

Wolfgang Kießling

Entwicklung der marinen Biodiversität

EVOLUTIONÄRE PALÄOÖKOLOGIE

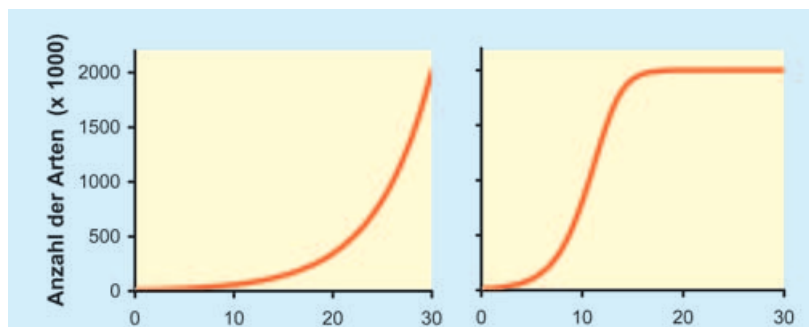
Biodiversität in all seinen Facetten ist eines der großen Themen in den neu gestalteten Ausstellungen des Museums für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin. Obwohl wir nicht einmal die heutige Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten wirklich kennen, kann man Fossilien nutzen, um die Veränderungen der Biodiversität über Jahrmillionen zu rekonstruieren. Das funktioniert jedoch nur mit ausgefeilten statistischen Methoden, die der Unvollständigkeit der geologischen Überlieferung Rechnung tragen. Mit den Ergebnissen lassen sich wichtige Fragen beantworten, die für verschiedene Bereiche der Lebens- und Umweltwissenschaften relevant sind. Eine internationale Forschergruppe aus weltweit 125 Institutionen, darunter das Berliner Naturkundemuseum, hat nunmehr ausreichend Datenmaterial gesammelt, um die Diversitätsentwicklung mariner Lebewesen der letzten 540 Millionen Jahre zuverlässig zu rekonstruieren. Zwei wichtige Ergebnisse sind: Nach einer explosiven Entfaltung der Tiere im Kambrium erreichte die Diversität bereits vor 450 Millionen Jahren ein Niveau, das für lange Zeit nicht überschritten wurde. Ein zweiter Anstieg fand vor etwa 150 Millionen Jahren statt. Seitdem gab es keinen großen Netto-Zuwachs im Meer. Anscheinend gibt es Kapazitätsgrenzen für die Artenvielfalt auf unserem Planeten, die nur durch signifikante evolutionäre Innovation nach oben verschoben werden können.

Biodiversität ist längst zu einem Schlagwort geworden. Obwohl die Definition des Begriffs relativ einfach ist – die Vielfalt des Lebens in allen seinen Ausprägungen – hat Biodiversität für Wissenschaftler, Naturschützer und Politiker eine recht unterschiedliche Bedeutung. Für Politiker ist vor allem der ökonomische Wert der Biodiversität ausschlaggebend. Wie wichtig ist die Erhaltung der Artenvielfalt gegenüber gegensätzlicher, meist kurzfristiger wirtschaftlicher Interessen? Für Naturschützer stellt die Biodiversität einen Wert an sich dar, der mit allen Mitteln erhalten werden sollte. Für die meisten Wissenschaftler ist Biodiversität vor allem ein großes Mysterium. Wer vor der »Biodiversitätswand« im neu gestalteten Evolutionssaal des Berliner Naturkundemuseums steht, wird sich wahrscheinlich, wie die meisten Biologen und Paläontologen, als erstes fragen, woher die heute scheinbar so unermessliche Artenvielfalt eigentlich kommt. Obwohl sich Legionen von Wissenschaftlern mit der Dokumentation der Biodiversität beschäftigen, ist diese Kernfrage noch immer unbeantwortet.

