, aber über einen langen Zeitraum erfolgender Ausbruch einer Infektionskrankheit, wie z. B. der Pocken, die in einigen Regionen der Erde bis in die 1970er-Jahre wüteten.

Eine **Pandemie** (von gr. *pan* = alles, *demos* = Volk) steht für einen zeitlich begrenzten, aber weltweiten Infektionsverlauf. Beispiele aus neuester Zeit sind Aids, SARS und COVID-19.

Viele Untersuchungen sprechen für den „Verdünnungseffekt“. Die Verkleinerung der natürlichen Lebensräume führt zu einem Artenrückgang (Abb. 5). Dieser Rückgang betrifft vor allem die empfindlicheren bzw. stärker spezialisierten Arten. Die robusteren bzw. weniger spezialisierten Genera überleben und ihre Individuenanzahl nimmt sogar zu. Das sind aber in der Regel diejenigen Arten, die Krankheitserreger beherbergen. Die Wahrscheinlichkeit des Überspringens auf den Menschen wird größer.

Wie werden Zoonosen zu Epidemien und Pandemien?

Hat ein zoonotischer Krankheitserreger den Sprung auf den Menschen geschafft, trifft er in der Regel auf eine Bevölkerung, die keinen Immunschutz gegen ihn besitzt. Durch normalen Kontakte zwischen Menschen kommt es zunächst zu einer lokalen Epidemie. Aufgrund des modernen Reise- und Transportverkehrs wird der Erreger in alle Welt getragen und verursacht dort weitere lokale Epidemien, sodass der Ausbruch schließlich zu einer Pandemie wird (Kaster

Verlaufen Zoonosen tödlich?

Zoonose	Krankheitserregertyp	Todesrate
Beulenpest	Bakterium	5–60 %
H5N1-Influenza	Virus	60 %
Nipah-Virus-Infektion	Virus	40–75 %
Hantavirus-Infektion	Virus	36 %
MERS	Virus	35 %
Denguefieber	Virus	26 %
Bilharziose	Wurm	25 %
West-Nil-Fieber	Virus	13 %
SARS	Virus	10 %
Zika-Virus-Mikroencephalie	Virus	8 %
COVID-19	Virus	5 %
Malaria	Einzeller	0,3 %
saisonale Influenza	Virus	0,1 %
Borreliose	Bakterium	0 %

Tabelle 3: Liste der Todesraten ausgewählter Zoonosen

Nicht alle Zoonosen verlaufen tödlich (Tabelle 3). Krankheitserreger verursachen bei vielen Zoonosen keine nur milde Symptome. Daher ist die Bezeichnung

übertrieben. Selbst SARS-CoV-2, ein völlig neues Virus mit explosionsartiger Vermehrung, „verschont“ 80 % der Menschen mit der Krankheit COVID-19. 15 % bekommen Atemnot und etwa 5 % sterben an Multiorganversagen. Das Immunsystem spielt dabei eine zweischneidige Rolle. Zu Beginn der Infektion schützt es, indem es die Virusvermehrung ausbremst. An einem bestimmten Punkt kommt es zu einem Überschießen der Immunreaktion, zu einem Cytokin-Sturm. Ab jetzt richtet nicht mehr das Virus die Schäden im Körper an, sondern das überaktivierte Immunsystem. Es schießt mit Kanonen auf Spatzen. Wenn Menschen an Zoonosen sterben, ist fast immer diese überschießende Immunreaktion im Spiel.

Welche Schäden richten Zoonosen an?

Die Schäden, die durch Krankheiten entstehen, werden international in DALYs angegeben. Die Abkürzung steht für *disability-adjusted life years*. Die deutsche Übersetzung „behinderungsbereinigte Lebensjahre“ trifft nicht den Kern der Sache. Es geht um die Zahl der verlorenen Lebensjahre durch vorzeitigen Tod und den Verlust an Lebenszeit durch Einschränkungen in der Lebensführung und im Beruf. Hochgerechnet auf die gesamte Menschheit wurden für die drei großen zoonotischen „Killer“ folgende DALYs berechnet: Aids 46,7 Millionen verlorene Jahre, Malaria 30,9 Millionen verlorene Jahre und Tuberkulose 10,8 Millionen verlorene Jahre.

Sind unter Zoonosen „vernachlässigte Krankheiten“?

Bestimmten Infektionskrankheiten, die vor allem in ärmeren Ländern oder Bevölkerungsgruppen der Tropen vorkommen, wird weniger öffentliche Aufmerksamkeit geschenkt und für ihre Bekämpfung werden weniger Forschungsgelder bereitgestellt als für die großen „Killer“ Aids, Malaria und Tuberkulose. Sie werden deshalb als vernachlässigte Krankheiten (engl. *neglected diseases* oder präziser *neglected tropical diseases*, NTDs) bezeichnet. Es gibt unterschiedliche Listen dieser Krankheiten, wobei die WHO derzeit von 20 NTDs ausgeht (https://www.who.int/neglected_diseases/diseases/en; Stand 02.07.21). Die meisten davon sind Zoonosen.

