

Nachteile mit sich. Abgesehen von den bereits angedeuteten Mangelerscheinungen durch die geringere Aufnahme von Proteinen, Vitaminen und Eisen aus tierischer Kost litten viele Menschen der späten Steinzeit nun plötzlich auch an Karies – eine Erkrankung, die bei den umherziehenden Jägern offenbar weitgehend unbekannt war.

Zahnfäule stellte aber bei Weitem nicht die schlimmste Bedrohung dar, der sich die vorzeitlichen Siedler im fruchtbaren Halbmond ausgesetzt sahen. Die weitaus größere Gefahr ging von den domestizierten Tieren aus, die nun in enger Gemeinschaft mit ihren menschlichen Mitgeschöpfen lebten. Viele Beispiele belegen inzwischen Fälle, in denen Mikroorganismen, die eigentlich auf einen tierischen Wirt spezialisiert sind, auf den Menschen übertragen werden. Genau so kam es wohl auch zur Entstehung der dramatischen Coronavirus-Pandemie, die vermutlich im Herbst 2019 auf einem Markt im chinesischen Wuhan ihren Ausgang nahm.

Die mit *Mycobacterium tuberculosis* verwandte Bakterienart *Mycobacterium bovis* befällt vor allem Rinder und scheint sich offenbar erst im Zuge der Domestizierung entwickelt zu haben.<sup>8</sup> Es ist eher die Regel als die Ausnahme, dass Infektionserreger, die sich zunächst auf eine bestimmte Art von Wirtsorganismus konzentrieren, irgendwann auch auf andere Tiere oder den Menschen überspringen. Das ist naheliegender, als es zunächst scheint. Ein Bakterium muss gewisse Eigenschaften haben, um seinen bevorzugten Wirt zu infizieren, vielleicht kann es an eine bestimmte Oberflächenstruktur auf den Zellen der oberen Atemwege besonders gut andocken und sich dort etablieren. Nun sind die Oberflächen dieser Zellen bei – sagen wir – Kühen und Menschen zwar unterschiedlich beschaffen, weichen aber nicht unbedingt komplett voneinander ab. Wenn es nun bei ständigem Kontakt zwischen Mensch und Haustier auch zu einem mehr oder weniger regelmäßigen Austausch von Bakterien kommt, sind bei der Vielzahl der Mikroorganismen, die beispielsweise ein Rind abgibt, eben auch solche dabei, die sich zufällig sogar leichter an die menschliche Zelloberfläche anheften können als an die tierische. Genau diese Bakterien sind dann in der Folge besser an den neuen Wirt angepasst, vermehren sich dementsprechend schneller und geben dabei die genetische Information zum Andocken an ihre Nachkommen weiter. Dieser Effekt, der praktisch lehrbuchhaft die Darwin'sche Evolutionstheorie widerspiegelt, hat jedoch eine dramatische Konsequenz für den neuen, menschlichen Wirtsorganismus, denn ein neuer Infektionserreger kann – heute wie vor zehntausend Jahren – von den schärfsten Waffen des Immunsystems nicht abgewehrt werden. Es ist nicht ganz klar, ob zunächst der Mensch »seine« Kühe mit Tuberkulose infiziert hat, oder ob es genau umgekehrt war (viele spricht allerdings für den ersten Fall, da das

menschliche Tuberkulosebakterium entwicklungsgeschichtlich älter ist als der Erreger der Rindertuberkulose). Unstrittig ist, dass die Tuberkulose erst durch das neuartige Zusammenleben von Tieren und Menschen nach der neolithischen Revolution zu der massenhaften Seuche geworden ist, die sie seitdem darstellt.

