

bensraum und Lebenszeit, es ist aber weniger, als man denkt, es bleibt ein Teil des Ganzen, des Menschen als bio-psycho-sozialem Wesen (Burnet 1962).

## 3.2 Evolution des Immunsystems

Einzeller (Protozoen) ernähren sich dadurch, dass sie organische Teilchen in ihr Zytosoma aufnehmen und verdauen. Dieser Vorgang wird **Phagozytose** genannt. Die Entdeckung der Phagozytose bei wirbellosen Tieren durch Metchnikoff (Tauber u. Chernyak 1991) im 19. Jahrhundert bahnte neue Wege im Denken über Immunität. Der Vorgang der Phagozytose wurde vom Einzeller bis zum Vielzeller in der Phylogenetese robust beibehalten; nur dient sie dann nicht der Nahrungsaufnahme, sondern der Beseitigung körperfremden Materials.

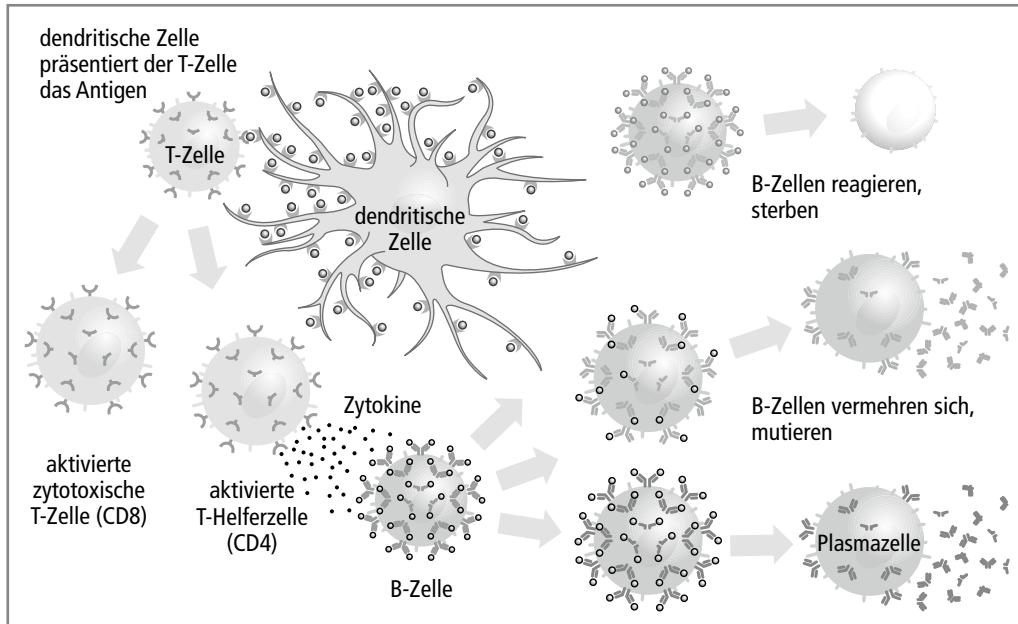
Bei Schwämmen und Hohltieren tritt bereits eine gewisse Funktionsteilung zwischen den Zellen auf. Auf spezifischen Zellen findet man bei diesen Organismen *toll-like-receptors* (TLR), die daran beteiligt sind, jene Mikroorganismen zu erkennen, die sich nicht für eine Nahrungsaufnahme eignen. Die Gliederfüßer haben bereits differenzierte Typen von Blutzellen (Hämozyten), die zur Phagozytose befähigt sind. Eindringlinge werden, in Abhängigkeit von ihrer Größe, allerdings von den Hämozyten nur eingekapselt. Dieses Prinzip der Immunabwehr finden wir heute noch in der Granulombildung beim Menschen (Tuberkelgranulom). Ergänzt wird diese frühe humorale Immunität durch verschiedene Proteine, darunter Agglutinine, Lysozyme, Defensine, und ein komplementartiges Enzymsystem.