Grund für die „Vernachlässigung“ ist, dass wegen der Armut der Bevölkerungen und wegen des unzureichenden Gesundheitssystems dieser Länder die hohen Entwicklungskosten für entsprechende Medikamente nicht gedeckt werden können. Um den Pharmafirmen einen Investitionsanreiz zu geben, ist deshalb internationale Unterstützung nötig, zum Beispiel durch die WHO.

Was hat Armut mit Zoonosen zu tun?

Von Armut betroffene Regionen sind überproportional von Zoonosen betroffen, die zu den vernachlässigten Krankheiten gezählt werden. Dafür werden fünf Gründe verantwortlich gemacht:

- Es fehlt an zuverlässigen Daten über die Auswirkungen der meist endemischen Ausbrüche in diesen Regionen.
- Ärzte und Politiker vor Ort wissen zu wenig über die

zoonotischen Ursachen der regionalen Krankheiten, so dass es häufig zu Fehldiagnosen kommt.

- Die für eine präzise Diagnose erforderliche Technik ist meist aus Kostengründen nicht vorhanden.
- Krankheitsfälle und Ausbrüche von Epidemien werden nicht zentral erfasst und dokumentiert.
- Den Krankheiten wird zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt und es fehlt an politischem Willen, diese Krankheiten zu kontrollieren.

Wie werden Zoonosen bekämpft?

Die Bekämpfung von Zoonosen ist schwierig und eine große Herausforderung. Da es sich in vielen Fällen um neu auftretende Infektionskrankheiten handelt, gibt es weder Medikamente noch Impfstoffe. Bei vielen wieder auftretenden Infektionskrankheiten sind die Erreger oft resistent gegen Medikamente (z. B. Antibiotika gegen Tuberkulose). Für viele Zoonosen gibt es zwar kurzfristig wirkende Medikamente, aber keine langfristig schützenden Impfstoffe.

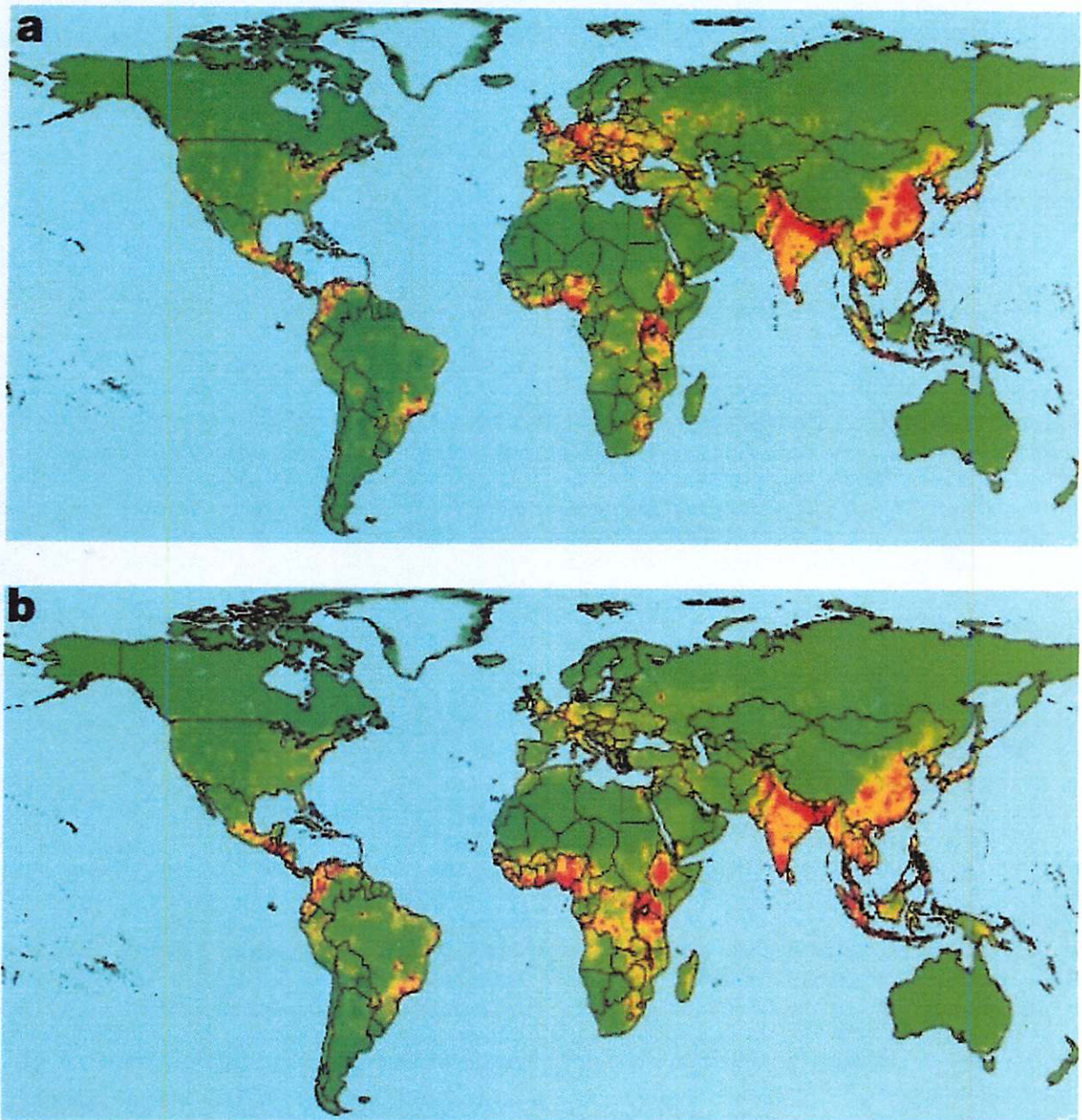
Da sich Zoonosen und die von ihnen ausgehenden Gefahren von Epidemien und Pandemien nur global bekämpfen lassen, wurden internationale Initiativen gegründet. Eine davon ist die „*Coalition for Epidemic Preparedness Innovations (CEPI)*“ (dt.: Koalition für Innovationen in der Epidemie-Vorbeugung). Es handelt sich um eine weltweite Allianz zwischen der WHO, der EU-Kommission, verschiedenen Regierungen, Forschungseinrichtungen, Impfstoffherstellern und privaten Geldgebern (z. B. die *Bill & Melinda Gates Foundation*). Ziel ist der Aufbau eines Netzwerks zur Erforschung und Entwicklung neuer Impfstoffe zur schnelleren Reaktion auf zu erwartende Ausbrüche neuer viraler Zoonosen.

