

Wie lässt sich NEUEN PANDEMIEEN? vorbeugen

Das aktuelle »Schweinegrippevirus« macht die Bedrohung durch neue Erreger wieder bewusst. Ein internationales Netzwerk, das frühzeitig Alarm schlägt, wenn irgendein Virus von Tieren auf Menschen überspringt, dürfte dazu beitragen, die Entstehung weltweiter Epidemien zu verhindern.

Von Nathan D. Wolfe

In Kürze

- Die Mehrheit menschlicher **Infektionskrankheiten** stammt ursprünglich von Tieren.
- Epidemiologen konzentrierten sich früher meist auf **Haustiere als mögliche Quelle von Erregern**, viele jedoch, darunter auch HIV, sind von Wildtieren auf den Menschen übersprungen.
- Um abzuschätzen, welche **Bedrohung von Wildtieren** ausgeht, werden diese und die Menschen, die häufig mit ihnen in Kontakt kommen, nun von Forschern auf Erreger untersucht.
- Solche **Überwachungsmaßnahmen** können dazu beitragen, neuartige Infektionskrankheiten des Menschen rechtzeitig zu entdecken, um Pandemien zu vermeiden.

Schweiß lief mir über den Rücken, dorniges Gestrüpp zerkratzte meine Arme, und wir hatten sie schon wieder verloren: Das Grunzen, Heulen und Kreischen der wilden Schimpansen, denen mein Kollege und ich seit fünf Stunden folgten, war verstummt. Ihre vielfältigen Lautäußerungen hatten uns geholfen, die Tiere durch Ugandas Kibale-Urwald zu verfolgen. Dass drei erwachsene Männchen plötzlich schwiegen, bedeutete nicht Gutes. Als wir uns einer kleinen Lichtung näherten, sahen wir sie wieder: Das Triumvirat stand unter einem großen Feigenbaum und beobachtete heimlich einen Trupp Colobusaffen, der hoch oben fraß und spielte.

Einen Moment lang schienen sich die drei am Boden zu verständigen, dann trennten sie sich. Während zwei von ihnen benachbarte Bäume erklommen, schlich der Anführer zum Feigenbaum. Plötzlich schoss er laut schreiend am Stamm empor. In Panik versuchten die Äffchen ihm zu entkommen. Doch der Überfall war gut geplant. Einem seiner Jagdgenossen gelang es, ein Jungtier unter den Flüchtenden zu ergreifen und auf den Waldboden zu zerren, bereit, seine Beute zu teilen.

Ich beobachtete, wie die Schimpansen Fleisch und Eingeweide verschlangen, und dachte: Dies ist das perfekte Szenario, bei dem Mikroorganismen von einer Tierart auf die andere überspringen können. Irgendwelchen Krankheitserregern im Körper der Beute bot sich hier die ideale Gelegenheit, einen neuen Wirt zu erobern. Die Schimpansen fraßen frische rohe Organe. Ihre Hände waren besudelt

mit Blut, Speichel und Kot, die Erreger enthalten konnten. Blut und andere Körperflüssigkeiten spritzten in ihre Augen und Nasenlöcher. Jede Wunde, jeder Kratzer am Körper der Jäger gewährte direkten Zugang zu ihrer Blutbahn.

Tatsächlich vermochten meine und andere Arbeitsgruppen nachzuweisen, dass die Jagd auf Wildtiere Viren gewissermaßen Trittsteine liefert, von der Beute auf den Jäger überspringen – sei der nun Tier oder Mensch. Genau so begann auch die HIV-Pandemie: Eine tierische Form des Virus ging von Tieraffen auf Schimpansen über und später von diesen Menschenaffen auf den Menschen.

Allerdings wäre die weltweite Ausbreitung des Aidsregers, des Human-Immunschwäche-Virus HIV, nicht zwangsläufig erfolgt. Hätten Wissenschaftler schon in den 1960er und 1970er Jahren versucht, Anzeichen für neuartige Infektionskrankheiten in der afrikanischen Bevölkerung zu entdecken, so wäre der Erreger lange vor dem Befall von Millionen Menschen bekannt gewesen. Mit einem solchen Vorsprung hätten Epidemiologen durchaus die Chance gehabt, einzugreifen und die Ausbreitung zu verlangsamen.

