

Mehrzelligkeit

P. Ulmschneider, Vom Urknall zum modernen Menschen, DOI 10.1007/978-3-642-29926-1_7,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

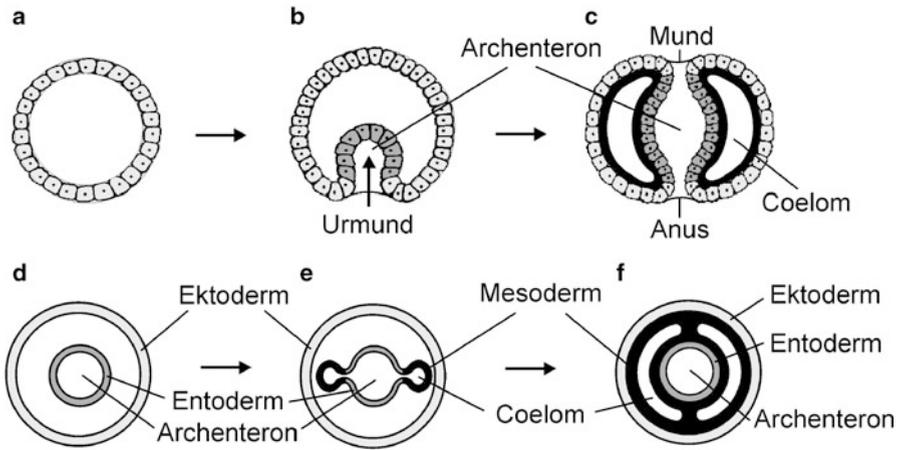
Die Evolution von vielzelligen eukaryotischen Lebewesen war einer der wichtigsten Entwicklungsschritte in der Geschichte des Lebens. Anders als bei Zellkolonien, wie etwa den frühen Stromatolithen (Abschn. 5.5), stellt die *Mehrzelligkeit*, die bereits vor ca. 1,9 Mrd. Jahren auftrat, die Verbindung vieler Zellen zu einem Gesamtorganismus dar (Bengtson et al. 2007). Mehrzelligkeit führte zu Kommunikation und Kooperation der Zellen, zu Arbeitsteilung und Spezialisierung sowie zur Entwicklung von Geweben, Organen und Körperteilen. Nur durch sie war es möglich, dass vom Meer aus das Land erobert werden konnte und schließlich die hochentwickelten Landwirbeltiere (Tetrapoden) und der Mensch entstanden.

7.1 Mehrzelligkeit, Organe und der programmierte Zelltod

Eine Vielzahl eukaryotischer Zelllinien, die zu den Braunalgen, Rotalgen, Grünalgen, Pflanzen, Pilzen und Tieren führten, entwickelten unabhängig voneinander eine hochentwickelte Mehrzelligkeit (Cock et al. 2010). Typisch für die frühe Embryonalentwicklung mehrzelliger Tiere ist das *Blastula-Stadium*, in dem sich die Zellen in Form einer Kugelschale anordnen (Abb. 7.1a). Dieser Aufbau ist in der Evolution schon früh aufgetreten. Er sorgte für einen geschützten Innenraum, in dem sich eine Arbeitsteilung unter den Zellen ausbilden konnte. Blastulaähnliche Organismen existieren noch heute in Form der Grünalpengattung *Volvox* (Raven et al. 2003; Kirk 2005). Wie andere Vielzeller besitzt *Volvox* zwei Zelltypen, *Körperzellen* (somatische Zellen), die die Blastula bilden, und *Geschlechtszellen* im Inneren. Die Spezies *Volvox carteri* hat z. B. 2000 Körperzellen (mit jeweils zwei Flagellen) und 16 Geschlechtszellen. Sobald diese zur Geschlechtsreife herangewachsen sind, bricht die Blastula auf, gibt die Nachkommen frei und stirbt ab.

