



# ENTZÜNDUNG – DIE STILLE BEDROHUNG

# Was ist Entzündung?

Ohne Entzündungsreaktionen könnten wir nicht leben. Sie sind ein im Menschen (und sehr vielen anderen Lebewesen) angelegter Verteidigungs- und Reparaturprozess.

Mit diesen schützen wir uns nicht nur gegen eine Reihe an äußeren, sondern auch vor vielen gefährlichen inneren Faktoren. Außerdem spielen Entzündungsreaktionen bei vielen Erkrankungen eine wichtige Rolle. Selbst viele Ärzte wissen nicht, dass neben körperlichen Erkrankungen wie Herzinfarkt oder Krebsleiden gerade auch psychische Erkrankungen mit deutlicher Entzündung einhergehen. Es kann sogar so weit gehen, dass die eigentlichen Beschwerden vor allem durch die Entzündungsreaktionen ausgelöst werden, wie z. B. bei Autoimmunerkrankheiten oder Allergien.<sup>2</sup>

Im Folgenden wird erläutert, was nun eigentlich eine Entzündung ist. Dabei gehe ich auf komplexe zelluläre und molekulare Aspekte ein, die für ein detailliertes Verständnis hilfreich sind, aber notwendigerweise auch mit medizinischem Jargon einhergehen. Deshalb, liebe Leserin und lieber Leser, möchte ich Sie vorwarnen: Gehen Sie bitte nicht davon aus, dass das gesamte Buch so geschrieben ist. Das ist nicht der Fall.

Was nun die medizinischen Grundlagen von Entzündungen angeht, sehe ich drei Möglichkeiten:

- Erstens, Sie wagen sich gemeinsam mit mir an dieses komplexe Thema heran.
- Zweitens, Sie überfliegen einige der komplexeren Beschreibungen und schütteln wie ich den Kopf darüber, wie detailliert die moderne Medizin geworden ist.
- Drittens, Sie überspringen die Ausführungen mit den vielen Fachausdrücken und machen dort weiter, wo es weniger medizinisch-detailliert ist.

Das Buch lohnt sich, versprochen!

## Ein kurzer Blick in die Medizingeschichte

Für die Entdeckung und Erforschung der Entzündung stehen vor allem die Namen dreier Männer: Celsus, Galen und Cohnheim. Obwohl Entzündungsprozesse schon

in Ägypten und Griechenland beschrieben worden waren, so war es der Römer Aulus Cornelius Celsus (ca. 25 vor Chr. – 50 nach Chr.), der die vier Hauptsymptome einer Entzündung systematisch zusammenfasste. Das sind Wärme, Rötung, Schwellung und Schmerz (lateinisch: calor, rubor, tumor, dolor). Um Ihnen zu zeigen, wie richtig seine Beschreibung ist, stellen Sie sich bitte einmal Folgendes vor: Sie gehen an einem schönen sonnigen Tag barfuß spazieren (Seite 85). Dabei haben Sie das Pech, von einer Biene gestochen zu werden. Die gestochene Stelle schmerzt nicht nur (dolor), sondern sie schwillt an (tumor), wird rot (rubor) und warm (calor). Mit anderen Worten: Sie entzündet sich.

Es war dann der griechische Arzt Galenos von Pergamon, heute auch als Galen bekannt (ca. 130 – ca. 216 nach Chr.), der die Entzündungsreaktion weiter erforschte und detaillierter beschrieb. Dabei stützte er sich vor allem auf seine vielen Beobachtungen als Arzt, der Gladiatoren und Athleten bei den Olympischen Spielen behandelte. – Es kam oft zu Verletzungen und Entzündungen, wie Sie sich bestimmt denken können. Deshalb führte er auch eine fünfte Eigenschaft einer Entzündung ein, nämlich die Funktionseinschränkung (functio laesa). Weiterhin beschrieb er erfolgreiche und noch heute eingesetzte Behandlungsstrategien wie Kühlung, Ruhigstellung und den Einsatz bestimmter Heilpflanzen.<sup>3</sup>