Ein Blick in die Vergangenheit ist sehr lohnend, da die heutige Artenvielfalt aus dem Zusammenspiel von Spe-



Abb. 1
Theoretische Modelle zur Entwicklung der Artenvielfalt. Gehen wir von heute 20 Millionen Arten aus, so könnte dies die Folge eines ungebremsten exponentiellen Wachstums sein (links), oder aber aus einem logistischen Wachstum resultieren, bei dem schon vor langer Zeit ein Gleichgewichtszustand erreicht wurde.



ziation und Aussterben in weit zurückliegenden Zeiten resultiert. Vor wahrscheinlich fast vier Milliarden Jahren ist das Leben entstanden; vielleicht mehrfach, vielleicht nur einmal. Alles heutige Leben geht jedenfalls auf einen gemeinsamen Vorfahren zurück, der zu dieser Zeit entstanden ist. Alles begann also mit einer Art, aus der die heute vielleicht 20 Millionen Arten hervorgingen. Die genaue Anzahl kennen wir nicht. Etwa 1,7 Millionen Arten sind bis heute beschrieben worden; alles andere basiert auf Hochrechnungen, die mit großen Fehlern behaftet sind. Doch gleich, ob die tatsächliche Artenzahl niedriger liegt oder sogar noch deutlich höher (die Schätzungen gehen bis 100 Millionen), der Zuwachs an Diversität im Laufe der Zeit ist wahrlich beeindruckend. Beeindruckend vor allem deshalb, weil das Aussterben von Arten ein ebenso natürlicher Prozess ist wie die Neuentstehung von



Abb. 2
 Beispiele der häufigsten Fossilgruppen (gemessen an der Anzahl von dokumentierten Fossilien) aus dem Sammlungs-schatz des Naturkundemuseums in Berlin.
 Linke Spalte von oben: Muschel, Koralle, Schnecke; Rechte Spalte von oben: Armfüßer, Kopffüßer, Trilobit.

Informationsträger Fossilien

Die Chance, zu einem Fossil zu werden, hängt von vielen Faktoren ab, aber generell gilt: je härter desto besser. Nur Organismen mit äußeren oder inneren Hartteilen haben gute Chancen, als Versteinerungen über Jahr-millionsen erhalten zu bleiben. Ideale Hartteile sind Kalkschalen, Opalskelette und Knochen. Nur Tiere mit solchen Hartteilen erlauben die Rekonstruktion der Diversitätsdynamik über lange Zeiträume. Von Tierstämmen ohne Hartteile gibt es nur wenige Fossilien, die überwiegend aus sogenannten Fossilagerstätten stammen. Fossilagerstätten erlauben durch außergewöhnliche Ablagerungsbedingungen die Erhaltung von Weichteilen. Sie sind damit Fenster in die Vergangenheit, in denen ein nahezu vollständiges Bild der Lebewelt überliefert wird. So wertvoll diese Lagerstätten sind; sie eignen sich nicht dazu, die Muster der historischen Biodiversität zu ermitteln, da sie zu selten sind und die gute Erhaltung oft durch ein episodisch lebensfeindliches Milieu bedingt ist, was nicht den normalen Lebensbedingungen entspricht. Sinnvoller ist es daher, sich bei allen Diversitätsanalysen allein auf die hartschaligen Organismen zu stützen. Damit betrachtet man zwar von vornherein nur einen ganz kleinen Ausschnitt der wirklichen Artenvielfalt, aber man hat den Vorteil, dass vergleichbare Daten erhoben werden können.

Der marine Fossilbericht des Phanerozoikums (der Zeit seit dem Kambrium), ist deutlich von einigen wenigen Großgruppen (Klassen) dominiert. Muscheln, schlosstragende Armfüßer (Brachiopoden), Schnecken, Kopffüßer (Cephalopoden), Korallen und Dreilapper (Trilobiten) sind in dieser Reihenfolge die bei weitem häufigsten Makrofossilien (Abb. 2). Sie machen insgesamt über 75% des gesamten Fossilberichts (ohne Einzeller) der Meere vergangener Zeitalter aus.

