

Antibiotikaresistente Bakterien, die für Menschen und Tiere problematisch sind, verbreiten sich zunehmend auf dem Planeten. Mikrobiologen weisen sie längst sogar in Böden, Seen und Flüssen nach – auch in Deutschland.

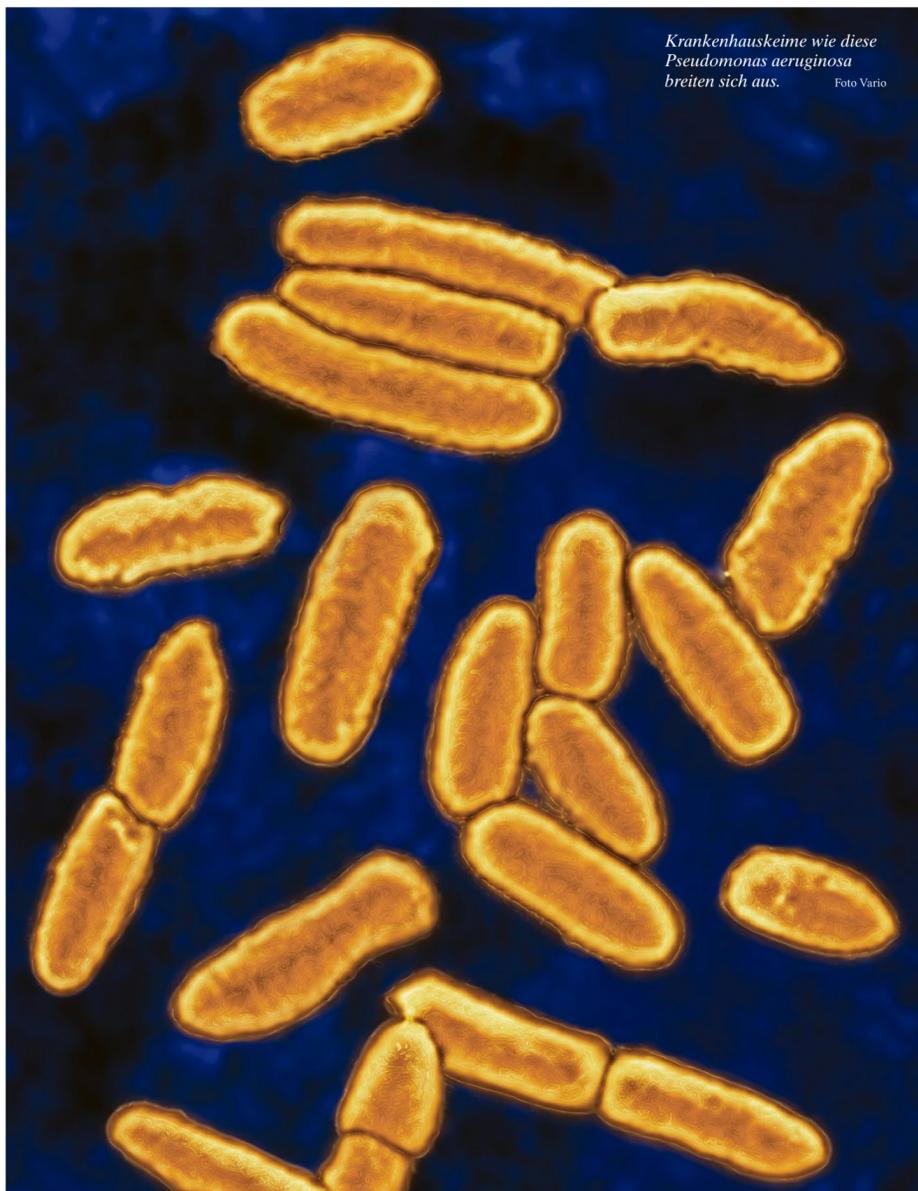
Ein Eintragungsweg ist Abwasser, weswegen 2016 der vom Bundesforschungsministerium geförderter Forschungsverbund gestartet wurde: HyReKA, das Kürzel für: Hygienisch-medizinische Relevanz und Kontrolle Antibiotika-resistenter Krankheitserreger in klinischen, landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern. Die beteiligten Wissenschaftler haben die vergangenen drei Jahre untersucht, ob und wie sich antibiotikaresistente Bakterien über das Abwasser ausbreiten, in der Umwelt verhalten und wie das verhindert werden kann. Bilanz gezogen wird heute und morgen in Berlin. „Es mag banal klingen, aber dort, wo viele Antibiotika eingesetzt werden, etwa in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen, entstehen auch antibiotikaresistente Bakterien“, erklärt Martin Exner, Hygienespezialist am Universitätsklinikum Bonn und Leiter des Verbundprojektes, „sie siedeln sich über die Ausscheidungen der Patienten in Waschbecken und Duschräumen sowie Toiletten an und stellen ein direktes, bislang fast vollständig übersehenes Infektionsreservoir für Patienten dar, da diese Bereich bislang nicht desinfizierend gereinigt werden. Zudem gelangen sie von dort über das Abwasser in die Umwelt.“

