

*Dr. med. Michael Hauch und Regine Hauch*



**IHR  
UNBEKANNTES  
SUPER  
ORGAN**

*Alles über  
das Immunsystem*

**BELTZ**

festgestellt. Die Bakterien sind überwiegend harmlos, die Forscher vermuten aber, dass einige der Plazentabewohner über die Nabelschnur zum Kind gelangen und vielleicht schon mal beginnen, ein bisschen mit den ersten Zellen des embryonalen Immunsystems zu spielen und das System dadurch aufzubauen.

Bereits in der 13. Schwangerschaftswoche ist das Immunsystem, das auf diese Weise entsteht, arbeitsfähig und ausgerüstet für spezielle Aufgaben im Verlauf der Schwangerschaft, das hat der Immunologe Florent Ginhoux von der Universität Singapur herausgefunden. Während im reifen Immunsystem die dendritischen Zellen die Arbeit der T-Zellen koordinieren, indem sie den unreifen T-Zellen fremde Antigene präsentieren und sie damit »scharf« machen, aktivieren sie im ungeborenen Kind regulatorische T-Zellen, die eher die Immunabwehr unterdrücken, zum Beispiel gegen mütterliche Zellen. So kann ein fremdes Wesen friedlich im Bauch der Mutter heranwachsen. Wie das Zusammenspiel der Immunzellen funktioniert, erklären wir genauer im nächsten Kapitel.

## Gut ausgerüstet für den Sprung ins Leben

In den neun Monaten der Schwangerschaft bilden sich nicht nur unsere Organe heraus, sondern auch ein Teil unseres sogenannten angeborenen Immunsystems, eine Art Basisausstattung des gesamten Immunsystems, eine Rüstung für alle Fälle. Dieses angeborene Immunsystem ist weitgehend in unseren Erbinformationen festgelegt, also fix und fertig und bereit, loszulegen mit seiner Arbeit, wenn wir geboren werden. Einige Teile entwickeln sich während und nach der Geburt.

Um das angeborene Immunsystem ein wenig kennenzulernen, machen wir eine Tour durch unseren Körper. Wir beginnen außen, gehen dann nach innen, in die Blutbahnen, in die Organe und ins Gewebe. Manches erkennen wir mit bloßem Auge, manches nur mit dem Mikroskop und mithilfe von Tests.

### *Handfester Schutz: Haut und Haare*

Unser angeborenes Immunsystem besteht zunächst aus mechanischen und physikalischen Barrieren, also ganz handfesten Schutzwällen. Hier wird nicht lange gefragt, um welchen Erreger es sich handelt, hier wird einfach nur alles Fremde abgewehrt.

Der äußerste Schutzwall ist unsere Haut, genauer gesagt: die oberste Hautschicht und die Schleimhäute. Bei Neugeborenen sind Haut und Schleimhäute noch ganz dünn, aber ihre Schutzwallfunktion können sie trotzdem schon ausüben. Zu dem physikalischen Schutz unseres angeborenen Immunsystems gehört aber mehr als nur die Haut.

Unsere Augenlider können wie Scheibenwischer am Auto mit einer kleinen Bewegung Erreger von unserer Bindehaut wischen. In unseren Atemwegen sitzen wimpernartige Flimmerhärchen, die Krankheitserreger mittels Schleim einfangen und wie auf einem Förderband nach oben in Richtung Kehlkopf durchwinken. Dann haben wir die Wahl: unauffällig runterschlucken und die Erreger von der Magensäure töten lassen. Oder hochwürgen und ausspucken, was man aber besser nur in Kulturen tun sollte, in denen Spucknäpfe zur Wohnungseinrichtung gehören, etwa in China.

### *(Bio-)Chemische und biologische Verteidigung*

Die Magensäure gehört zur chemischen Abwehr unseres angeborenen Immunsystems. Sie tötet die schädlichen Bakterien in unserer Nahrung, was gerade für uns Allesfresser besonders wichtig ist. Wie wichtig, das hat eine Studie von Wissenschaftlern am University College in London untermauert. Die Wissenschaftler überprüften an über 560 000 Patienten, inwieweit sich deren Darmflora unter Einnahme von Säureblockern veränderte. Das Ergebnis: Die Säureblocker gegen Sodbrennen, die allein hierzulande im Jahr 2015 fast 14 Millionen Menschen verordnet und in 3,7 Milliarden Tagesdosen geschluckt wurden, vervierfachten das Risiko für eine Infektion mit dem Keim *Campylobacter*, den man häufig im Geflügel findet. Auch das Risiko für einen bakteriell bedingten Durchfall ging deutlich nach oben ohne den Schutz durch die Magensäure. Der Schleim in unseren Atemwegen und auch im Darm, unsere Tränen und unsere Spucke sind biochemische Waffen. Letztere enthält winzige Eiweißmoleküle, sogenannte Lysozyme, die Erreger töten oder dafür sorgen, dass sie sich in ihnen nicht oder nur schwer ausbreiten können.