## **Krieg der Welten**

Dass wir Infektionserregern nicht schutzlos ausgeliefert sind, verdanken wir unserem Immunsystem, das sich in zwei Verteidigungslinien formiert hat: Die erste Abwehrlinie bilden spezialisierte Blutzellen, etwa die Lymphozyten, die durch natürlich vorkommende, antimikrobielle Substanzen unterstützt werden. Diese Immunantwort ist angeboren und dient im Wesentlichen dazu, als körperfremd erkannte Zellen und Substanzen (Mikroorganismen, aber auch Tumorzellen oder Proteine) zu inaktivieren beziehungsweise zu entfernen. Man kann davon ausgehen, dass auf diese Weise bereits neunzig Prozent aller Infektionen buchstäblich »im Keim erstickt« werden.<sup>9</sup> Die restlichen zehn Prozent übernehmen dann die Komponenten des erworbenen Immunsystems. Das zentrale Element dieser zweiten Verteidigungslinie sind Antikörper, die nach dem Erstkontakt mit einem Infektionserreger gebildet werden und dort an Oberflächenstrukturen andocken können. Einmal auf diese Weise »markiert«, werden Mikroben beispielsweise von Fresszellen eliminiert. Andere Antikörper verhindern, dass Keime ihre Zielzellen erkennen, oder lassen sie einfach verklumpen, weil sie mehr als eine Andockstelle für die mikrobielle Zelle besitzen. Nicht immer können Krankheitserreger sicher erkannt werden, denn viele Keime haben Mechanismen entwickelt, um das Immunsystem auszutricksen. Der Tuberkuloseerreger etwa geht dabei besonders perfide vor: Er versteckt sich ausgerechnet in den Fresszellen, die ihn eigentlich ausschalten sollen. Dadurch bleibt er für das Immunsystem so lange unsichtbar,<sup>10</sup> bis ein günstiger Zeitpunkt gekommen ist zuzuschlagen.

Die steinzeitlichen Jäger und Sammler hatten, anders als ihre sesshaften Nachfahren – nur sporadisch Kontakt mit ihrer Beute, zu kurz jedenfalls für den intensiven Austausch von Mikroorganismen und deren Anpassung an den Menschen. In den späteren Siedlungen wie Atlit-Yam sah das schon ganz anders aus: Die Siedler dort hatten ihre Hütten aneinandergelagert, verbrachten viel Zeit miteinander und natürlich auch in unmittelbarer Nachbarschaft zu ihren Haustieren.

Allerdings waren diese Dörfer nicht nur Orte für Menschen und Tiere, sondern auch für deren Fäkalien- und Abfallgruben. Und diese wiederum entwickelten sich zu wahren Brutstätten für Keime und Infektionsherde.

Die Dörfer wuchsen und wuchsen. Die umherziehenden Ahnen der Siedler hatten noch sicherstellen müssen, dass ihre Kinder in der Lage waren, ihnen auf der Wanderschaft zu folgen, was schlicht bedeutete, dass eine Frau erst dann wieder ein Baby bekam, wenn das Geschwisterchen bereits selbst laufen konnte. Bei den frühen Bauern aber verdoppelte sich nun die Geburtenfrequenz: Statt alle vier Jahre ein Kind zu bekommen, wurden die Frauen der Jungsteinzeit etwa alle zwei Jahre erneut schwanger, mit der Konsequenz, dass erstmals deutlich mehr Menschen geboren wurden als starben. Menschen, die natürlich Siedlungsraum beanspruchten, ernährt werden mussten – und ihren Unrat hinterließen.<sup>11</sup>

Dabei scheinen die jungsteinzeitlichen Siedler keineswegs unhygienisch gewesen zu sein. Vieles deutet darauf hin, dass die Bewohner der primitiven Behausungen des Neolithikums ihren Dreck mit Reisigbesen vor die Tür kehrten und den Dachüberstand draußen als Toilette wählten. In der schottischen Siedlung Skara Brae auf den Orkney Inseln, deren Steinhäuser vor etwa fünftausend Jahren von vielleicht fünfzig Menschen bewohnt waren, hatte sehr wahrscheinlich sogar jedes Haus seine eigene Toilette. Es ist faszinierend, dass die Bauernhäuser auf den Hebriden noch bis ins 20. Jahrhundert nach dem gleichen Muster eingerichtet wurden: Um eine zentrale Feuerstelle gruppieren sich zwei von mehreren Familienmitgliedern gemeinsam genutzte Betten, es gab einen Schrank mit Regalfächern, und ein in den Boden eingelassenes Becken hielt vermutlich den Fang der Woche lebendig und frisch. Sogar eine zentrale Abwasserentsorgung in Form einer Drainage scheinen die Menschen von Skara Brae angelegt zu haben.<sup>12</sup>