HIV ist nicht das einzige Übel, das aus einem Tierreservoir hervorging (siehe Kasten S. 56). Mehr als die Hälfte der heute bekannten Infektionskrankheiten hat ihren Ursprung in tierischen Wirten, darunter Sars, Dengue-Fieber, Ebola-Fieber – und gerade wieder in den Schlagzeilen: Influenza. In unserer globalisierten Welt, mit ihrem internationalen Straßen- und Luftverkehr, können sich neue Erreger rasch zu einer weltweiten Epidemie, einer Pandemie, ausbreiten – gleich ob sie nun direkt von Wildtieren auf den Menschen übersprin-



Vorsicht Biogefahr: Wildtiere können Krankheitserreger beherbergen, die in der Lage sind, auch auf den Menschen überzuspringen, was der erste Schritt zur Entwicklung und Verbreitung einer lebensgefährlichen Infektionskrankheit sein kann. Daher setzt ein neuer Plan zur Vermeidung von Pandemien bereits hier an.

gen wie HIV oder den Umweg über Nutztiere nehmen, wie das Japanische Enzephalitisvirus oder eben manche Stämme des Influenzavirus. Um solchen Bedrohungen entgegenzutreten, entwickelten meine Kollegen und ich vor Kurzem einen kühnen Plan zur Überwachung von Wildtieren und bestimmten Bevölkerungsgruppen, die mit ihnen oft in Kontakt kommen. Unser Ziel dabei ist, Anzeichen für neu auftretende Krankheitserreger oder Veränderungen ihres Verhaltens zu erfassen. Damit hätte man wohl – so unsere Hoffnung – die dringend nötige Frühwarnung, um Pandemien zu stoppen, noch bevor sie dazu werden.

Die Idee für ein solches Überwachungsprogramm erwuchs aus unserer Forschungsarbeit, die vor zehn Jahren begann – im zentralafrikanischen Kamerun mit einer Studie bei Dorfbewohnern, die Wildtiere jagen und schlachten, aber auch fangen und als Haustiere halten. Wir wollten herausfinden, ob neue Stämme des Immunschwächevirus gerade dabei waren, in menschliche Populationen einzudringen. Bei diesen Dorfbewohnern vermuteten wir eine besonders hohe Gefährdung. Man muss sich dazu nur den Berufsalltag eines typischen zentralafrikanischen Buschjägers vor Augen führen. Bei seinen Streifzügen auf schmalen Pfaden durch urwüchsigen Wald geht er barfuß und trägt leichte Baumwollshorts. Erlegte Beute, zum Beispiel einen 20 Kilogramm schweren Pavian, schleppt er auf dem Rücken viele Kilometer weit nach Hause. Das Blut des Tiers mischt sich mit dem menschlichen Schweiß, tröpfelt und rinnt in frische Schrammen, die der Jäger sich unterwegs zugezogen hat. Irgendwelche Krankheitserreger aus dem tierischen Blut gelangen so leicht in Blut und Gewebe des Jägers.

Hätten der Mann und die Mitglieder seines Dorfs die Wahl, würden sie wohl lieber Schwein oder Rind essen. Doch Fleisch von Nutztieren ist in dieser Gegend rar. Also tun Menschen das, was ihre Vorfahren seit Jahrtausenden getan haben: Sie bejagen die heimischen Wildtiere. Wenn meine Freunde in New Jersey in der Jagdsaison auf ihrer Farm Rotwild schießen, ist das insofern etwas anderes, als dass der zentralafrikanische Jäger samt seiner Familie das Fleisch zum Überleben benötigt – und sich dabei von seiner Hauptbeute, eben Affen, eher eine Infektion mit Viren oder anderen Mikroorganismen zuzieht. Die verwandtschaftliche Nähe zum Menschen macht die Beute problematischer.