Einzellige eukaryotische Organismen vermehren sich durch normale Zellteilung und sind damit praktisch unsterblich. Die Körperzellen von Vielzellern können nur eine begrenzte Zahl von Zellteilungen durchführen, danach gehen sie zugrunde. Beim Menschen liegt diese sogenannte *Hayflick-Grenze* bei etwa 50 Zellteilungen. Sie wird durch die Verkürzungen von *Telomeren* verursacht, DNA-Abschnitten, die an den Chromosomen angehängt sind (Shay und Wright 2000). Geschlechtszellen und Tumorzellen unterliegen dieser Grenze nicht, ihre Unsterblichkeit wird durch das Enzym *Telomerase* erreicht, das die verkürzten Telomere immer wieder verlängert. Ein weiterer Prozess tritt erstmals bei der Mehrzelligkeit auf: der programmierte Zelltod (*Apoptose*). Durch eine Mutation bei einem bestimmten Gen kann z. B. bei *Volvox* dieses Zellsignal allerdings wieder aufgehoben werden (Gilbert 1997).

Ein nächster Schritt bei der Entwicklung zu höheren Lebensformen geschieht durch die *Gastrulation*. Die Blastula faltet sich nach Innen und bildet einen einfachen Darm, das *Archenteron*, sowie den Urmund (Abb. 7.1b). In einem späteren Stadium bricht vom Archenteron aus eine Öffnung zur anderen Seite durch, und bildet einen Verdauungstrakt mit neuem Mund und dem Anus. Die Außenschicht (Abb. 7.1c, hellgrau) nennt man *Ektoderm*, die das Archenteron

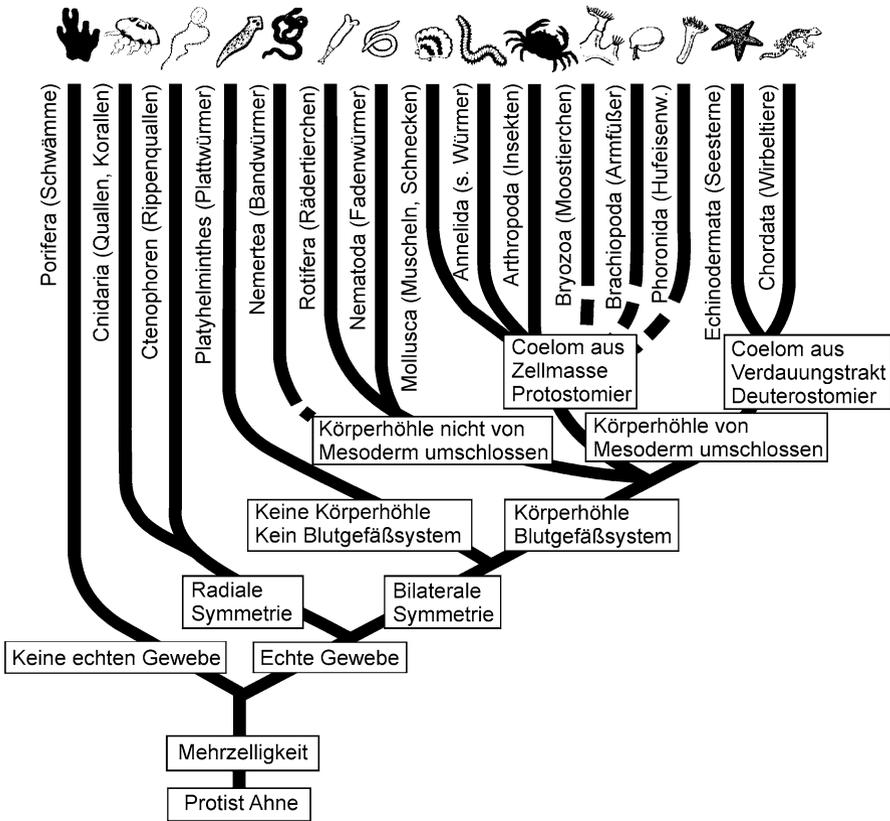


■ **Abb. 7.1** Die Entwicklung eines mehrzelligen Organismus. **a–c** Längsschnitte, **d–f** Querschnitte (modifiziert nach Campbell 1996)