Zum Teil geriet dieses Wissen im Mittelalter in Vergessenheit, zum Teil wurde es nicht weiter erforscht. Doch mit der Erfindung des Lichtmikroskops änderte sich das. Hier spielte der deutsche Arzt Julius Friedrich Cohnheim (1839–1884) eine maßgebliche Rolle, denn er entwickelte mikroskopische

Techniken, mit denen er lebendes Gewebe und dadurch die eigentlichen Vorgänge bei einer Entzündung beobachten konnte: Es kommt zu einer Weitstellung von Blutgefäßen, wodurch vermehrt Blut, Flüssigkeit und wichtige Stoffe zum verletzten Gewebe gebracht werden. Das verursacht die Schwellung, Rötung und Überwärmung. Cohnheim konnte auch noch eine starke Zunahme weißer Blutzellen im entzündeten Gewebe beobachten. Er folgerte ganz richtig, dass diese eine wichtige Rolle beim Entzündungsprozess spielen.

Mit immer feineren Methoden, wie z. B. dem Elektronenmikroskop und molekularen Nachweistechiken, konnten im folgenden Jahrhundert Entzündungsprozesse bis auf die molekulare und sogar genetische Ebene entschlüsselt werden. Die Erkenntnisse sind mittlerweile außerordentlich detailliert, wobei auch jetzt, im 21. Jahrhundert, noch immer neue Erkenntnisse hinzukommen.

## Entzündung soll uns eigentlich schützen

Eine Entzündung ist eine lebenswichtige Reaktion unseres Körpers. Sie dient unserem Schutz und der Abwehr, hat aber auch eine wichtige Funktion bei der Koordinierung von Reparaturprozessen.

Doch zunächst das Offensichtliche: Wir Menschen leben in einer uns feindlich gesinnten Welt. Damit meine ich nicht Terroristen oder Falschfahrer, sondern die Natur – in ihr geht es nicht zimperlich zu. Als wir Menschen noch in freier Wildbahn lebten, konnte jederzeit ein Tier aus dem Wald springen und uns für seine nächste Mahlzeit halten. Genauso gut konnten wir

Opfer anderer Menschen und von ihnen angegriffen bzw. verletzt werden. Eine unsichtbare Armee aus Bakterien und Viren lebt selbst heute noch um uns herum, jederzeit nach einem Weg suchend, uns ebenfalls zu ihrer nächsten Nahrungsquelle zu machen. Von den vielen Parasiten und Insekten will ich gar nicht erst reden, und natürlich dürfen wir auch nicht die sogenannten physikalischen Einflüsse außer Acht lassen. Man denke hier an Sonnenstrahlung, die zu Sonnenbrand, Kälte, die zu Frostbeulen, und Hitze, die zu Verbrennungen führen können.

Gegen all diese Einflüsse, zu denen neue Gefahren wie z. B. Umweltverschmutzung, Chemikalien, Übergewicht oder Drogen gekommen sind, muss sich unser Körper wehren. Hierbei spielt Entzündung eine maßgebliche Rolle, wobei diese von unserem Immunsystem, einer Art Körper-Polizei, koordiniert wird.

## Die erste Phase einer Entzündung

Im Regelfall beginnt eine Entzündung als Reaktion auf einen äußeren oder inneren Reiz, der eine Gefahr darstellt bzw. so wahrgenommen wird. Wenn es beispielsweise ein Bakterium oder ein Virus schafft, in unseren Körper einzudringen (z. B. durch eine Hautwunde oder mit der Einatmung), dann stößt es sehr schnell auf ersten Widerstand in Form einer weißen Blutzelle. Da diese zunächst nicht weiß, was sie vom Eindringling halten soll, tastet sie ihn ab bzw. berührt ihn. Die Blutzelle erkennt sehr schnell anhand bestimmter Strukturmerkmale, sogenannter antimikrobieller Peptide (AMP), dass es sich um eine Gefahr für den Körper handelt.