WECHSELSEITIGER AUSTAUSCH



Krankheitserreger gehen teilweise auch von Menschen auf Tiere über, darunter

- Tuberkulose auf Kühe
- Gelbfieber auf Neuweltaffen
- Masern auf Berggorillas
- Kinderlähmung auf Schimpansen

TIERISCHE INFEKTIONSQUELLEN

Viele der wichtigsten menschlichen Infektionskrankheiten stammen, wie es aussieht, ursprünglich aus Wildtieren. Deren Erreger müssen also zusätzlich zu denen der Nutztiere überwacht werden. Die Tabelle nennt zehn solcher Krankheiten und die Tiere, von denen sie wahrscheinlich auf den Menschen übertragen wurden.

Krankheit	Quelle
Aids	Schimpansen
Hepatitis B	Menschenaffen
Influenza A	Wildvögel
Pest	Nager
Dengue-Fieber	Altweltaffen
Ostafrikanische Schlafkrankheit	wild lebende und domestizierte Wiederkäuer
Westafrikanische Schlafkrankheit	wild lebende und domestizierte Wiederkäuer
Malaria tertiana	asiatische Makaken
Gelbfieber	afrikanische Affen
Chagas-Krankheit	viele wild lebende und domestizierte Säugetiere

Ein ganzes Sortiment neuer Viren

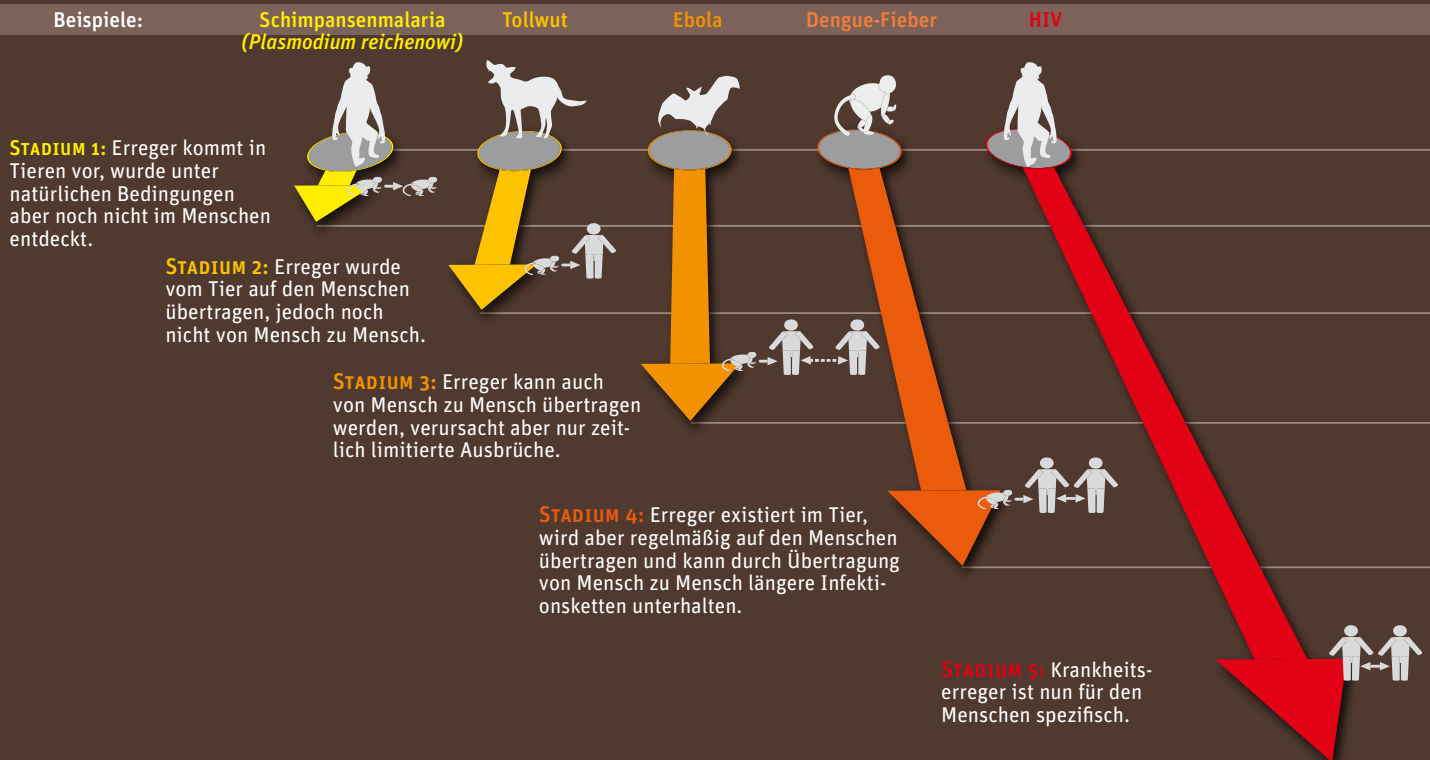
Es war nicht einfach, die Dorfbewölkerung für unser Projekt zu gewinnen. Viele befürchteten, wir wollten ihnen ihr Jagdwild wegnehmen. Erst nachdem wir ihr Vertrauen gewonnen hatten, konnten wir Proben und Daten sammeln. Ihre Kooperation war unverzichtbar: Wir stellten nicht nur zahlreiche Fragen zu Gesundheitszustand und Jagdgewohnheiten, sondern benötigten natürlich auch Blutproben der Bewohner – und der Beute. Dazu gaben wir den Jägern Filterpapier mit, das sie mit dem frischen Blut der Tiere tränkten.