Andere wehrhafte Eiweißmoleküle, die bereits genannten Defensine, sitzen auf der Haut, den Schleimhäuten und im Darm und hemmen oder zerstören dort schädliche Bakterien, Viren und Pilze, indem sie deren Zellwände zerstören. Sie wirken wie körpereigene Antibiotika.

Zur biologischen Verteidigung gehört die Bakterienlandschaft, die sich schon in den ersten Lebensstunden und -tagen auf der Haut, im Darm und bei Mädchen in der Vagina bildet. Nützliche Bakterien

besetzen jedes freie Plätzchen und verhindern dadurch, dass sich Krankheitserreger vermehren und Schaden anrichten können. Wir kommen im Kapitel 3 darauf zurück.

## Frisch aus der Zellfabrik – wie uns unsere Zellen helfen

Das Knochenmark, eine Zellfabrik, kann vom ersten Lebenstag an Scharen roter und weißer Blutkörperchen und -plättchen produzieren, die in unserem Blut herumschwimmen und in unserer Lymphe, einer Transportflüssigkeit für Immunzellen, Nähr- und Abfallstoffe aller Art, die sich aus der Gewebeflüssigkeit zwischen den Zellen unseres Körpergewebes und unserer Organe bildet. Obwohl die roten und weißen Blutkörperchen sich äußerlich nicht ähneln und obwohl sie für unseren Körper völlig unterschiedliche Dienste verrichten, sind sie eng miteinander verwandt. Sie stammen von einer einzigen Alleskönner-Orzelle ab, von der sogenannten hämatopoetischen Stammzelle (s. Seite 56).

Die roten Blutkörperchen sind nichts anderes als Sauerstofftaxi. Die weißen Blutkörperchen, die Leukozyten, sind Teil unseres Immunsystems, sie erledigen den Großteil unserer Immunabwehr. Von den Leukozyten gibt es mehrere Unterarten. Es gibt die Lymphozyten mit den B-Zellen und den T-Zellen, die zum adaptiven Immunsystem gehören, das wir uns später genauer anschauen werden. Und es gibt die Granulozyten und Monozyten sowie die aus ihnen hervorgehenden Makrophagen, die zum angeborenen Immunsystem gehören. Alle drei sind Fresszellen und zugleich Wächterzellen. Und dann gibt es noch die natürlichen Killerzellen. Sie ähneln äußerlich Lymphozyten, gehören aber ebenfalls zum angeborenen Immunsystem.

Granulozyten, Makrophagen und natürliche Killerzellen kurven den ganzen Tag in unserem Körper herum und schauen, ob alles in Ordnung ist. Wenn sich irgendwo eine Entzündung breitmachen will, wenn wir uns in den Finger schneiden oder aufs Knie fallen, aber auch wenn sich plötzlich Krebs in unserem Körper entwickelt, erkennen und melden das die aufmerksamen Wächterzellen. Dabei helfen ihnen spezielle Eiweißstrukturen auf der Zelloberfläche. Sie heißen bei Wirbeltieren MHC (Major Histocompatibility Complex, also Hauptgewebeverträglichkeitskomplex). Bei Menschen spricht man auch von HLA (Human Leukocyte Antigen oder menschliches Leukozytenantigen), insbesondere im Zusammenhang mit Transplantationen (s. Kap. 10). Diese Eiweißstrukturen sind bei jedem Menschen etwas anders, sodass es sie in mehreren Millionen

unterschiedlichen Gestalten gibt. Die MHC sitzen nicht nur auf den Leukozyten, sondern auf allen kernhaltigen Zellen unseres Körpers. Rote Blutkörperchen besitzen keinen Zellkern, dort sind sie also nicht zu finden.

Malariaerreger nutzen diese Lücke im Immunsystem auf perfide Weise aus. Sie setzen sich in den roten Blutkörperchen fest, wo sie kein MHC verrät – das perfekte Versteck. Zum Glück kennen die meisten anderen Krankheitserreger diesen Trick nicht. Sie dringen in Leukozyten und andere kernhaltige Zellen ein und fallen dort irgendwann unangenehm auf. Und das passiert so: Dringt zum Beispiel ein Virus in die Zelle ein oder baut sie sich zu einer Krebszelle um, ändert sich auch der MHC auf der Zelloberfläche. Der MHC funktioniert also wie ein kleiner Überwachungsmonitor. Auf diesem Monitor zeigt die Zelle, was sich in ihr abspielt. Sie kann hier dokumentieren, dass sie eine körpereigene Zelle ist und gerade ihren normalen Aufgaben nachgeht, dass es ihr heute gut geht, dass alles in Ordnung ist. Sie kann aber auch Katastrophenalarm auslösen: Hilfe! Meine Zellwand wird gerade von irgendetwas Scharfem zerschnitten. Oder: Vorsicht! Ich bin von Viren gekapert worden. Jetzt muss ich Viren nachbauen.