Arten (Speziation). Ein Nettozuwachs an Arten ist nur möglich, wenn die Speziationsraten langfristig höher sind als die Aussterberaten. Doch dieser Überschuss an Speziation muss nicht zwangsläufig stetig vorhanden sein. Man kann sich ebenso gut einen starken Speziationsüberschuss in der Vergangenheit und anschließenden Gleichgewichtszustand vorstellen. Diese beiden Szenarien sagen unterschiedliche Muster voraus (Abb. 1):

1. Die Wahrscheinlichkeit von Speziation ist ständig höher als die Wahrscheinlichkeit von Aussterben.

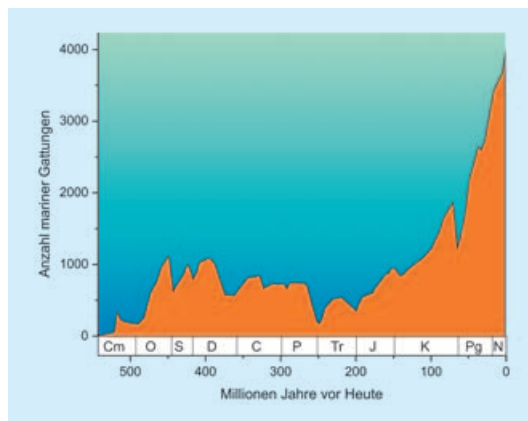
Die Folge wäre eine stetige Diversitätszunahme im Laufe der Zeit, die am ehesten mit einer Exponentialfunktion beschrieben werden kann.

2. Die Wahrscheinlichkeit von Speziation war irgendwann in der Vergangenheit erheblich höher als die Wahrscheinlichkeit des Aussterbens. Nach Erreichen eines Gleichgewichtszustands zwischen Speziation und Aussterben blieb die Artenvielfalt im Wesentlichen unverändert. In diesem Fall wäre die Diversitätsentwicklung am ehesten mit einer logistischen Funktion zu beschreiben.

Natürlich wird die Wahrheit irgendwo zwischen den beiden Szenarien liegen. Doch welches Szenario am ehesten dem tatsächlichen Verlauf entspricht ist wichtig, weil es uns verrät, ob es für die Artenvielfalt ähnliche Beschränkungen gibt wie zum Beispiel für Populationsgrößen. Analog zu den Speziations- und Aussterberaten ist die Größe einer Population vom Gleichgewicht zwischen Geburten- und Sterberaten abhängig. Alle natürlichen Populationen unterliegen Wachstumsbeschränkungen (Kapazitätsgrenzen), die vor allem auf die begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen

wodurch werden die Grenzen abgesteckt? Befindet sich die globale Artenvielfalt schon an der Kapazitätsgrenze, oder ist noch eine weitere Zunahme zu erwarten? Um diese Fragen zu beantworten, sind wir allein auf den Fossilbericht angewiesen, das heißt auf die durch Versteinerungen dokumentierte Entwicklung des Lebens in ihrem zeitlichen Kontext. So wertvoll die fossilen Daten sind, so vorsichtig müssen wir damit umgehen. Zu leicht kann man durch methodische Fehler und Lücken im Fossilbericht auf die falsche Fährte gelockt werden.

Abb. 3
Grafische Auswertung von Sepkoskis Kompendium (2002) zur Gattungsvielfalt von Meerestieren in den letzten 540 Millionen Jahren. Die Zeitperioden sind: Cm = Kambrium, O = Ordovizium, S = Silur, D = Devon, C = Karbon, P = Perm, Tr = Trias, J = Jura, K = Kreide, Pg = Paläogen, N = Neogen.



zen (z.B. Nahrung) zurückgeht. Mit Annäherung an eine Kapazitätsgrenze wird das Populationswachstum gebremst; meistens sowohl durch einen Rückgang der Geburtenraten als auch durch eine Erhöhung der Sterberaten. Der Mensch ist in gewisser Hinsicht eine Ausnahme, da er aktiv an einer Verschiebung der Kapazitätsgrenze nach oben arbeitet. Trotzdem wird sich das derzeitige exponentielle Bevölkerungswachstum nicht endlos fortsetzen können.