Die Toilette *en suite* war zur damaligen Zeit allerdings kein schottisches Privileg. Auch in einzelnen Häusern im türkischen Catal Hüyük, einer anatolischen Siedlung, die um 7000 v. Chr. ihre Blütezeit erlebte, fanden Archäologen »Örtchen«, die am ehesten als Latrine zu deuten sind. Offensichtlich entsorgten die Bewohner die menschlichen Exkreme von dort auch regelmäßig, allerdings auf eine eher zweifelhafte Art und Weise: Sie schütteten daraus Abfallhaufen auf, in deren Mitte nicht selten neue Hütten errichtet wurden – womöglich aus Gründen der Isolation und Stabilität.<sup>13</sup> Es scheint also, als hätten unsere jungsteinzeitlichen Vorfahren sehr wohl über eine Art rudimentäres Hygieneverständnis verfügt, es jedoch aus Unwissenheit nicht immer zielführend umgesetzt. So sorgten sie etwa nicht für eine strikte Trennung von ihren Ausscheidungen, die wiederum über den Kontakt mit

Trinkwasser oder Nahrung ein erhebliches Infektionsrisiko in den Siedlungen darstellten.

Als schließlich die ersten Städte gegründet wurden, erwiesen sich die Umstände für die massenhafte Ausbreitung von Seuchen als noch günstiger. Und es bildeten sich bald wahre Metropolen: Die Stadt Uruk in Mesopotamien beherbergte um 3000 v. Chr. bereits mehr als zwanzigtausend, vielleicht sogar vierzigtausend Menschen. Die Einwohner dort und anderswo lebten auf engstem Raum zusammen, es wurden Zisternen und Brunnen für die Trinkwasserversorgung angelegt, die jedoch in keiner Weise vor dem Kontakt mit den Abwässern geschützt waren.<sup>14</sup> Auf diesem Weg gelangten mit der Gülle der Haustiere und den menschlichen Exkrementen viele Infektionserreger ins Trinkwasser, etwa Band- und Spulwürmer, Bakterien, die Typhus oder Cholera brachten, und Viren. Zudem bildeten die Wasserreservoirs eine Brutstätte für Mückenarten, die Malaria, aber auch virale Erreger übertrugen – und selbstverständlich breiteten sich diese Infektionen rasant aus. Schließlich muss noch eine weitere Gruppe von »Stadtbewohnern« erwähnt werden: die Mäuse und Ratten, die sich in den neugegründeten Städten vermutlich millionenfach tummelten. Die Ratte sollte bei den Pestepidemien der folgenden Jahrtausende eine besonders unheilvolle Rolle spielen. Sie gelangte später über Handelsrouten in der gleichen Geschwindigkeit in weit entfernte Regionen und Orte wie die Güter, mit denen sie unbeabsichtigt transportiert wurde.

Die Tuberkulose ist also bei Weitem nicht die einzige mikrobielle Gefahr, die die Menschheit seit dem Neolithikum bedroht. Nachdem Robert Koch im 19. Jahrhundert den »Tuberkelbazillus« als Erreger der Krankheit identifiziert und damit überhaupt Mikroorganismen als Ursache vieler Seuchen und Krankheiten entlarvt hatte (Pocken, Pest und Cholera kosteten weit mehr Menschen das Leben als alle Kriege zusammen), erkannte man auch die Bedeutung von Desinfektion und Sterilisation, und bereits ein halbes Jahrhundert später wurde mit dem Penicillin *die* Wunderwaffe gegen Infektionen schlechthin entdeckt. Überhaupt wurden bei der Bekämpfung der Seuchen im 19. und 20. Jahrhundert Siege in einer Geschwindigkeit errungen, von der die Menschen der Jungsteinzeit nur träumen können. Denn da über Keime, Infektionswege und Hygiene so gut wie nichts bekannt war, blieb ihnen nichts anderes übrig, als auf die natürlichen Abwehrmechanismen zu vertrauen.