Krankenhäuser gelten schon lange als Brutstätte für resistente Bakterien. Evolution läuft dort in Echtzeit ab: Ärzte müssen hier zwangsläufig viele Antibiotika einsetzen, was einen großen Selektionsdruck auf Bakterien ausübt. Jene Bakterien, die empfindlich auf das Medikament reagieren, verschwinden. Solche aber, denen der Wirkstoff nichts anhaben kann, etwa aufgrund einer zufälligen Erbgutveränderung, haben nun beste Vermehrungsbedingungen. So ist das Risiko, sich mit solchen Bakterien zu infizieren, in Krankenhäusern auch am größten.

Allerdings gibt es noch andere Kontaminierungswege: Denn auch Kläranlagen sind ein Hotspot für resistente Bakterien. „Dort sammeln sie sich und werden weiter in die Umwelt verbreitet“, erklärt Thomas Schwartz, Mikrobiologe am Karlsruher Institut für Technologie. „Die derzeit in Deutschland üblichen Abwasserbehandlungsverfahren sind nicht dazu ausgelegt, diese unerwünschten Bakterien in ausreichendem Maße zu reduzieren beziehungsweise zu eliminieren.“

Einmal in der Umwelt gibt es vielfältige Wege zurück zum Menschen. Etwa über Klärschlamm, der als Dünger auf den Feldern und Pflanzen landet, beim Baden in Seen oder bei der Arbeit mit antibiotisch behandelten Nutztieren. „Es gibt Schätzungen, nach denen heute schon jeder zehnte Bundesbürger Träger solcher kritischen Bakterien ist. Bei einem gesunden Menschen ist das nicht problematisch. Aber bei älteren Menschen oder solchen mit einem geschwächten Immunsystem können die Bakterien schwer behandelbare bakterielle Krankheiten hervorrufen“, sagt Schwartz.

In Europa sterben pro Jahr rund 33 000 Menschen an einer Infektion mit antibiotikaresistenten Bakterien, in Deutschland sind es rund 2400. „Es gibt Hochrechnungen, nach denen 2050 mehr Menschen an solchen Infektionen sterben werden als an Krebs oder Diabetes“, so Schwartz. „Es wird eng“, sagt auch Exner, „denn für manche Bakterien, die zu Blutstrom-, Harnwegs-, Atemwegs- und Wundinfektionen mit hoher Sterblichkeit führen können, sind keine realistischen Antibiotika-Neuentwicklungen erkennbar.“ Im Rahmen des Verbundprojektes wiesen die Forscher im Klinikabwasser auch Antibiotikarückstände nach, die ebenfalls nicht gefiltert werden. Doch je mehr Antibiotika in die Umwelt gelangen, desto höher die Wahrscheinlichkeit für weitere resistente Bakterienarten und deren Verbreitung. Resistente Bakterien sind zunächst einmal ein natürliches Phänomen, und sie



Krankenhauskeime wie diese *Pseudomonas aeruginosa* breiten sich aus. Foto Vario

Gefährliches Abwasser

Was tun gegen immer mehr schädliche Keime?

Ein Projekt des Bundes legt jetzt offen, an welchen Stellen die größten Risiken für resistente Bakterien lauern und wer diese verursacht. Die Empfehlungen dürften die Debatte um neue Klärstufen anheizen.