In den Blutproben von Jägern und Beutetieren entdeckten wir mehrere Viren, die noch niemand zuvor beim Menschen nachgewiesen hatte. Eines davon ist das Simian Foamy Virus (SFV), über dessen Anwesenheit wir erstmals 2004 in der Fachzeitschrift »Lancet« berichteten. Es handelt sich um ein Retrovirus, gehört also zur gleichen Großgruppe wie HIV. Natürlicherweise kommt es bei den meisten tierischen Primaten vor, unter anderem bei Meerkatzen, Mandrills und Gorillas. Jede dieser Affenarten beherbergt eine eigene genetische Variante des SFV – und alle drei Varianten waren auf die jagende Bevölkerung übergegangen. In einem besonders anschaulichen Fall hatte sich ein 45-jähriger Mann, der angab, Gorillas erlegt und geschlachtet zu haben, mit dem Gorilla-SFV angesteckt. Diese Menschenaffen werden nur selten von Jägern verfolgt, die das Fleisch für den Eigenbedarf benötigen.

Bei denselben zentralafrikanischen Populationen entdeckten wir ein Sortiment weiterer Retroviren, und zwar humane T-lymphotrope Viren (HTLVs). Diese befallen, wie ihr Name besagt, bevorzugt T-Lymphozyten, bestimmte Immunzellen im Blut des Wirts. Von zwei dieser Viren, HTLV-1 und HTLV-2, wusste man damals, dass sie bereits Millionen Menschen weltweit infiziert hatten und bei manchen der Befallenen bestimmte Krebsarten und Erkran-

VOM TIERISCHEN ZUM REIN MENSCHLICHEN KRANKHEITSERREGER

Die Entwicklung vollzieht sich in fünf Etappen, wobei ein Erreger auf jeder dieser Stufen stehen bleiben kann. Auf Stufe 3 etwa mag er zwar äußerst lebensgefährlich sein, aber insgesamt nur wenige Todesopfer fordern, weil er sich nicht frei von Mensch zu Mensch verbreiten kann. Je besser sich beispielsweise ein Virus unter Menschen auszubreiten vermag, desto leichter kann es pandemisch werden.