Bisher wurden Tiergesundheit, Gesundheit der Menschen und Umweltschutz eigenständig und voneinander getrennt betrachtet. Durch den „*One-Health*“-Ansatz soll dieses „Säulendenken“ überwunden werden (s. [Beitrag Zoonosen vorhersehen, vorbeugen, verhindern](#)).

Lassen sich Zoonosen verhindern?

Die COVID-19-Pandemie hat gezeigt, dass durch einige einfache Verhaltensweisen die Ausbreitung des Virus verlangsamt werden konnte: Abstand halten, Mund-Nasen-Schutz tragen, Ansammlungen vieler Menschen meiden, Hände gründlich waschen, Reisen unterlassen. Die SARS-Pandemie von 2003 konnte auf diese Weise sogar eingedämmt werden. Gegen FSME und Borreliose schützt helle Bekleidung, die den ganzen Körper bedeckt, und das Auftragen eines Repellents (z. B. Autan®), um die übertragenden Zecken abzuwehren. Gegen Malaria hilft es oft schon, unter einem Mückennetz zu schlafen. Aber alle diese Maßnahmen werden ergriffen, wenn eine Epidemie oder Pandemie bereits ausgebrochen ist.

Anspruchsvoller ist das erklärte Ziel, Zoonosen und daraus entstehende Epidemien und Pandemien zu verhindern. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die daran arbeiten, haben z. B. aus den bereits vorhandenen Daten eine Weltkarte der sogenannten „Hotspots“ erstellt. Sie zeigt, in welchen Regionen der Erde Rahmenbedingungen existieren, die den Ausbruch eines zoonotischen Erregers wahrscheinlich machen ([Abb. 6](#)).



6: Globale Verteilung des relativen Risikos für neu auftretende Zoonosen (a) durch Wildtiere, (b) übertragen durch Vektoren

Literatur

- Bauerfeind, R. u. a. (Hrsg.) (2015). *Zoonoses: Infectious Diseases Transmissible from Animals to Humans*. Washington
- Han, B. A. u. a. (2016): Global Patterns of Zoonotic Disease in Mammals. *Trends in Parasitology*, 32 (7), S. 565–577
- Jones, K. E. u. a. (2008). Global Trends in Emerging Infectious Diseases. *Nature*, 451, S. 990–993
- Kaufmann, S. H. E. (2008): *Wächst die Seuchengefahr?* Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag
- Keesing, F. u. a. (2010). Impacts of Biodiversity on the Emergence and Transmission of Infectious Diseases. *Nature*, 468, S. 647–652
- Mablesen, H. E. u. a. (2014). Neglected Zoonotic Diseases – The Long and Winding Road to Advocacy. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8 (6), e2800
- Molyneux, D. u. a. (2011). Zoonoses and Marginalised Infectious Diseases of Poverty: Where Do We Stand? *Parasites & Vectors*, 4: 106
- Pike, B. L. u. a. (2010): The Origin and Prevention of Pandemics. *Clinical Infectious Diseases*, 50 (12), S. 1636–1640
- Taylor, L. H. u. a. (2001). Risk Factors for Human Disease Emergence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 356, S. 983–989
- Wolfe, N. D. u. a. (2007). Origins of Major Human Infectious Diseases. *Nature*, 447, S. 279–283