umhüllende Einfaltung (dunkelgrau), *Entoderm*. In der Entwicklungslinie der *Deuterostomier* (Abb. 7.2), die zu den Wirbeltieren und dem Menschen führt, produzierte das Entoderm einander gegenüberliegende (*bilaterale*) Ausstülpungen und neben Ektoderm und Entoderm ein drittes Keimblatt, das *Mesoderm* (Abb. 7.1e, schwarz). Dieses expandierte und füllte schließlich das ganze Innere des Organismus aus: Es bildete sich das *Coelom*, eine echte Körperhöhle (Abb. 7.1f). Diese Entwicklungen der vielzelligen Organismen dauerten etwa 500 Mio. Jahre. Während dieses Zeitablaufs traten mehrere Verzweigungen auf, bei denen durch verschiedene alternative Entwicklungen schließlich eine große Vielfalt unterschiedlicher Lebensformen entstand (Abb. 7.2).

Das mit Flüssigkeit gefüllte Coelom erfüllt grundlegende Funktionen. Es wirkt als hydrostatisches Skelett, ermöglicht getrennte Aktivitäten des äußeren Körpers und des Verdauungstrakts, erlaubt Material-, Flüssigkeits- und Gaskreisläufe und bietet einen sicheren Raum für die Entwicklung und Erweiterung von Organen. Der wichtigste Fortschritt der Mehrzelligkeit ist aber die Spezialisierung der Zellen, die letztlich zu Organen führte. Aus dem Ektoderm bildeten sich die Haut, Drüsen, Haare, Federn, Schuppen sowie das Nervensystem und die Sinnesorgane. Das Mesoderm produzierte das Skelett, die Muskeln, das vaskuläre System (Blutgefäße), die Nieren und die Keimdrüsen. Aus dem Entoderm entstanden der Verdauungstrakt mit Leber, Bauchspeicheldrüse, Schilddrüse und Lunge.

Es gibt geologische und paläontologische Hinweise für diese Entwicklung. Im Ediacarium, vor 630–542 Mio. Jahren, tauchte plötzlich eine außerordentliche Vielzahl neuer Lebensformen auf. Ursache war, dass die Mehrzeller Master-Gene entwickelten, die den Aufbau der verschiedenen Körperteile getrennt steuern konnten. Dies führte zu einem hohen Grad an Variation, Spezialisierung und Adaption an die Umwelt. Solche *Homöobox-* oder *Hox-Gene* (Luke et al. 2003) wurden bei der Embryonalentwicklung der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* entdeckt. Sie kodieren Proteine, die den Zellen in den verschiedenen Segmenten des sich ent-



■ **Abb. 7.2** Radiation der Tiere nach der Erfindung der Mehrzelligkeit (Campbell 1996)

wickelnden Embryos mitteilen, welche Strukturen sie ausbilden sollen: Antennen für den Kopf oder Beine für die drei Thoraxsegmente. Dies trug zu der in Abb. 7.2 gezeigten breiten Radiation der Tierarten bei.

Die Entwicklung zu den *Chordatieren* (Wirbeltiere, Schädellose, Manteltiere) und dem Menschen erfolgte durch das Auftreten der Chorda. Dieser schnurartige Stützstrang stellt den Vorläufer des Innengerüsts der Wirbeltiere (Abb. 7.3) dar. Vor über 520 Mio. Jahren, im Kambrium, und während des Ordoviziums (vor 488–444 Mio. Jahren) entwickelte sich zunächst die Wirbelsäule und später der Kiefer. Am Anfang des Silur (von 444–416 Mio. Jahren) traten die Knorpelfische (*Chondrichthyes*) und danach die Knochenfische (*Osteichthyes*) auf. Gleichzeitig entwickelten sich auch die ersten primitiven Landpflanzen und aus den *Protostomiern* – die sich von den Deuterostomieren durch die Art der Furchung, Coelombildung und Urmundentwicklung unterscheiden – die *Gliederfüßer* (*Arthropoden*). Letztere eroberten mit Tausendfüßern, Insekten und Spinnen das Land. Die ersten Amphibien erschienen zusammen mit den ersten Fluginsekten, im Devon, vor 416–359 Mio. Jahren.