### Immunsysteme der Wirbeltiere

Kieferlose Fische (Agnatha) verfügen erstmals über Immunglobuline (Antikörper). Knorpelfische und Knochenfische zeigen bereits discrete Lymphorgane. Der von Lymphozyten besiedelte Thymus weist große Ähnlichkeit mit dem Thymus der Säugetiere auf. Amphibien verfügen zusätzlich über Knochenmark und Lymphknoten als Immunorgane.

Bei den Vögeln und Säugetieren findet man ein ausdifferenziertes Lymphsystem mit Lymphknotenstationen, die Klassen und Subklassen von Immunglobulinen und die verschiedenen Typen und Subtypen von T- und B-Zellen.

Bei wirbellosen Tieren spielt die Aktivität des **angeborenen Immunsystems** die wichtige Rolle in der Immunität. Lange Zeit dachte man, dass das adaptive Immunsystem bei den Wirbeltieren und dem Menschen höherrangiger als das angeborene Immunsystem ist. Neue Forschungsergebnisse in der Immunologie beim Menschen weisen darauf hin, dass das angeborene Immunsystem eine **ebenso bedeutende Rolle** innehat wie das erworbene. Noch wichtiger jedoch ist die koordinierte und synergistische Kooperation beider Systeme um eine effiziente Immunantwort zu erzeugen – aber auch wieder mit einer Gedächtnisfunktion bauplängerecht zu beenden (Zänker 2008). Denn, man stelle sich vor, jede Proliferation von immunkompetenten Zellen würde im Laufe des Lebens nach Infektionen additiv erhalten bleiben: Das würde einen Nettozugewinn an Zellen bedeuten, den der Organismus keinesfalls verkraften könnte. Man muss auch klar sehen, dass jeder kumulative Fehler im Auf- und Abbau einer zellulären Immunantwort das Potenzial einer Initiation hämatopoetischer Erkrankungen, einschließlich Blutkrebs, in sich trägt. Es darf



**Abb. 3-2** Antigen-Präsentation durch dendritische Zellen an naive T-Lymphozyten, T-Lymphozyten mit passendem T-Zell-Rezeptor werden aktiviert und wandeln sich in Effektor-T-Lymphozyten; CD8<sup>+</sup>-T-Lymphozyten werden zu zytotoxischen T-Zellen, CD4<sup>+</sup>-TH2-Zellen aktivieren B-Lymphozyten; aktivierte B-Lymphozyten proliferieren und

produzieren Antikörper; aus aktivierten B-Lymphozyten entwickeln sich Plasmazellen, die ebenfalls Antikörper produzieren, B-Lymphozyten, die Antigenkontakt haben, aber kein ko-stimulierendes Signal durch eine dendritische Zelle erhalten, werden anerg (nicht mehr stimulierbar) oder gehen in Apoptose.

heute spekuliert werden, dass Wirbeltiere und Säuger, den Menschen einschließend, ihre differenzierte Immunität, die eine wachsende Lebensspanne garantiert, mit einem höheren Risiko an chronischen Entzündungen und Tumorinduktion erkauft.

Man kann nun folgende Klassifikation für das Immunsystem der Säuger treffen (Abb. 3-2):

■ **Angeborenes Immunsystem (*innate immunity*):** Das angeborene Immunsystem ist nicht spezifisch, besitzt kein Gedächtnis, ist nicht antizipatorisch, ist nicht monoklonal und ist genetisch weitgehend fixiert.

■ **Erworbenes Immunsystem (*adaptive immunity*):** Das erworbene Immunsystem ist adaptiv, induzierbar, spezifisch und mit Gedächtnisbildung, antizipatorisch, genetisch und epigenetisch variabel und klonal.

### 3.3 Angeborenes Immunsystem

Das angeborene Immunsystem ist das phylogenetisch ältere Immunsystem. Es richtet sich gegen infektiöses Erbmaterial (DNA und RNA), indem es die Träger solchen Erbmaterials, z. B. Bakterien, attackiert, aber auch