Gibt es nun für die Artenvielfalt ähnliche Kapazitätsgrenzen wie für die Größe von Populationen? Wenn ja,

Erforschung historischer Diversitätsmuster

Paläontologen würden sich wünschen, die Geschichte der Artenvielfalt über die gesamte Lebensgeschichte zu verfolgen. Aber das ist so gut wie unmöglich. Obwohl Fossilien bereits aus 3,5 Milliarden Jahre alten Gesteinen überliefert sind, ist die präkambrische (die Zeit vor dem Kambrium) Überlieferung einfach zu lückenhaft, um eine kontinuierliche Diversitätskurve zu rekonstruieren. Der Fossilbericht wird erst gut, nachdem eine Vielzahl von Organismen Hartteile entwickelt hatte. Dies geschah am Beginn des Kambriums vor 542 Millionen Jahren. Im Zuge dieser sogenannten kambrischen Explosion betraten scheinbar plötzlich fast alle modernen Tierstämme die Bühne des Lebens. Seitdem ist das Leben im Meer kontinuierlich durch Fossilien dokumentiert. Dieser als Phanerozoikum bezeichnete Zeitabschnitt ist der Fokus der meisten Untersuchungen zur historischen Diversität. Erst im Silur, über 100 Millionen Jahre später, gelang den ersten Tieren der Schritt an Land und die ersten höheren Pflanzen entstanden. Durch die Eroberung des Landes wurde natürlich global eine Zunahme der Artenvielfalt erreicht. Aus zwei Gründen ist es aber angeraten, für die Betrachtung der historischen Diversitätsentwicklung im Meer zu bleiben: (1) Da das Meer schon viel länger bewohnt ist, kann hier am ehesten damit gerechnet werden, dass Kapazitätsgrenzen

Klassifikation der Organismen

Alle Organismen werden in einem hierarchischen System klassifiziert. Die unterste gebräuchliche Einheit ist die Art (manchmal auch die Unterart). Jede Art gehört in eine Gattung, die Gattungen zu Familien, die Familien zu Ordnungen, die Ordnungen zu Klassen und die Klassen schließlich zu Stämmen, die letztlich zu Reichen zusammengefasst werden. Zwischen diesen hierarchischen Ebenen wurden noch zahlreiche Zwischenebenen (z.B. Unterfamilie) eingeführt. Diese hierarchische Gliederung hat sich als sehr praktikabel erwiesen, auch wenn in jüngerer Zeit eine weniger

künstliche, phylogenetische Systematik bevorzugt wird. In heutigen Lebensgemeinschaften besteht jedenfalls ein deutlicher statistischer Zusammenhang zwischen der Anzahl höherer Taxa (z.B. Gattungen, Familien) und dem Artenreichtum. Das ist wichtig, weil die zeitlichen Diversitätsanalysen derzeit noch nicht direkt auf Artebene durchführbar sind. Dies liegt zum einen an der relativen Kurzlebigkeit von Arten, die häufig unter den geologisch gebräuchlichen Zeitintervallen liegt; zum anderen verfälschen regional unterschiedliche Konzepte, wie eine Art definiert wird, das Muster zu stark.

schon erreicht wurden, (2) der Fossilbericht an Land ist viel schlechter als im Meer; besonders im Paläozoikum (vor 542 – 251 Millionen Jahre) ist die Überlieferung äußerst lückenhaft.