Von Juliette Irmer

kommen überall in der Natur vor. Der verschwendereiche Antibiotikaverbrauch des Menschen macht die Anpassungsfähigkeit aber zum Problem: „Der Mensch beschleunigt die Evolution der Bakterien massiv“, sagt David Graham von der Universität Newcastle. Der Umweltmikrobiologe konnte kürzlich weithin gefürchtete Antibiotika-Resistenzgene in Spitzbergen nachweisen, und zwar in einer vom Menschen völlig unberührten Gegend – resis-

tente Stämme, die erst vor wenigen Jahren in einem Krankenhaus in Neu-Delhi neu entdeckt worden waren. Wahrscheinlich gelangten sie im Darm eines Vogels in die Arktis. Verschärft kommt hinzu, dass Bakterien ihre erworbenen Resistenzen über die Plasmide, transportable Erbgutsegmente, untereinander austauschen können, auch artübergreifend. Das kann in Kläranlagen oder im menschlichen Darm geschehen.

Die Partner des deutschen BMBF-Projektes empfehlen daher ein ganzes Bündel an Maßnahmen, um die Ausbreitung resistenter Bakterien zu verhindern. Den höchsten Handlungsbedarf sieht Exner in der Prävention im Krankenhaus. Durch baulich-funktionelle Maßnahmen in Patientenzimmern, etwa Toiletten ohne Spülrinnen und Waschbecken mit erhitzbaren Siphons, und die desinfizierende Reinigung dieser Bereiche könne man Kranken-

hausinfektionen effizient kontrollieren. Außerdem sollten ausgewählte kommunale Kläranlagen, die ein Sammelbecken unterschiedlicher Abwässer sind, mit Membranverfahren zur Reduktion resistenter Bakterien ausgestattet werden, was einer fünften Klärstufe entsprechen würde. „In Neu-Ulm existiert bereits eine Großkläranlage, die das Abwasser durch eine besonders feinporeige Membran filtert. Das Ergebnis ist sehr gut, ein Großteil der resistenten Bakterien wird zurückgehalten und gelangt dadurch nicht mehr in die Umwelt“, sagt Schwartz.

Das Umweltbundesamt engagiert sich seit Jahren für den Einsatz der vierten Klärstufe, also der Ozon-Anreicherung oder Kohlefiltration, die viele Mikroverunreinigungen wie Arzneimittelrückstände effektiv reduziert. „Es scheidet unter anderem an den Kosten, weil die Finanzierung der vierten Stufe noch nicht geklärt ist und die Bevölkerung nicht übermäßig belastet werden soll“, sagt Frank Brauer vom Umweltbundesamt. Dabei nehmen sich die Kosten für den Schutz der eigenen Gesundheit und des Grund- und Trinkwassers bescheiden aus: „Rund 20 Euro pro Mensch und pro Jahr würde die Einführung einer kombinierten vierten und fünften Reinigungsstufe schätzungsweise kosten“, sagt Schwartz.

Sinnvoll wäre dem Mikrobiologen zufolge auch die dezentrale Abwasser-Aufbereitung an Orten mit hohem Eintrag, also Krankenhäusern, Schlachtbetrieben, Flughäfen und Tierrastbetrieben. „Wir sollten außerdem Regularien und ein Monitoring-System einführen, das dem Vorsorge-schutz von Trinkwasserressourcen, Badegewässern und auch landwirtschaftlichen Nutzungsbereichen dient“, so Schwartz.

Auch der ungerechtfertigte Eintrag von Antibiotika müsse weiter reduziert werden, fordert Exner. Schon seit 2011 müssen Krankenhäuser und Tierzuchtbetriebe die Anwendungen von Antibiotika dokumentieren und offenlegen. Tier- und Humanmedizin haben sich mittlerweile angeglichen und verbrauchen rund 700 Tonnen pro Jahr. Laut Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit hat sich die Abgabemenge an Antibiotika in der Tiermedizin damit seit 2011 mehr als halbiert. „Die Talsohle ist allerdings bald erreicht“, sagt der Tiermediziner Stefan Schwarz von der Freien Universität Berlin. In der Humanmedizin gehen Experten davon aus, dass noch 30 Prozent der ambulant verschriebenen Antibiotika eingespart werden könnten.