MELISSA THOMAS, NACH: NATHAN D. WOLFE ET AL., ORIGINS OF MAJOR HUMAN INFECTIOUS DISEASES, NATURE, BD. 447, 17. MAI 2007

kungen des zentralen Nervensystems auslösen können. Doch zwei weitere waren der Wissenschaft neu: HTLV-3 und HTLV-4, die wir 2005 in den »Proceedings of the National Academy of Sciences USA« erstmals beschrieben. Angesichts der ausgeprägten genetischen Ähnlichkeit von HTLV-3 mit seinem Gegenstück in Affen, STLV-3, dürfte der Mensch es sich wohl über erlegte infizierte Affen eingefangen haben. Der Ursprung von HTLV-4 ist noch offen. Vielleicht finden wir seinen Vorläufer, wenn wir die Verbreitung dieser Virusgruppe bei Affen weiter erforschen.

Neue Killerseuchen verhindern

Noch wissen wir auch nicht, ob SFV oder die neuen HTLV-Viren bei Menschen überhaupt Krankheiten hervorrufen können. Nicht jedes Virus führt zwangsläufig zu einer Erkrankung – und nicht alle Viren, die Menschen krank machen und sogar innerhalb unserer Spezies weitergegeben werden, lösen eine Pandemie aus; oft ziehen sie sich von selbst wieder zurück. Da jedoch SFV und HTLV derselben Virusfamilie angehören wie HIV, das sich weltweit ausgebreitet hat, sollten die Epidemiologen diese Vertreter genau im Auge behalten.

Die Umwandlung eines tierischen Krankheitserregers in einen spezifisch menschlichen

haben meine Kollegen und ich in fünf Stadien unterteilt (siehe Kasten oben). Zunächst kommt der Erreger nur bei Tieren vor (Stadium 1), in Stadium 2 können sich Menschen bei Tieren anstecken, nicht jedoch bei infizierten Menschen. In Stadium 3 wird der Erreger zu einem geringen Teil auch von Mensch zu Mensch übertragen, die Infektionskette reißt jedoch früh ab und Ausbrüche bleiben beschränkt. Im Stadium 4 kann er länger in der menschlichen Bevölkerung weitergegeben werden. Im Stadium 5 schließlich liegt ein spezifisch menschlicher Erregerstamm vor, der nun nicht mehr auf ein Tierreservoir angewiesen ist. Erreger der Stadien 4 und 5 können massiv Todesopfer fordern.

Hätten wir die afrikanischen Jäger schon 30 Jahre eher beobachtet, wäre uns HIV wohl in die Fänge geraten, bevor es das Stadium eines Pandemieerregers erreichte. Diese Chance ist dahin. Jetzt stellt sich die Frage, wie die nächsten neuen Killerseuchen zu verhindern sind. Mit unserer Methode lassen sich Bevölkerungsgruppen in abgelegenen Gegenden gut beobachten. Mit einer Ausweitung unserer Arbeit wäre somit das Übergangsmuster von tierischen Krankheitserregern auf den Menschen auch auf breiterer Basis erfassbar. Uns schwebte ein weltweites Überwachungs-

GEFAHRENQUELLE HAUSTIER



GETTY IMAGES, THOMAS BARWICK

Nicht nur Wild- und Nutztiere stellen potenzielle Quellen für eine neue Pandemie dar. Auch auf Hunde, Katzen und andere Haustiere können bei Kontakt zu infizierten Wildtieren Erreger überspringen, die dann womöglich auf den Halter übertragen werden.



