

Die Erde und Erd-ähnliche Planeten

P. Ulmschneider, Vom Urknall zum modernen Menschen, DOI 10.1007/978-3-642-29926-1_3,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Das bloße Vorhandensein eines Planeten reicht nicht aus, damit auf ihm Leben entstehen kann. Vielmehr muss er ununterbrochen über Jahrmilliarden eine gutartige Umwelt bereitstellen können, damit schließlich intelligentes Leben aufzutreten vermag. Dazu bedarf es spezieller Eigenschaften, die seine zeitliche Entwicklung und die seines Zentralsterns betreffen. Was sind die besonderen Eigenschaften der Erde und was macht die sogenannten *erdähnlichen Planeten* zu einem möglichen Sitz des Lebens?

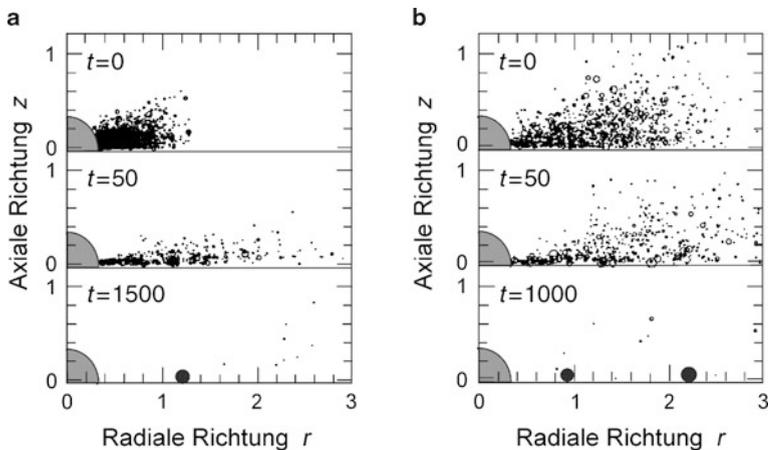
3.1 Die frühe Erde

Etwa 10 Mio. Jahre nach Beginn des Sonnensystems (vor 4,567 Mrd. Jahren) hatte die Proto-Erde bereits die Hälfte ihrer Masse angesammelt (Halliday und Wood 2009); das Wachstum zur endgültigen Masse fand in Gegenwart von Planetenembryos mit bis zu 1/10 Erdmassen in der Planetesimalscheibe statt (Abschn. 2.8). Die drastische Verringerung der Anzahl dieser Embryos durch Zusammenstöße und Aufsammlungen waren das Resultat gravitativer Wechselwirkungen. Diese gingen besonders von den Gasplaneten aus, die in der 3–4 Mio. Jahre dauernden Lebenszeit der Gasscheibe entstanden waren. Die letzten 10 % des Wachstums erfolgten in Zusammenhang mit der Mondbildung nach ca. 30–100 Mio. Jahren (Rudge et al. 2010).

3.1.1 Die Entstehung des Mondes

Warum besitzt der Mond nur eine halb so große Dichte wie die Erde und warum verfügt er über einen so kleinen Eisenkern von ca. 250–430 km Radius (Weber et al. 2011)? Die wahrscheinlichste Erklärung ist, dass der Mond vor ca. 4,52 Mrd. Jahren durch einen gigantischen Zusammenstoß eines marsgroßen Planetenembryos (Theia) mit der Proto-Erde entstand. In dieser Kollision verschmolz der Großteil der beiden metallischen Kerne, während leichteres Mantelmaterial hinausgeworfen wurde und den Mond bildete. Eine Simulation (Abb. 3.1) zeigt, dass sich nach dem Aufprall eine heiße Silicattrümmerwolke rund um die Erde bildete, aus der sich, je nach dem genauen Ort des Zusammenstoßes, ein oder zwei Monde entwickelten (Ida et al. 1997; Jutzi und Asphaug 2011).

Die Zusammensetzung des Mondes stimmt gut mit einer streifenden Kollision überein, bei der 80 % des Mondmaterials aus dem Mantel von Theia stammen (Canup 2004; Palme 2004). Die Simulation zeigt, dass sich der Mond in einem Abstand von ca. 3,6 Erdradien bildete (Abb. 3.1a). Durch Gezeitenreibung vergrößerte sich diese Entfernung auf die heutige Distanz von ca. 60 Erdradien, und der ursprüngliche irdische 5-Stunden- zu einem 24-Stundentag. Gleichzeitig erhielt der Mond seine gebundene Rotation.

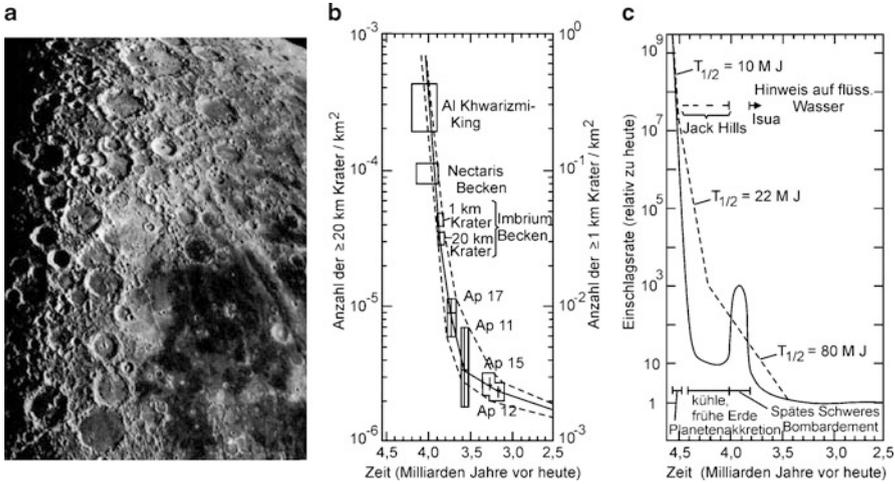


■ **Abb. 3.1** Simulation der Mondentstehung. **a** Eine verlangsamte Gesamttrotation führt zur Bildung nur eines Mondes, **b** eine erhöhte Gesamttrotation führt zu zwei Monden. Die Abstände r und z sind in Einheiten von 20.000 km und die Zeiten t in Einheiten von 7 Std. angegeben (nach Ida et al. 1997)