Ein Streitpunkt zwischen Tier- und Humanmedizin sind sogenannte Reserve-Antibiotika – Substanzen, für die es zur Behandlung schwerer Infektionen beim Menschen keine oder kaum alternative Wirkstoffe gibt. Colistin etwa ist ein solches Reserve-Antibiotikum, das auch zur Bekämpfung von Darminfekten bei Schweinen und Hühnern eingesetzt wird. „Das ist äußerst kritisch, da Resistenzen gegen Colistin bereits in der Umwelt angekommen sind“, kritisiert Schwartz. Auch die Europäische Arzneimittel-Agentur fordert, den Colistin-Einsatz in der Nutztierhaltung zu senken.

„In der Tiermedizin gibt es derzeit keine echte Alternative zu Colistin“, sagt Schwarz, „und neue Antibiotika für die Veterinärmedizin sind nicht in Sicht.“ Colistin wurde vor 60 Jahren zugelassen und beim Menschen lange Zeit nicht eingesetzt. Weil viele herkömmliche Antibiotika ihre Wirkung verlieren, müssen Ärzte wieder zu Colistin greifen. Bei Infektionen mit Carbapenem-resistenten Bakterien ist das häufig die letzte Therapieoption mit erheblichen Nebenwirkungen.

Eine schnelle und einfache Lösung des Resistenzproblems existiert nicht, auch weil in den letzten Jahrzehnten kaum neue Antibiotika auf den Markt gekommen sind. Für Pharmafirmen ist die Entwicklung von Antibiotika aufgrund der raschen Anpassungsfähigkeit der Bakterien schon lange nicht mehr profitabel. Nun sind alternative Entwicklungs- und Finanzierungsmodelle gefragt, um die gesamtgesellschaftliche beziehungsweise globale Aufgabe zu meistern. „Noch können wir das Problem in Deutschland in den Griff bekommen“, sagt Schwartz, „aber wir sollten uns beeilen, sonst gewinnen die Bakterien.“

Junge Wasserwelt

Der Mars war einst keineswegs immer ein so knochentrockener lebensfeindlicher Planet, wie er sich uns heute darstellt. Es gab Flüsse, Seen und sogar einen Ozean, der einen großen Teil der Oberfläche bedeckte – und womöglich sogar Leben, das sich in den Gewässern tummelte. Würden Anhänger dieser These noch vor nicht allzu langer Zeit nur milde belächelt, zweifelt heute kaum noch ein Forscher ernsthaft daran, dass der Mars in seiner frühen Phase tatsächlich eine Wasserwelt war. Zu überzeugend sind die Indizien, die Raumsonden aus der Umlaufbahn oder Roboter auf der Oberfläche des Roten Planeten mittlerweile gesammelt haben. Verzweigte Strukturen, die an ehemalige Flussläufe erinnern, Sedimentablagerungen und Kieselsteine, wie man sie auf der Erde zuhauf in fließenden Gewässern findet, lassen der Phantasie freien Lauf. Einige der Flüsse könnten sogar breiter gewesen sein, als die größten Ströme auf der Erde und entsprechend gewaltige Wassermassen mitgeführt haben, glauben Wissenschaftler von der University of Chicago. Reichlich Belege dafür wollen Edwin Kite und seine Kollegen bei der Auswertung von Luftaufnahmen gut zweihundert ausgetrockneter Flussläufer gefunden haben, die Marssonden aus ihrer Umlaufbahn geschossen haben. Und sie haben noch eine weitere Überraschung auf Lager: Die feuchte Epoche des Mars habe gar nicht so lange zurückgelegen. Noch vor einer Milliarde Jahre seien beachtliche Wassermengen geflossen, behaupten die Forscher um Kite in der Zeitschrift „Science Advances“. Paradiesische Zustände also auch auf unserem Nachbarplaneten, als sich auf der Erde bereits komplexes Leben in den Meeren tummelte. Verwunderlich nur: Laut gängiger Szenarien hatte sich unser Nachbarplanet vor zwei Milliarden Jahren längst in einen unwirtlichen Wüstenplaneten verwandelt. Regen, der die vielen Flüsse hätte speisen können, fiel demnach schon lange keiner mehr. Die Marsatmosphäre war bereits viel zu dünn für Wolken geworden. Auch waren die Temperaturen auf dem Mars damals schon viel zu frostig für flüssiges Wasser. Für Kite und seine Kollegen sind diese auf Modellen beruhenden Befunde kein Grund zur Sorge. Sie vertrauen mehr ihren eigenen Analysen und bemühen Klimakapriolen als Erklärung ihrer Ergebnisse: So könnte ein Auslöser für Regengüsse das Abschmelzen der polaren Eiskappen gewesen sein. Das dabei freigesetzte Kohlendioxid und Wasserdampf hätten zu einem Treibhauseffekt und zur Erwärmung der Marsatmosphäre geführt. Die Forscher um Kite haben den Handschuh in den Ring geworfen. Nun seien die Klimamodellierer gefordert, zu erklären, woher das ganze Wasser gekommen sei. So einfach kann Forschung manchmal sein. Der Mars war schon immer eine dankbare Spielwiese, auch für die verrücktesten Thesen. mli