Die historische Entwicklung der globalen Diversität hat Wissenschaftler schon sehr lange interessiert. Die erste Diversitätskurve wurde bereits 1860 vom britischen Geologen John Phillips erstellt. In den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurde die Erkundung der historischen Diversität neu belebt. Erstmals standen zu dieser Zeit umfassende Kompilationen zur Taxonomie der wirbellosen Fossilien zur Verfügung, in denen auch Angaben zu deren zeitlicher Verbreitung zu finden waren. Damit konnten Diversitätskurven auf verschiedenen taxonomischen Ebenen erstellt werden. Die Kurven zeigten sowohl auf Familien- als auch auf Gattungsebene einen Verlauf, der am ehesten einer exponentiellen Wachstumskurve entspricht. Dem amerikanischen Paläontologen David Raup fiel bereits 1972 auf, dass diese scheinbar unbegrenzte Diversitätszunahme erstaunlich gut mit der globalen Überlieferung von Sedimentgesteinen übereinstimmt. Es ist schon lange bekannt, dass die Erhaltung von Gesteinen exponentiell mit dem Alter abnimmt. Mit zunehmendem Alter werden immer mehr ältere Gesteine durch Erosion abgetragen und mit ihnen auch die Fossilien. Je weniger Fossilien aber vorhanden sind, desto weniger Diversität ist zu erwarten. Damit könnte die scheinbar exponentielle Diversitätszunahme in Wirklichkeit konstante Diversität bedeuten. An dieser Kritik änderte auch der große Fleiß des amerikanischen Paläontologen Jack Sepkoski nichts, der zusätzlich zu den existierenden Kompilationen hunderte von Arbeiten mit neueren Angaben zur Lebensdauer mariner Tiere auswertete und schließlich über 36.000 Gattungen berücksichtigt konnte (Abb. 3).

540 Millionen Jahre Diversität im Computer

Um der Kritik zu begegnen, müssen die Daten anders gesammelt und ausgewertet werden. Alle früheren Kompilationen betrachteten einfach das älteste und jüngste Auftreten eines Taxons (Gattung oder Familie) und kümmerten sich weder um dessen Häufigkeit, noch um generelle Lücken im Fossilbericht. Damit ist es unmöglich, die Zuverlässigkeit der ermittelten Lebensdauern und die Vollständigkeit des Fossilberichts zu beurteilen. Dies ist nur möglich, wenn einzelne Fossilvorkommen dokumentiert werden und nach Möglichkeit auch die Häufigkeit jeder Art. Mit den so erhobenen Daten kann dann mit modernen statistischen Methoden eine Standardisierung durchgeführt werden, die die Heterogenitäten im Fossilbericht aus-

gleicht (Abb. 4). Bevor die Statistik angewendet werden kann, müssen aber ausreichend Daten erhoben werden. Als Faustregel gilt, dass die Anzahl der erhobenen Fossilvorkommen deutlich über der zu erwartenden Diversität liegen sollte, das heißt es müssen hunderttausende oder sogar Millionen von Fossilien dokumentiert werden. Es ist offensichtlich, dass eine Person oder eine kleine Forschergruppe dies nicht leisten kann. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2000 in Amerika die Paleobiology Database gegründet, die Fossilvorkommen der ganzen Welt und aus dem

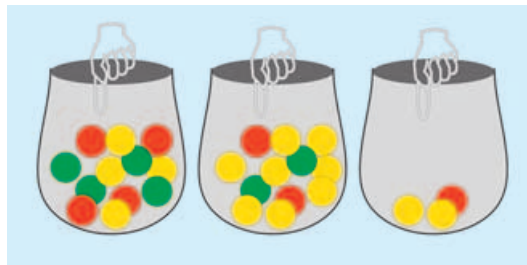


Abb. 4

Methoden der Standardisierung zur Beurteilung von Diversitätsveränderungen. Die drei Töpfe repräsentieren geologische Zeitintervalle, in denen von links nach rechts zwölf, zwölf und drei Fossilien gefunden und als drei, drei und zwei verschiedene Arten identifiziert wurden. Es ist sofort ersichtlich, dass die Diversität im rechten Topf nur geringer ist, weil dort auch die Anzahl von Fossilien geringer ist. Um ein biologisches Signal zu extrahieren, muss die Anzahl von Fossilien in jedem Topf statistisch auf das gleiche Niveau gebracht werden, um dann die verschiedenen Arten zu zählen. Im Beispiel lässt man den Computer wiederholt zufällig drei Fossilien aus jedem Topf ziehen, zählt dann die Arten und mittelt die Ergebnisse. Würde man das Ziehen und Zählen unendlich oft wiederholen, kämen schließlich im Durchschnitt im linken Topf 2,23 im mittleren Topf 1,89 und im rechten Topf 2,0 Arten heraus. Bei fairer Behandlung haben wir also die geringste Diversität im mittleren Topf, was durch die Dominanz der gelben Arten zustande kommt.