Weiße Blutzellen (Leukozyten) halten, ähnlich wie ein Polizist, Ausschau nach Gefahren. Unser Körper hat Milliarden solcher weißen Blutzellen. Diese wandern im Laufe ihrer nur wenige Wochen dauernde Lebenszeit in die verschiedensten Teile unseres Körpers.

Unter den Leukozyten gibt es viele Untergruppierungen wie Monozyten, Makrophagen, T- und B-Lymphozyten, Helfer- und Gedächtniszellen, die nochmals weiter unterteilt werden können. Letztlich erfüllen sie komplementäre Funktionen, d. h., sie unterstützen sich gegenseitig in der Erkennung (und Abwehr) möglicher Gefahren.

Kommen wir zu unserer weißen Blutzelle zurück, die einen Eindringling wahrgenommen hat: Sie kommt in Kontakt mit antimikrobiellen Peptiden und löst Alarm aus. Dazu produziert sie Zytokine und schüttet diese aus. Hierdurch werden andere Immunzellen aktiviert und eilen der weißen Blutzelle zu Hilfe. Es werden weitere Zytokine freigesetzt oder andere Gewebszellen in ihrer Funktion so verändert, dass sie den Kampf gegen diese Gefahr mit unterstützen.

Diese Zytokine, die übrigens von fast allen Körperzellen ausgesendet werden, wenn diese z. B. verletzt oder infiziert werden, wirken über Rezeptoren. Das sind Andockstellen, die an der Außenwand aller Zellen vorkommen und die Funktion der Zelle verändern können. Das ist die erste Phase einer Entzündung.

Im Exkurs zu Zytokinen (Seite 22) stelle ich allen Leserinnen und Lesern, die mit mir noch etwas tiefer in die Materie einsteigen wollen, wichtige Entzündungssubstanzen im Detail vor.

## DIE 4 PHASEN EINER ENTZÜNDUNG

### 1. PHASE



Bakterien, Viren oder Stoffe aus unserer Umwelt dringen in unseren Körper ein und werden von weißen Blutzellen erkannt. Diese setzen Zytokine frei und aktivieren so weitere Immunzellen, die zur Hilfe eilen.

### 2. PHASE



Alle Körperkräfte werden mobilisiert, um die Gefahr zu bekämpfen. Die Entzündung wird in vielen Fällen auf den ganzen Körper ausgeweitet.

### 3. PHASE



Geschafft!  
Die Gefahr ist beseitigt und die Abwehrkräfte treten den Rückzug an.

### 4. PHASE



Die Entzündung klingt ab und der Körper kann sich reparieren.

## Weitere Phasen der Entzündung

Diese Zytokine verursachen eine regelrechte Generalmobilmachung körperlicher Kräfte, was der zweiten Phase einer Entzündung entspricht. Das Ziel ist die Bekämpfung und Neutralisierung der Gefahr. In unserem ursprünglichen Beispiel waren es Bakterien oder Viren, die bekämpft werden sollten, doch denkbar sind viele andere Ursachen wie Umweltgifte oder bestimmte Stoffe in unserer Nahrung. Diese Entzündung wird in vielen Fällen auf den gesamten Körper ausgeweitet und zehrt damit nicht nur von unseren Kräften und Ressourcen, sondern kann auch körpereigenes Gewebe schädigen.

Erst wenn die Ursache behoben worden ist (dritte Phase), klingt eine Entzündung im Regelfall ab und der Körper kann sich reparieren (vierte Phase). Doch was ist, wenn das die Entzündung auslösende Problem nicht beseitigt wird? Was ist, wenn wir regelmäßig Stoffen ausgesetzt sind, auf die unser Körper mit Entzündung reagiert? Dies können z. B. ungesunde Nahrungsfette, Chemikalienrückstände in unserem Essen oder Luftverschmutzungspartikel sein. Was ist, wenn wir an einer Autoimmunkrankheit oder einer Allergie leiden? Die dabei auftretende Entzündung kann chronisch werden und, salopp gesagt, in einer Dauerschleife steckenbleiben. Dann schädigen wir uns Sekunde um Sekunde selbst.