Sobald eine solche Meldung raus ist, kommen weiße Blutkörperchen zur Hilfe. Die ersten, die am Einsatzort ankommen, geben Zytokine ab – die Botenstoffe, die die Durchblutung fördern und weitere Immunzellen anlocken. Wir können das sehen: An der Wunde oder dort, wo Bakterien oder Viren versuchen, das Kommando zu übernehmen, wird das Gewebe rot und heiß. Die Blutgefäße weiten sich und werden auch ein bisschen undicht, um die hinzueilenden Hilfstruppen möglichst schnell und möglichst dicht an ihren Einsatzort zu transportieren. Zudem wird Schutzschleim produziert, der uns dann zum Beispiel bei Erkältungskrankheiten die verstopfte Nase und Husten einbrockt.

Es gibt Leukozyten, die fremde Stoffe wie Eiweiße oder Gifte unschädlich machen. Andere Leukozyten fressen unsere Feinde: Krankheitserreger wie Viren, Bakterien, Pilze oder Parasiten. Wieder andere transportieren tote Zellen und Giftstoffe ab. Und dann gibt es noch Spezialisten, die bei Wunden Stoffe ins Blut kippen, die die Blutung stoppen oder schon mal mit dem Wiederaufbau der Haut beginnen.

Um welche der vielen Arten von weißen Blutkörperchen es sich handelt, kann der Arzt anhand ihrer Größe, Form und Färbung erkennen, wenn er einen Blutstropfen anfärbt und unter sein Mikroskop legt. Heute nimmt die Ärztin oder der Arzt auch immunologische (Färbe-)Methoden zu Hilfe. Hierbei ist beispielsweise ein Farbstoff an einen spezifischen Antikörper gekoppelt. Dadurch wird

es möglich, die unter dem Lichtmikroskop gleich aussehenden Zellen noch genauer zu unterscheiden.

## *Granulozyten: die erste Verteidigungslinie*

Bei gesunden Neugeborenen ist unter dem Mikroskop zum Beispiel zu sehen, dass zwei Drittel aller Leukozyten Granulozyten sind. Bei Erwachsenen liegt der Granulozytengehalt innerhalb der Leukozytengemeinde zwischen 40 und 75 Prozent. Unter den Granulozyten bilden wiederum die neutrophilen Granulozyten die Mehrheit.

Neutrophil nennt man diese kugelförmigen Blutkörperchen, weil sie im Blutausschlag gleich stark auf Säuren und Basen reagieren, somit also neutral sind.

Neutrophile Granulozyten sind eine Art Fahnder, zugleich stellen sie die erste Verteidigungslinie dar, wenn es gegen Bakterien geht. Gebildet werden sie wie alle Vorläuferzellen im Knochenmark, von dort aus schwimmen sie durch das Blut in die Räume zwischen den Organen, Geweben und einzelnen Zellen und beziehen dort ihre Beobachterposten. Manche bleiben auch im Blut und cruisen auf der Suche nach Eindringlingen, die sie vernichten können. Sobald sie schädliche Mikroorganismen entdeckt haben, fressen sie sie auf und verdauen sie. Die Kügelchen in ihrem Zelleib, Granula, denen sie auch ihren Namen verdanken, enthalten Enzyme und Giftstoffe, die die Krankheitserreger abtöten. Die neutrophilen Granulozyten schicken diese Enzyme und auch Botenstoffe in die Umgebung, damit sie dort so viele Erreger wie möglich schädigen und zugleich weitere Abwehrzellen zu Hilfe rufen.

Geradezu genial ist aber eine andere Fähigkeit der neutrophilen Granulozyten. Mit Material aus ihren Zellkernen können sie Netze weben, die sie mit jeder Menge Giften aus ihren Granula spicken. Während wir vielleicht gerade leicht benommen von einer Infektion auf dem Sofa liegen, schwimmen diese Netze (NET: Neutrophil Extracellular Traps oder neutrophiläre außerzelluläre Fallen) als tödliche Klebefallen für Bakterien, Viren und Pilze durch unsere Körperflüssigkeiten, fischen Erreger ab und sorgen dafür, dass wir bald wieder auf die Beine kommen.

Neutrophile Granulozyten leben nur sehr kurz, gerade mal drei bis fünf Tage. Weniger als 24 Stunden ihres kurzen Lebens verbringen sie in der Blutbahn, dann wandern sie irgendwo ins Gewebe ein und schauen dort nach Feinden, die sie bekämpfen können. Nach