CARL AMMAN

LAND: Kamerun
NEUERE HIER HERVORGEGANGENE VIREN: HIV
INDIKATORGRUPPE ZUR ERFASSUNG NEUER KRANKHEITSERREGER:
 Menschen, die Wildtiere jagen und schlachten

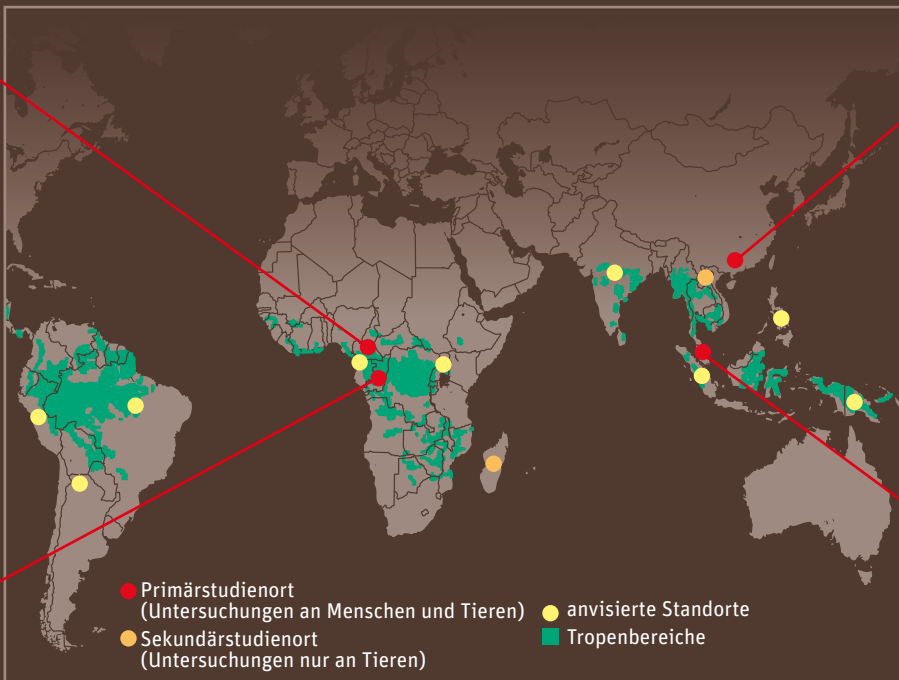


AP PHOTO, SCHALF VAN ZUYDAM

LAND: Demokratische Republik Kongo
NEUERE HIER HERVORGEGANGENE VIREN:
 Marburg-Virus, Affenpockenvirus, Ebola-Virus
INDIKATORGRUPPE:
 Menschen, die Wildtiere jagen und schlachten

AUFBAU EINES ÜBERWACHUNGSNETZWERKS

Durch Überwachung von Mikroorganismen bei Wildtieren und jenen Menschen, die häufig mit ihnen in Kontakt kommen, könnten Wissenschaftler neu auftretende Infektionskrankheiten erkennen, bevor sie sich ausbreiten. So hat der Autor vor Kurzem die Global Virus Forecasting Initiative (GVFI) ins Leben gerufen. Das ist ein Netzwerk von rund 100 Wissenschaftlern und Mitarbeitern des Gesundheitswesens in sechs Ländern (rote und orangefarbene Punkte), die den Übergang potenziell gefährlicher Infektionserreger von Tieren auf Menschen erfassen und beobachten. Die Aktivitäten der GVFI konzentrieren sich weitgehend auf tropische Regionen (grün), da diese eine große Artenvielfalt beherbergen und viele dort lebende Menschen durch die Jagd und andere Tätigkeiten oft in Kontakt mit Wildtieren kommen. Die GVFI hofft, ihr Netzwerk allmählich um weitere Länder mit großer Biodiversität erweitern zu können; einige davon sind hier mit gelben Punkten gekennzeichnet.



MELISSA THOMAS

MASSNAHMEN IM ERNSTFALL

Schon nach ersten Anzeichen dafür, dass ein neuer Erreger von einzelnen Menschen, die in direktem Kontakt zu Wildtieren standen, auf die Bevölkerung übergreift, wird Alarm geschlagen. Der nächste wichtige Schritt zur Verhinderung einer Pandemie wäre dann die Überwachung der Blutkonserven. Dazu müssten schnellstmöglich Tests zum Nachweis des neuen Erregers entwickelt und produziert werden.

system vor, das vor einer neu auftauchenden Infektionskrankheit zu warnen vermag, bevor der Topf überkocht.