In vielen von uns gibt es solche niederschwelligen Entzündungsreaktionen. Oft spüren wir sie nicht, weshalb die Wissenschaft von einer »stillen Entzündung« (silent inflammation) spricht. Als Arzt bezweifle ich übrigens, dass sie wirklich so still ist, denn bei genauer Befragung schildern viele Patienten dann doch gewisse Beschwerden, wie z. B. Müdigkeit, Konzentrationsprobleme, Kopf-, Muskel- und Gliederschmerzen.

Es ist für unseren Körper also von größter Wichtigkeit, alle vier Phasen tatsächlich zu durchlaufen. Die Entzündungsursache muss behoben werden, damit es zu Reparaturvorgängen kommen kann.

In dieser letzten und vierten Phase klingt dann die Entzündung ab und der Körper kann sich, vereinfacht ausgedrückt, reparieren, also heilen. Er kehrt in seinen ursprünglichen (gesunden) Zustand zurück. Dabei spielen komplexe Interaktionen der Zytokine sowie eine Abnahme der entzündungsauslösenden Stoffe eine Rolle. Es kommt zur Ausschüttung anderer Zytokine, die man als »Friedens-« oder »Beruhigungssignale« betrachten kann und die antientzündlich wirken. Es kann durchaus Wochen dauern, ehe sich unser Körper von einer schweren Entzündung erholt hat, aber erste Besserungen treten oft schon nach 12 Stunden auf.

## Die fünf wichtigsten anti-entzündlichen Substanzen

Anti-entzündliche Stoffe	Hauptwirkung
Interleukin-10	unterdrückt die Bildung entzündungsförderlicher Stoffe
Interleukin-37	unterdrückt Entzündung
TGF- $\beta$	unterdrückt Entzündung
Resolvin	unterdrückt die Bildung entzündungsfördernder Stoffe
Kortikosteroide	unterdrücken die Gene der Entzündungsstoffe

## Entzündungsmechanismen auf molekularer Ebene

Nachdem wir eine Entzündungsreaktion im Allgemeinen betrachtet haben, lohnt sich ein Blick in das Innere unseres Körpers, also in unsere Zellen. Oft entstehen gerade hier gefährliche Stoffe, die eine Entzündung hervorrufen können.

Denn in den Zellen finden viele Oxidations- und Reduktionsprozesse statt. Das sind chemische Reaktionen, bei denen es zum Austausch von Elektronen, also winzig kleinen, negativ geladenen Partikeln, kommt. Man erkennt zum Beispiel am Rost, dem Produkt eines solchen Oxidationsprozesses, was das bedeuten kann: Eisen verändert sich von einem starken Metall zu einer brüchigen Substanz. Rostiges Eisen ist oft nicht mehr einsatzfähig.

In unserem Körper laufen ebenfalls solche Vorgänge ab. Bestimmte Substanzen, nämlich Oxidanzien, können ihn gefährden und zu einer Entzündung führen, die man sich ähnlich wie Rosten vorstellen kann. Wenn dieser Prozess in großem Umfang ungehindert abläuft, dann gehört unser Körper eines Tages zum sprichwörtlichen alten Eisen, ist eingerostet, brüchig und alt.

Diese für unseren Körper gefährlichen Stoffe kann man mit Antioxidanzien neutralisieren. Wie der Name sagt, schützen sie unsere Zellbestandteile vor oxidativen Schäden und helfen, eine Entzündung zu vermeiden. Im Idealfall verfügt unser Körper über mehr Antioxidanzien als Oxidanzien, denn das wirkt schützend. Wenn aber die schädigenden Stoffe überwiegen, hat unser Körper oxidativen Stress.