Fossiles Massengrab aus der Kreidezeit

Fossile Spuren des globalen Massensterbens am Ende der Kreidezeit haben amerikanische Paläontologen in der Hell Creek Formation in North Dakota entdeckt. In einer Schicht aus der Zeit vor 66 Millionen Jahren stießen die Forscher auf versteinerte Fische und Säugetiere, verkohlte Baumäste und zahlreiche Dinosaurierknochen und Ammoniten, berichten die „Proceedings“ der amerikanischen Nationalen Akademie der Wissenschaften. Die Tiere fielen der Flutwelle zum Opfer, die bei dem Einschlag des Chicxulub-Asteroiden vor der mexikanischen Halbinsel Yucatan ausgelöst hatte. Sie erreichte in kurzer Zeit den Norden Amerikas. In einigen Fossilien hat man geschmolzene Gesteinstropfen vom Einschlag gefunden. F.A.Z.

Communicator-Preis für Informatikerin

Der Communicator-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Stifterverbandes 2019 geht an die junge Informatikerin Katharina Anna Zweig von der Technischen Universität Kaiserslautern. Sie erhält die mit 50 000 Euro dotierte Auszeichnung für ihre Erfolge, die ethischen, politischen und gesellschaftlichen Auswirkungen des vermehrten Einsatzes von Algorithmen zu kommunizieren und auf vielen Kanälen zur Diskussion zu stellen. Die studierte Biochemikerin und Bioinformatikerin ist seit 2012 in Kaiserslautern tätig und schuf dort den deutschlandweit ersten Studiengang Sozioinformatik sowie die Bürgerinitiativ- und Plattform „Algorithm Watch“. Die Preisverleihung ist am 1. Juli in Rostock. F.A.Z.

An den Schnittstellen sind wir noch in der Steinzeit

Neuroroboter stehen zwischen Mensch und Maschine: Ihre Zeit ist erst angebrochen, moralische Fragen stellen sich aber schon massiv

Im Jahr 1950, sechs Jahre vor der inzwischen als Geburtsstunde der Künstlichen Intelligenz anerkannten Dartmouth Conference, stattete der britische Roboterforscher William Grey Walter zwei Maschinen mit einer Elektronik aus, die sie zu den ersten autonomen Robotern machte. „Machina speculatrix“ nannte er sie, heute würde man Neuroroboter dazu sagen.