Mit Unterstützung von Google.org und der Skoll-Stiftung konnten wir die Global Viral Forecasting Initiative (GVFI) ins Leben rufen. Innerhalb dieses Forschungsprogramms arbeiten weltweit Naturschutzbiologen, Epidemiologen und Mitarbeiter des öffentlichen Gesundheitswesens zusammen. Sie identifizieren Infektionserreger in ihren ursprünglichen Wirten und überwachen, ob diese von dort auf den Menschen übergehen und sich vom Entstehungsort ausbreiten. Statt sich nur auf bestimmte Viren oder eine gerade aktuelle Erkrankung zu konzentrieren, versucht die GVFI, das komplette Spektrum von Viren, Bakterien und Parasiten abzudecken, die dabei sind, von Tieren auf den Menschen überzugreifen.

Obwohl die Initiative noch am Anfang steht, beschäftigt die GVFI schon rund 100 Wissenschaftler, die kontinuierlich Indikator-

populationen und Wildtiere in Kamerun, der Demokratischen Republik Kongo, in Madagaskar, China, Laos und Malaysia beobachten – alles Länder, die als wichtige Brutstätten für neue Infektionskrankheiten gelten. Viele der Indikatorpersonen sind Jäger; wir untersuchen jedoch auch andere Hochrisikogruppen, wie Händler und Beschäftigte auf den Fleischmärkten Asiens, wo lebende Tiere angeboten werden (siehe Kasten oben).

Bei einem Jäger eine neue Mikrobe zu finden, ist jedoch nur der erste Schritt. Als Nächstes muss nämlich geklärt werden, ob sie Krankheiten verursacht, von Mensch zu Mensch übertragen wird und schon in städtische Zentren vorgedrungen ist, wo sie sich wegen der hohen Bevölkerungsdichte schnell verbreiten könnte. Tritt ein neu auftauchender Erreger entfernt von seinem Ursprungsort in einem Ballungsgebiet auf, so ist dies als besonders Besorgnis erregendes Zeichen für ein pandemisches Potenzial zu werten.



LAND: China
NEUERE HIER HERVORGEGANGENE VIREN: Sars-Coronavirus, Influenzavirus H5N1
INDIKATORGRUPPE: Händler auf Fleischmärkten mit lebenden Tieren in Hongkong



LAND: Malaysia
NEUERE HIER HERVORGEGANGENE VIREN: Nipah-Virus
INDIKATORGRUPPE: Jäger von Wildtieren

Im Fall der Viren HTLV-3 und HTLV-4 haben wir begonnen, Hochrisikogruppen in Städten nahe bekannter Brutstätten für neue Infektionskrankheiten zu beobachten. Sie werden regelmäßig auf beide Viren getestet. Zu den Gruppen, die sich schon frühzeitig infizieren könnten, gehören Patienten, die an einer Sichelzellanämie leiden und daher regelmäßige Bluttransfusionen erhalten. Fänden wir bei ihnen die Viren, würden wir eine weltweite Überprüfung der Blutkonserven anstreben, um weitere Empfänger zu schützen. Dazu entwickeln wir mit unserem langjährigen Partner Bill Switzer und unseren Kollegen von den US-amerikanischen Centers of Disease Control and Prevention neue diagnostische Tests zur Untersuchung von Blutkonserven auf Viren. Außerdem ist es unbedingt nötig herauszufinden, auf welchem Weg der Erreger übertragen wird. Beispielsweise könnten die Gesundheitsbehörden bei sexuell übertragbaren Erregern Aufklärungskampagnen wie im Fall

von HIV starten, die unter anderem auch den Gebrauch von Kondomen empfehlen.

Regierungen könnten überdies Maßnahmen ergreifen, die neuartige Viren daran hindern, überhaupt in die Bestände der Blutbanken zu gelangen. So hat die kanadische Regierung als Reaktion auf unsere oben beschriebenen Forschungsergebnisse ihre Gesetze für das Blutspendewesen geändert: Personen, die Kontakt zu Affen hatten, sind nicht mehr als Spender zugelassen.

