

Peter D. Ward  
Donald Brownlee

# Unsere einsame Erde

Aus dem Englischen übersetzt  
von Professor Dr. ECKARD HELMERS



Springer

# Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG: DIE REVOLUTION DER ASTROBIOLOGIE UND DIE HYPOTHESE DER EINSAMEN ERDE	
1.1	Ein einsamer Planet? . . . . .	10
1.2	Die toten Zonen des Universums. . . . .	13
1.3	Bedingungen der einsamen Erde. . . . .	15
2	WARUM LEBEN IM UNIVERSUM WEIT VERBREITET SEIN KANN	
2.1	Spezialisten der Extreme. . . . .	20
2.2	Die Archaea. . . . .	24
2.3	Verbindung zum Mars. . . . .	30
2.4	Bedeutung der Entdeckung der Extremophilen für die bewohnbare Zone. . . . .	31
V-'	BEWOHNBARE ZONEN DES UNIVERSUMS	
gfl	Aus bewohnbaren Zonen ausgestoßene Planeten. . . . .	39
3.2	Bewohnbare Zonen in anderen Sternensystemen. . . . .	41
3.3	Bewohnbare Zonen in der Galaxis. . . . .	47
3.4	Bewohnbare Zonen und Zeiten im Universum. . . . .	49
3.5	Ende der planetarischen Bewohnbarkeit. . . . .	52
3.6	Zusammenfassung. . . . .	53

## DER BAU EINER BEWOHNBAREN ERDE

4.1	Bildung der Elemente. . . . .	57
4.2	Zusammenbau des Planeten Erde. . . . .	64
4.3	Der letzte Schliff. . . . .	73

## 5 DAS ERSTE AUFTRETEN DES LEBENS AUF DER ERDE

5.1	Wie begann das Leben?. . . . .	77
5.2	Ein Rezept für das Leben. . . . .	82
5.3	Entstehung des genetischen Kodes. . . . .	85
5.4	Wie lange hat es gedauert?. . . . .	89
5.5	Wo passierte es?. . . . .	90
5.6	Ein planetarisches Wortgefecht . . . . .	94
5.7	Stammbaum des Lebens und Ursprung der Extremophilen. . . . .	97

## 6 WIE TIERE ENTSTEHEN

6.1	Eine uralte Zweiteilung. . . . .	107
6.2	Familie der Kerne. . . . .	114
6.3	Umweltbedingungen bei der Entstehung der Eukaryonten ..	119
6.4	Sauerstoffrevolution. . . . .	121
6.5	Evolution der eukaryontischen Form und Funktion. . . . .	125
6.6	Die beiden Aufteilungen der Tierstämme. . . . .	128
6.j	Evolution der Tiere: biologischer Durchbruch oder Umweltstimulation?. . . . .	133

## 7 / SCHNEEBALL ERDE

*i*

»-7.1	Gefangen im Eis. . . . .	140
7.2	Entkommen. . . . .	142
7.3	Die zweite globale Vereisung. . . . .	146

7.4	Planetarische Oberflächentemperaturen und der Ursprung des Lebens . . . . .	.148
8	RÄTSEL DER KAMBRISCHEN EXPLOSION	
8.1	Wann hat sich die kambrische Explosion ereignet? . . . . .	.152
8.2	Welche Tiere hatten Anteil an der kambrischen Explosion? . . . . .	.157
8.2.1	1. Akt: Edfacarafauna . . . . .	.158
8.2.2	2. und 3. Akt: Spurenfossilien und kleine Schalentiere .. ..	163
8.2.3	4. Akt: Trilobitenfauna . . . . .	.164
8.3	War die Explosion des Lebens im Kambrium unausweichlich? . . . . .	.165
8.4	Was - wenn überhaupt - löste die kambrische Explosion aus? . . . . .	.170
8.5	Umweltbedingungen . . . . .	.170
8.5.1	Der Sauerstoffgehalt überstieg eine entscheidende Grenze ..	170
8.5.2	Nährstoffe wurden in größerer Menge verfügbar. . . . .	.171
8.5.3	Günstige Temperaturbedingungen nach den Schneeballepisoden des späten Präkambriums ..	172
8.5.4	Der Wechsel der Erdachse. . . . .	.172
8.6	Biologische Ursachen. . . . .	.175
8.6.1	Entwicklung der harten Skelette. . . . .	.175
8.6.2	Die Überschreitung bestimmter evolutionärer Schwellen ermöglichte eine Zunahme der Körpergröße . . . . .	176
8.6.3	Raubtierhypothese. . . . .	.177
8.7	Wird die kambrische Explosion durch Fossilienfunde nur vorgetäuscht? . . . . .	.177
8.8	Explosion im Kambrium und ihr Ende. . . . .	.179
8.9	Diversität und Disparität . . . . .	.181
8.10	Nach der kambrischen Explosion: die Evolution der Diversität . . . . .	.184
8.11	Bedeutung für höheres Leben auf anderen Planeten. . . . .	.185