Seit Beginn des Lebens auf der Erde tobt der Kampf zwischen den Organismen. Die Strategien in diesem Gegeneinander aber sind so vielfältig wie die Evolution selbst. Das Immunsystem der Tiere etwa stellt eine Strategie dar, die sich

gewissermaßen auf zwei Verteidigungslinien stützt. Recht früh in der Stammesgeschichte entwickelten sich Mechanismen der angeborenen Immunität. Dazu gehören Barrieren wie die Haut und die Schleimhäute, die mehr oder weniger rein physikalisch das Eindringen von Krankheitserregern in tiefere Gewebe und Organe verhindern sollen. Daneben gibt es ungezielte Mechanismen in Form von antimikrobiellen Molekülen, die zum Beispiel in unseren Hautzellen gebildet werden, oder allgemeine Entzündungsreaktionen, in deren Verlauf bestimmte Typen von weißen Blutkörperchen Mikroorganismen über die Phagozytose, eine Art von zellulärem Fressvorgang, aus dem Weg räumen. Diese Art der Immunantwort ist sehr schnell (sie beginnt innerhalb weniger Minuten nach einem mikrobiellen »Angriff«), aber nicht anpassungsfähig und selektiv. Einmal angelegt, ist die angeborene Immunabwehr nicht in der Lage, sich auf neue Gefahren einzustellen, die mit den vorhandenen Gegenmaßnahmen unter Umständen nicht beseitigt werden können. Glücklicherweise kommt mit der Entwicklung der Wirbeltiere die zweite Verteidigungslinie ins Spiel, die als adaptive Immunabwehr bezeichnet wird. Wie der Name schon sagt, findet hier eine Anpassung an neue Herausforderungen statt, und es wird zudem möglich, bereits bekannten Gefahren schneller, effektiver und gezielter zu begegnen. Obwohl nun die generelle »Erfindung« der adaptiven Immunantwort entwicklungsgeschichtlich ebenfalls lange zurückliegt, geht man heute davon aus, dass das menschliche Immunsystem maßgeblich durch die dramatischen Wendungen der neolithischen Revolution geprägt ist. In einem Dorf wie Atlit-Yam mussten die Jüngsten ganz selbstverständlich auch mit anpacken, und eine typische Aufgabe für die Kinder der frühen Siedler war das Hüten der Ziegenherden, was ihnen einen regelmäßigen und intensiven Kontakt zu den Tieren verschaffte. Vor allem aber ihre jüngeren Geschwister, die bei den Müttern in den Hütten blieben, atmeten praktisch mit dem ersten Tag ihres Lebens weniger die frische Luft des Mittelmeers als vielmehr den Staub der Kühe ein, die aufgrund der Wärme, die sie abgaben, gleich nebenan untergebracht waren. Nicht umsonst sind die meisten einfachen Behausungen bis in die Neuzeit so angelegt, dass sich Stall und Wohnräume unter einem Dach befinden.

Das intensive Zusammensein mit ihren Haustieren stellte die Menschen der Jungsteinzeit vor die große Herausforderung, mit neuen Krankheiten umzugehen, bescherte ihnen aber auch die bahnbrechende Chance, sie zu besiegen – mithilfe ihrer ureigenen, biologischen Ausstattung. Schließlich ist das Immunsystem der höheren Lebewesen in der Lage zu lernen, und so nutzte es den Kontakt mit Keimen, die von den Rindern in den Stallmist und in den Staub der Hütten gelangten, um Fresszellen und Antikörper zu bilden, die die Gefahr durch die neuen