Neben unseren eigenen Bemühungen umfasst das neue Gebiet der Pandemieprävention auch Programme wie HealthMap und ProMed, die täglich aktuelle Meldungen zu Krankheitsausbrüchen weltweit zusammenstellen. Internetgestützte Warnsysteme – wie das von Google.org initiierte Instrument Flu Trends – nutzen Suchanfragemuster für die Influenzavorhersage. Entsprechend werden auch die nationalen und internationalen Überwachungs- und Aktionssysteme lokaler Regierungen und der Weltgesundheitsorganisation eine wichtige Rolle zur frühzeitigen Eindämmung künftiger Seuchen spielen.

Wir selbst streben die Ausweitung unseres Überwachungsnetzwerks auf weitere Länder rund um den Globus an. Dazu sollten unter anderem Brasilien und Indonesien gehören, da diese Länder eine enorme Vielfalt von Tieren beherbergen, die Krankheitserreger auf Menschen übertragen könnten. Der Ausbau der GVFI wird allerdings größere Investitionen erfordern: Das Netzwerk so zu erweitern, dass es über genügend Mitarbeiter und Laborkapazität verfügt, um Indikatorpopulationen und ihre Kontakttiere alle sechs Monate zu testen, dürfte etwa 30 Millionen Dollar kosten. Für den laufenden Unterhalt des Systems rechnen wir mit zusätzlichen 10 Millionen Dollar jährlich. Wenn es allerdings innerhalb der nächsten 50 Jahre gelingt, auch nur eine einzige Pandemie zu verhindern, so würde sich der gesamte Aufwand bereits mehr als nur rechnen. Selbst ein bloßes Abmildern einer Seuche würde die Kosten rechtfertigen.

Der Mensch bemüht sich, eine ganze Reihe hoch komplexer natürlicher Bedrohungen vorherzusagen. Nur selten fragen wir nach dem Sinn solcher Bestrebungen im Fall von Wirbelstürmen, Tsunamis, Erdbeben oder Vulkanausbrüchen. Wir sehen keinen Grund zu glauben, Pandemien seien schwieriger vorherzusagen als Tsunamis. Angesichts der enormen Summen, welche die Eindämmung bereits etablierter Pandemien verschlingt, erscheint es nurmehr sinnvoll, mit einem Bruchteil dieses Geldes schon das Aufkeimen an sich zu stoppen. Das Quäntchen Vorbeugung wäre nirgends besser angebracht. ◀



Nathan D. Wolfe ist Inhaber einer von Lorry I. Lokey gestifteten Gastprofessur für Humanbiologie an der kalifornischen Stanford University und leitet die »Global Viral Forecasting Initiative«. Er hat 1998 in Harvard über die Immunologie von Infektionskrankheiten promoviert. Wolfe ist Träger des »Director's Pioneer Award« der US-amerikanischen National Institutes of Health und des »Emerging Explorer Award« der National Geographic Society. Derzeit betreibt er Forschungsprojekte und öffentliche Gesundheitsprogramme in mehr als zehn afrikanischen und asiatischen Ländern.

Wolfe, N. D. et al.: Naturally Acquired Simian Retrovirus Infections in Central African Hunters. In: *Lancet* 363(9413), S. 932–937, 20. März 2004.

Wolfe, N. D. et al.: Emergence of Unique Primate T-Lymphotropic Viruses among Central African Bushmeat Hunters. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102(22), S. 7994–7999, 31. Mai 2005.

Wolfe, N. D. et al.: Bushmeat Hunting, Deforestation, and Prediction of Zoonotic Disease Emergence. In: *Emerging Infectious Diseases* 11, S. 1822–1827, Dezember 2005.

Wolfe, N. D. et al.: Origins of Major Human Infectious Diseases. In: *Nature* 447, S. 279–283, 17. Mai 2007.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.spektrum.de/artikel/993072.