## MASSENSTERBEN UND DIE HYPOTHESE DER EINSAMEN ERDE

9.1	Bedeutung globaler Auslöschungen . . . . .	.190
9.2	Möglichkeiten planetarischer Katastrophen . . . . .	.192
9.2.1	Änderung der planetaren Drehgeschwindigkeit . . . . .	.193
9.2.2	Planeten verlassen die bewohnbare Zone. . . . .	.193
9.2.3	Sterne ändern ihren Energieausstoß. . . . .	.194
9.2.4	Einschlag eines Kometen oder Asteroiden. . . . .	.194
9.2.5	Nähe gelegene Supernovaexplosion. . . . .	.197
9.2.6	Quellen von Gammastrahlung . . . . .	.198
9.2.7	Kosmische Strahlenjets und Gammastrahlenexplosion .. ..	198
9.2.8	Katastrophale Klimaänderung: Eiskeller und ausufernder Treibhauseffekt . . . . .	.199
9.2.9	Entstehung intelligenter Lebewesen. . . . .	.199
9.3	Häufigkeit von Massensterben. . . . .	200
9.4	Folgen von Massensterben. . . . .	202
9.5	Risiko und Komplexität . . . . .	205
9.6	Massenhaftes Artensterben auf der Erde: Zehn Ereignisse ..	207
9.6.1	Auslöschungen durch Einschläge vor 4,6-3,8 Mrd. Jahren ..	208
9.6.2	Auftauchen des Sauerstoffs in der Atmosphäre - Schneeball Erde vor 2,5-2,2 Mrd. Jahren . . . . .	208
9.6.3	Schneeballperioden vor 750-600 Mio. Jahren. . . . .	209
9.6.4	Perioden des Massensterbens im Kambrium vor 560-500 Mio. Jahren . . . . .	209
9.6.5	Perioden mit Massensterben im Ordovizium und im Devon vor 440-370 Mio. Jahren . . . . .	210
9.6.6	Perm-Trias-Ereignis vor 250 Mio. Jahren . . . . .	211
9.6.7	Perioden mit Massensterben am Ende der Trias vor 250 Mio. Jahren . . . . .	211
9.6.8	Massensterben am Übergang von der Kreidezeit zum Tertiär (K/T-Ereignis) vor 65 Mio. Jahren . . . . .	212
9.6.9	Gegenwärtiges Artensterben. . . . .	214
9.7	Vergleich der Auswirkungen von Aussterbeereignissen .. ..	215

9.8	Zeitliches Risiko des Aussterbens . . . . .	216
9.9	Verlust an Komplexität: Risiko und Vielfalt . . . . .	217
9.10	Ein Planet am Rande . . . . .	219
9.11	Modell für planetarisches Aussterben . . . . .	220
10	Überraschende Bedeutung der Plattentektonik	
10.1	Wie funktioniert die Plattentektonik? . . . . .	227
10.2	Warum ist die Plattentektonik für das Leben so wichtig? . . . . .	234
10.3	Was passiert, wenn die Plattentektonik ausbleibt? . . . . .	237
10.3.1	Ein Ende durch Ausbleiben des Vulkanismus. . . . .	237
10.3.2	Verlust der planetaren Temperaturkontrolle. . . . .	239
10.4	Plattentektonik als globaler Thermostat . . . . .	241
10.5	Die Plattentektonik und das Magnetfeld . . . . .	245
10.6	Warum verfügt die Erde - anders als Mars und Venus - über Plattentektonik? . . . . .	246
10.7	Wie und wann begann die Plattentektonik auf der Erde? ..	249
10.8	Könnte Plattentektonik die Entwicklung des höheren Lebens auf der Erde auch <i>behindert</i> haben? . . . . .	250
10.9	Plattentektonik: Der wichtigste Bestandteil der Hypothese von der Einsamen Erde? . . . . .	253
11	DER MOND, DER JUPITER UND DAS LEBEN AUF DER ERDE	
II.J	Der Mond . . . . .	255
11.1.1	Neigung der Erdoberfläche . . . . .	256
11.1.2	Gezeiten . . . . .	261
11.1.3	Ei <sup>ne neue</sup> Erklärung für die Entstehung des Mondes .. ..	263
11.2	Der Jupiter. . . . .	270
11.2.1	Einfluss des Giganten zur Zeit der Planetenentstehung . . . . .	271
11.2.2	Ein weit entfernter Wachposten . . . . .	274
11.2.3	Ursprung und zufällige Stabilität von Jupiter. . . . .	275

12	ÜBERPRÜFUNG DER HYPOTHESE VON DER EINSAMEN ERDE	
12.1	Fortgeschrittenes Leben . . . . .	283
12.2	Spektrum eines Planeten mit Leben. . . . .	283
12.3	Suche nach der spektralen Signatur des Lebens. . . . .	286
12.4	Suche nach intelligentem Leben. . . . .	289
12.5	Mikrobielles Leben im Sonnensystem. . . . .	290
13	ABSCHÄTZUNG DER GEWINNQUOTE	
13.1	Ein Gedankenexperiment . . . . .	298
13.2	Der Zeitfaktor: Fortbestand des Ozeans und eine gemässigte Temperatur. . . . .	301
13.3	Die Bedeutung - und die zufällige Anwesenheit - unseres großen Mondes. . . . .	306
13.4	Wahrscheinlichkeit von ausserirdischem Leben und von Intelligenz . . . . .	308
13.5	Sind Sterne mit Planeten ungewöhnlich?. . . . .	309
13.6	Häufigkeit der Planeten und die Drake-Gleichung. . . . .	311
14	BOTEN DER STERNE	
14.1	Anblick des Universums. . . . .	319
14.2	Ansichten über die Erde in der Geschichte der Menschheit ..	321
14.3	Unsere einsame Erde. . . . .	325
	LITERATURVERZEICHNIS. . . . .	331
	NAMENSVERZEICHNIS. . . . .	359
	SACHVERZEICHNIS. . . . .	363