Außerdem müssen wir uns vor sogenannten freien Radikalen schützen. Das klingt nicht nur hochgefährlich, sondern ist es auch: Diese Stoffe sind wie aggressive Hooligans, die oft sehr kurzlebig auftreten, dann aber mit ihrer Umgebung starke Konflikte austragen können. Beispiele sind Stickstoffmonoxid oder Hydroxyl-Radikale. Ein solches freies Radikal ist deshalb so reaktiv, weil es elektrisch aufgeladen ist (es hat ein ungepaartes Valenzelektron, wie es chemisch heißt). Auch hier können übrigens Antioxidanzien schützend wirken.

Wenn dann solche Reaktionen ungehindert innerhalb unserer Zellen ablaufen, werden Zellbestandteile dabei geschädigt. Summieren sich diese Schäden, können ganze Zellverbände verletzt und unbrauchbar werden, was weitere Entzündungsreaktionen

verursacht. Drei Beispiele sollen aufzeigen wie solche Schäden auf molekularer Ebene entstehen, denn auf ähnliche Art und Weise wirken die Abertausende anderer für uns schädlicher Stoffe, die in unserer Umwelt und unserer Nahrung vorkommen.

### Entzündung durch Pestizide

Das Pestizid Lambda-Cyhalothrin wird weltweit in der Landwirtschaft gegen Insekten eingesetzt, mit einigen Restriktionen auch in der EU und den deutschsprachigen Ländern. Einige unserer Lebensmittel sind also mit ihm in Berührung gekommen, haben zum Teil noch Rückstände. Die Organisation Greenpeace warnt schon seit Jahren vor seinem Einsatz und verweist auf ihrer Schwarzen Liste der Pestizide auf dessen Gesundheitsrisiken.<sup>4</sup>

Tatsächlich verursacht Lambda-Cyhalothrin Entzündungsprozesse. Doch wie hat man sich diesen Mechanismus vorzustellen? Auf der einen Seite ruft es direkte Schäden an Leberzellen hervor. Das löst natürlich eine Immunantwort aus und die einströmenden Leukozyten schütten entzündungsfördernde Zytokine aus. Auf der anderen Seite besitzt Lambda-Cyhalothrin eine chemische Seitenkette, die über sogenannte Cyanohydrine zur Bildung von Aldehyd und Cyanid führen kann, welche dann wiederum die Bildung chemischer Radikale begünstigt.<sup>5</sup> All das schädigt dann weitere Gewebsproteine, was dann wiederum eine Entzündungsreaktion hervorruft.

### Warum Feinstaub so gefährlich ist

Auch Feinstaubpartikel lösen eine Entzündungsreaktion aus, doch über einen etwas anderen Mechanismus. Feinstaub entsteht

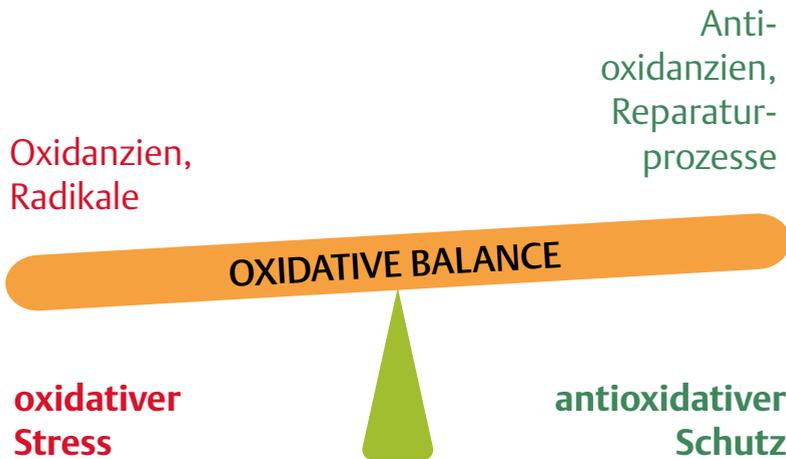
durch eine Reihe von Verbrennungs- und Abnutzungsprozessen. Kleinstpartikel mit einer maximalen Größe von 2,5 Mikrometer (was etwa  $\frac{1}{20}$  eines Haardurchmessers entspricht) gelangen in die Lunge. Dort lösen sie direkte Schäden an Lungen- und Gefäßzellen aus und sie aktivieren Leukozyten, die daraufhin entzündungsfördernde Zytokine ausschütten.