gesamten Phanerozoikum dokumentiert. Die Daten werden in einer riesigen Datenbank aufgezeichnet, die frei im Internet verfügbar ist (<http://paleodb.org>). Derzeit arbeiten 180 Wissenschaftler aus 125 Institutionen und 20 Ländern an dem Projekt. Das Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin ist dabei die aktivste Institution und stellte allein über 20% der gesamten marinen Daten ein. Dieser große Beitrag ist neben persönlichem Engagement der Mitarbeiter auch der finanziellen Förderung durch die VolkswagenStiftung zu verdanken. Mit den derzeit ca. 2,8 Millionen marinen Fossilien in der Datenbank ist es nunmehr möglich, die Entwicklung der marinen Diversität ganz neu zu beurteilen.



Prof. Dr. Wolfgang Kießling
 Jg. 1965. Studium der Geologie/Paläontologie an der Universität Erlangen-Nürnberg. Promotion 1995 über die Ökologie mesozoischer Radiolarien. Wissenschaftlich tätig in Erlangen, Chicago und Berlin. Feldforschung in den Alpen, Oman, Patagonien und Antarktis. Seit 2006 Lichtenberg-Professor für Evolutionäre Paläoökologie am Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin, gefördert durch die VolkswagenStiftung. Seine Forschung ist auf großmaßstäbliche Evolutionsmuster ausgerichtet, die mit Hilfe großer Datenbanken, moderner statistischer Methoden und innovativen Fragestellungen untersucht werden. Forschungsthemen: Entwicklung und Biodiversität von Riffen, Stabilität mariner Ökosysteme auf langen Zeitskalen, Massenaussterben, ökologische Abhängigkeiten von Evolutionsdynamik.

Kontakt
 Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin
 Invalidenstr. 43
 D-10115 Berlin
 Tel.: +49 30 2093-8576
 Fax: +49 30 2093-8868
 E-Mail: wolfgang.kiessling@museum.hu-berlin.de

Zunächst muss betont werden, dass das Ziel der Analyse ist, die biologisch relevanten Veränderungen der Diversität zu ermitteln. Das heißt, es kommt vor allem auf die Form der Kurve an, nicht auf die absoluten Zahlen. Die tatsächliche Anzahl von Taxa, die in einem Zeitintervall der Vergangenheit gelebt haben, wird niemals vollständig erfasst werden können und bestenfalls durch Hochrechnungen ermittelbar sein. Bei der Auswertung muss deshalb größter Wert auf Fairness gelegt werden. Das wird durch ein stringentes Auswertungsprotokoll mit folgenden Regeln gewährleistet: (1) Ausschließlich fossile Daten werden berücksichtigt. Die Beprobung heute lebender (rezenter) Organismen ist so unverhältnismäßig besser als in jedem fossilen Zeitintervall, dass allein durch die Berücksichtigung rezenter Daten ein scheinbar steiler Diversitätsanstieg vorgetäuscht wird. (2) Die Zeitintervalle, für welche die Diversität ermittelt wird, sind möglichst gleich lang. Da die traditionelle geologische Zeitskala unterschiedlich lange Intervalle (Stufen) beinhaltet, müssen einige Intervalle zusammengefasst und andere geteilt werden, um das zu erreichen. (3) Die Anzahl der berücksichtigten Fossilien sollte in jedem Zeitintervall gleich sein, um Heterogenitäten im Fossilbericht auszugleichen (vor allem den exponentiellen Trend in der Gesteinsüberlieferung). Dies wird mit Hilfe des zufälligen Ziehens von Fossilien durch den Computer erreicht (Abb. 4). Nach Berücksichtigung dieser Regeln ergibt sich ein ganz anderes Bild als in allen früheren Analysen (Abb. 5). Die neue Kurve basiert auf 50 etwa 10 Millionen Jahre langen Intervallen, aus denen jeweils etwa 12.000 Fossilien gezogen wurden. Diese Zahlen mögen für einige Kritiker noch ziemlich gering erscheinen, aber der marine Fossilbericht gibt derzeit einfach nicht mehr her. Aus einigen Intervallen könnten wir ohne Probleme über 100.000 Fossilien ziehen, aber Regel 3 gebietet, sich stets an dem Intervall zu orientieren, wo der Fossilbericht besonders schlecht ist.