3.1.2 Das späte schwere Bombardement (LHB)

In den frühesten Phasen der Erdgeschichte gab es aufgrund der hohen Oberflächentemperaturen noch kein flüssiges Wasser. Jedoch zeigen hohe $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnisse in den ältesten bekannten Zirkonen (aus erodierten Gesteinen in den Mount Narryer und Jack Hills Regionen von Westaustralien), dass es bereits vor 4,5–4,4 Mrd. Jahren ausgedehnte Ozeane gab (Valley et al. 2002; Cavosie et al. 2005; Valley 2005). Dies wurde auch durch die $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ und $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ Isotopenverhältnisse nahegelegt (Wilde et al. 2001; Harrison et al. 2005). Die Frühzeit war von einer stetig nachlassenden Folge von großen bis kleineren Einschlägen von Planetesimalen geprägt, die an der Oberfläche des Mondes und bei allen terrestrischen Planeten des Sonnensystems ihre Spuren in Form von Kratern hinterließen (Abb. 3.2a). Es existieren Krater aller Größen, wobei ihre Durchmesser einem sogenannten Potenzgesetz folgen: In einem weiten Größenbereich findet man stets 8-mal mehr Krater, wenn der Durchmesser halbiert wird.

Kraterzählungen und Datierungen der Apollo-Missionen (Abb. 3.2b, c) dokumentieren, dass bis vor 3,5 Mrd. Jahren ein deutlicher Rückgang der Einschlagereignisse stattfand. Allerdings gibt es Hinweise, dass die abklingende Einschlagertätigkeit vor 4,1–3,8 Mrd. Jahren durch eine *spätes schweres Bombardement* (Late Heavy Bombardement, LHB) genannte Phase unterbrochen wurde (Abb. 3.2c). Das späte Bombardement schuf die großen Mare des Mondes (Nectaris, Serenitatis, Imbrium und Orientale) und hinterließ erheblich größere Effekte auf der Erde. Es dürfte allerdings nicht lebensauslöschend gewesen sein (Abramov und Mojszis 2009) und wurde wahrscheinlich durch die Bahnverschiebungen von Jupiter und Saturn (Abschn. 2.6) und die damit einhergehenden Destabilisierungen im Asteroidengürtel hervorgerufen (Strom 2005; Morbidelli 2011). Dass später noch eine stetig abklingende Serie von großen Einschlägen stattfand, zeigen die über die ganze Erde verbreiteten Schichten von Glaskügelchen aus kon-



■ **Abb. 3.2** Kraterzählungen auf dem Mond. **a** Der Mond mit Mare Nubium, **b** Kraterhäufigkeiten nach Carr et al. (1984), **c** Kraterhäufigkeiten, modifiziert nach Valley et al. (2002), gestrichelte Kurven von Hartmann et al. (2000)

densiertem Gesteinsdampf, die von den Einschlägen herrühren (Johnson und Melosh 2012; Bottke et al. 2012).

3.1.3 Die Umwelt auf der frühen Erde

Die Frühgeschichte der Erde, das Hadaikum (vor 4,567–4,0 Mrd. Jahren), war dominiert von der Erwärmung durch radioaktive Isotope und die freigesetzte Gravitationsenergie einschlagender Planetesimale. Ursprünglich bestanden die oberen Teile des Mantels aus heißem, flüssigem Gestein, einem tiefen Magmaozean (Nisbet und Sleep 2001; Agee 2004). Die Ur-Erde war von einer dichten Atmosphäre umgeben, die aus Mantelausdünstungen und flüchtigem Material von Planetesimalen bestand. Durch effiziente Abstrahlung der Atmosphärenwärme in den Weltraum und Regenbildung entstanden erst eine Oberflächenkruste aus festem Gestein und schließlich ausgedehnte Ozeane.

Es gab auch Minikontinente, wobei der Prozess der sogenannten Plume-Konvektion (Hotspot-Vulkanismus, Abschn. 3.6.2) eine besondere Rolle spielte. Er schuf viel später in der Kreidezeit und im Tertiär auch die Hawaii-Vulkankette, von der sich einige Mitglieder bis zu 10 km über dem Meeresboden erheben. Die Landmasse des Hadaikums und späteren Archaikums (vor 4,0–2,5 Mrd. Jahren) war jedoch viel geringer als heute (Abschn. 3.7). Im Hadaikum war die vulkanische Aktivität aus drei Gründen besonders mächtig. Erstens hatte man zu dieser Zeit noch eine dünne Erdkruste, die zu einem erheblich höheren Wärmefluss führte und anfällig für häufige Rissbildungen war. Zweitens wurde die Erde immer noch von kleineren Planetesimalen bombardiert. Drittens umkreiste der Mond damals die Erde in einem Zehntel seines heutigen Abstands, weshalb sehr starke Gezeiten auftraten, die Rissbildungen in der Kruste begünstigten.