Wenn die Feinstaubpartikel noch kleiner sind, also kleiner als 100 Nanometer (was nur noch  $\frac{1}{500}$  eines Haardurchmessers ist), können sie sogar direkt in die Zellen hineingelangen. Dort reagieren sie mit verschiedenen Zellmolekülen und setzen u. a. chemische Radikale frei, was dann wiederum zu weiteren Zellschäden führt.<sup>6</sup> Auch das bedingt Entzündungsvorgänge.

### Wie UV-Strahlen die Zellen schädigen

Bei UV-Strahlen (dem nicht sichtbaren Anteil des Sonnenlichts) verläuft der Vorgang wiederum etwas anders. Denn bei UV-Strahlen ist es der hohe Energiegehalt, der schädigt: Es kommt zu chemischen Aufspaltungsprozessen und der Freisetzung von Sauerstoffradikalen. Hierdurch werden Zellbestandteile angegriffen und – Sie haben es bereits vermutet – eine Entzündungsreaktion ausgelöst. (Dabei wird der NF- $\kappa$ B-Signalpfad aktiviert und es werden die Zytokine TNF- $\alpha$  und IL-6 ausgeschüttet.)<sup>7</sup>

Wie man an diesen drei Beispielen erkennt, können ganz unterschiedliche Auslöser auf molekularer Ebene zu Entzündungsreaktionen führen. Sehr viele Stoffe unseres Alltags können Ähnliches verursachen. Deshalb müssen wir nicht nur die auftretende Entzündung bekämpfen, sondern auch ihre Ursache erkennen und beseitigen. Denn



♠ Wenn die schädigenden Stoffe überwiegen, hat unser Körper oxidativen Stress.

sonst schädigen wir unseren Körper und, um im eingangs angeführten Bild zu bleiben, wir rosten und werden immer brüchiger.

## Entzündungsauslösende Stoffe

Unser Körper ist täglich mit einer Vielzahl von Stoffen konfrontiert. Wieso reagiert er auf einige, auf andere wiederum nicht? Vereinfachend kann man sagen, dass in der Umwelt natürlich vorkommende Substanzen keine Immun- und Entzündungsreaktion in uns auslösen. Beispielsweise verursachen sauberes Trinkwasser oder unsere Atemluft keine Reaktion in uns, wie auch pflanzliche Nahrungsmittel oder die auf unserer Haut und in unserem Darm lebenden Bakterienarten das im Regelfall nicht tun. In den Abertausenden von Jahren haben wir Menschen uns an sie gewöhnt, und nur wenn sie in exzessiven Mengen eingenommen werden (wie z. B. Zucker oder Salz) oder uns tat-

sächlich gefährden (wie die energiereichen UV-Strahlen, Hitze, Kälte, Bakterien usw.), können sie entzündungsauslösend sein.

Ganz anders hingegen verhält es sich mit vielen modernen Chemikalien. Sie sind aus Evolutionssicht fremd für uns und deshalb reagiert unser Körper in vielen Fällen über- vorsichtig, eben mit einer Entzündung. Diese körperliche Reaktion hängt sowohl von der Art als auch der Menge des Stoffes sowie der Zeit, die er auf uns einwirkt, ab.

Das bedeutet, dass wir vorsichtig sein müssen, welcher Substanz wir uns aussetzen. Lesen Sie beispielsweise die Zutatenliste, bevor Sie ein Produkt kaufen? Ich möchte Ihnen kein schlechtes Gewissen machen, wenn Sie es bisher nicht getan haben. Aber es lohnt sich, einmal zu schauen, was Lebensmitteln alles zugesetzt wird, und sich zu fragen, ob man diese Zusatzstoffe tatsächlich im Körper haben möchte. Denn viele davon sind der Gesundheit eben nicht zuträglich.