Angelehnt an elektrische Vorgänge im Gehirn, aber damals noch analog verdrahtet, stattete er seine Roboter, die wegen ihrer Langsamkeit an Schildkröten erinnerten und von Walter „Elsie“ und „Elmer“ genannt wurden, mit einer lichtempfindlichen Nase aus. Die leitete die Roboter ohne jede Steuerung von außen zuverlässig zur Ladestation, sobald ihre Batterien wieder aufgeladen werden mussten. Fünfzig Jahre nach dieser öffentlichen Demonstration, im Jahr 2000, gab es schon



ZUKUNFT DES GEHIRNS

mehr Forscher und Fachartikel zur Neurorobotik, und doch wundert man sich aus heutiger Sicht, wo alle Fortschrittsaspekte so ungemein vertraut klingen – von der autonomen Robotik bis zum elektrischen Antrieb –, wie mager der wissenschaftliche Ertrag bis dahin war: Ganze 50 Veröffentlichungen jährlich zählt der KI-Forscher und Herausgeber des „Frontiers in Neurobotics“ Florian Röhrlin zu Beginn des Jahrhunderts. Vierzehn Jahre später waren es schon dreihundert. Und das Arbeitsgebiet wächst weiter rasant – an den Hoch-

schulen, in staatlichen Labors, in Kliniken und auch in der Industrie. Schon daran erkennt man: Neurorobotik ist inzwischen eine entscheidende Schnittstelle der Digitalisierung, in der Algorithmen und Technik ebenso Beachtung finden wie das Wissen um die Funktionsweise des menschlichen Gehirns.

Auf der ersten Veranstaltung unserer neuen Reihe „Das Gehirn der Zukunft“, das diese Zeitung zusammen mit der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung im „Cyber Valley“ in Tübingen veranstaltete, dokumentierte der inzwischen für Kärcher tätige Neurorobotiker Röhrlin deshalb auch das große wirtschaftliche Interesse an dem Gebiet. Surjo Soekadar von der Charité in Berlin schilderte die klinischen Ambitionen. Computer-Gehirn-Schnittstellen wurden schon Ende der neunziger Jahre durch den Tübinger Neurologen Niels Bir-

baumer für schwerstgelähmte ALS-Patienten entwickelt. Inzwischen arbeitet man erfolgreich an „rehabilitativen Hirnschnittstellen“, so Soekadar, die mit KI ausgerüstete Exoskelette steuern, die Hirnfunktionen kompensieren wie auch rückwirkend die Hirntätigkeit stimulieren – und so nach Überzeugung des Berliner Forschers „einen wichtigen Beitrag zur Lebensqualität liefern“.

Cyborgs sind wir deswegen morgen noch lange nicht. Im Gegenteil: Soekadar ist überzeugt, dass „wir an den Schnittstellen von Hirn und Maschine zwar „enormes Potential haben, aber heute noch in der Steinzeit sind“. Nicht grundlegend anders sieht das Daniel Häufle, der Tübinger Birobotiker, der den Automaten buchstäblich das Gehirn beibringen möchte. Er schilderte die Schwierigkeiten, die Roboter haben, das Muskelskelettsystem des

Menschen biomechanisch nachzuahmen. Wie wichtig es freilich werden könnte, den Menschen zu simulieren, machte die Technikphilosophin Catrin Misselhorn deutlich, die inzwischen in Göttingen tätig ist. Ihre „Maschinenethik“ wird, das hat der Abend in Tübingen gezeigt, künftig immer bedeutender. Dabei geht es nicht nur um die Frage, ob Roboter etwa im zunehmend wichtigen Pflegektor moralische Akteure sein können, sondern um sehr grundlegende ethische Debatten, die künftig noch zu führen sind. Es wird um selbstbestimmtes Leben gehen, aber auch um Verantwortung automatisierter Systeme. „Heute ist es schwer vorherzusehen“, so Misselhorn, „welche moralischen Werte wir künftig anlegen“ – was in der Welt der Automaten noch moralisch als akzeptabel gelten soll. Die Debatte darum hat erst begonnen. JOACHIM MÜLLER-JUNG

Rettung für undichte Quantenbits

Auch Quantencomputer unterlaufen Rechenfehler, etwa wenn Informationen in höhere Quantenzustände enteilen. Hilfe verspricht nun ein Algorithmus. Seite N2

Übersetzen heißt nicht zu viel verraten

Wie bringt man Theorie (der Sorte ohne Artikel und Gegenstand) aus einer Sprache in die andere? In Berlin berieten Praktiker über diese esoterische Frage. Seite N3

Finanzfragen first

Der Hochschulpakt wird die Universitäten über Jahre hinweg prägen. Warum redet man in den laufenden Verhandlungen fast nur über Geld? Seite N4