Implikationen der neuen Diversitätskurve

Was zeigt die neue Kurve (Abb. 5) im Hinblick auf die eingangs formulierten Fragen? Zunächst ist offensichtlich, dass die Diversitätsschwankungen wesentlich größer waren als früher angenommen wurde (vgl. Abb. 3). Ferner kann man sehen, dass eine Diversitätszunahme zwar erkennbar ist, aber wesentlich geringer ausfällt als nach den früheren Auswertungen. Eine exponentielle Zunahme ohne Beschränkung ist unwahrscheinlich, wenn man einmal von dem immer noch steilen Anstieg in Paläogen und Neogen (Känozoikum) absieht. Dieser Anstieg ist aber vermutlich ein Artefakt, das auf die deutlich bessere Erhaltung anatomischer Details in jüngeren Fossilien zurückzuführen

ist. Diese Verfälschung kann ohne zusätzliche Daten nicht ausgeglichen werden. Außerdem ist die geographische Abdeckung mit Fossildaten im Neogen wesentlich besser als in allen älteren Zeiten, was ebenfalls für eine artifizielle Diversitätszunahme spricht. Ein einfaches logistisches Wachstum mit Annäherung an eine Kapazitätsgrenze ist allerdings auch nicht ersichtlich. Eher erscheint es so, dass mindestens zwei Kapazitätsgrenzen existierten, eine niedrigere im Paläozoikum und eine höhere seit der jüngeren Jurazeit (vor ca. 150 Millionen Jahren). Biologisch lässt sich die höhere Kapazitätsgrenze seit der Jurazeit durch die Realisierung neuer ökologischer Nischen erklären. Mehrere Gruppen schafften es, Nahrungsressourcen im Sediment zu erschließen, und die Mobilität der Organismen auf dem Meeresboden nahm zu. Vielleicht hat auch die Zunahme des Nährstoffeintrags vom Land eine Rolle gespielt. Interessant ist auch, dass die Diversität im jüngeren Paläozoikum (jüngeres Devon bis älteres Perm, also vor 380 bis 280 Millionen Jahren) und im frühen Mesozoikum (vor 250 bis 180 Millionen Jahren) deutlich unterhalb der frühpaläozoischen Kapazitätsgrenze lag. Große Aussterbeereignisse, Klimawandel und andere Veränderungen im Erdsystem waren vermutlich dafür verantwortlich. Welche Faktoren im Einzelnen die Entwicklung der globalen Diversität auf welchen zeitlichen Skalen beeinflussen, muss noch geklärt werden. Mit der jetzt endlich zuverlässigen Bestimmung der Muster ist der Weg frei, gezielt Hypothesen zu formulieren und zu testen. Die Arbeitsgruppe »Evolutionäre Paläoökologie« am Berliner Museum für Naturkunde beschäftigt sich derzeit, gefördert durch die VolkswagenStiftung, mit den Ursachen des sehr starken Diversitätsanstiegs innerhalb der Jurazeit.

Abb. 5
 Standardisierte Diversitätskurve mariner Tiergattungen nach Daten in der Paleobiology Database (Abkürzungen für die Zeitperioden: siehe Abb. 3).

