

Zonengliederung und Zeitmessung in der Erdgeschichte.

Von Dr. C. Diener.

Es gilt als ein Grundproblem der Biostratigraphie, eine Zeiteinheit ausfindig zu machen, die die Länge geologischer Zeiträume zu messen gestatten würde. Man geht dabei von den Veränderungen aus, die die Faunen und Floren im Laufe der Erdgeschichte erlitten haben. Von einer absoluten, in Jahrtausenden auszudrückenden Zeitdauerbestimmung muß man allerdings absehen und sich auf eine Ermittlung der relativen Zeitdauer der einzelnen Ären, Perioden und Epochen beschränken. Wiederholt ist die Möglichkeit betont worden, mit Hilfe der Zonengliederung ein solches Zeitmaß in der Erdgeschichte aufzustellen. Neumayr, in jüngster Zeit Wedekind und Pompeckj sind für die Verwendbarkeit der „Zone“ als einer geologischen Zeiteinheit eingetreten. Sie glauben, daß man die relative Länge einzelner Perioden nach der Zahl der innerhalb derselben unterscheidbaren Zonen ausdrücken könne.

Die Zonengliederung bietet uns einen zeitlichen Ausdruck für die Umprägungen der organischen Welt. Um über ihre Bedeutung für die Frage der Zeitmessung in der Erdgeschichte Klarheit zu gewinnen, ist es unerläßlich, zunächst den Begriff und das Wesen einer geologischen oder paläontologischen Zone festzustellen und eine präzise Terminologie in Vorschlag zu bringen, deren Gebrauch Mißverständnisse ausschließt.

Viele Autoren gebrauchen die Bezeichnung „Zone“ für eine beliebige Schicht oder Schichtgruppe, die durch eine bestimmte Fauna oder durch die Häufigkeit eines bestimmten Fossils ausgezeichnet ist. Eine größere Verbreitung und allgemeinere Bedeutung hat der Terminus „Zone“ in der stratigraphischen Geologie zuerst durch Oppels Buch „Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschland“ (Stuttgart 1856/58) erhalten. Oppel unterschied jede der kleineren Unterabteilungen einer Jurastufe, die ihm durch eine besondere, ihr eigentümliche Fauna charakterisiert erschien, als Zone. Seine Zonengliederung bedeutet eine Auflösung der Stufen in ihre Einzelelemente auf Grund einer Untersuchung ihres faunistischen Inhalts. Die Zonen Oppels, deren jede nach einem bezeichnenden Fossil, zumeist nach

einem Ammoniten, benannt wurde, sind daher zunächst räumliche, nicht zeitliche Begriffe. Auch die Beschlüsse des Internationalen Geologenkongresses in Bologna (1881) zur Vereinheitlichung der stratigraphischen Nomenklatur erkennen dem Terminus „Zone“ nur einen räumlichen, nicht einen chronologischen Wert zu. Damit stimmt die Auffassung des Zonenbegriffes bei der Mehrzahl der Geologen auch heute noch überein. Unter „Zone“ oder „Faunenzone“ versteht man daher eine der aus der Gliederung der höheren stratigraphischen Kategorien (System, Serie, Stufe) auf Grund der Verteilung der einzelnen Faunen ermittelten und durch eine besondere Fauna charakterisierten kleinsten Unterabteilungen.

Durch ihren faunistischen Inhalt erlangen die Zonen sowohl einen zoologischen als auch einen chronologischen Wert, insoferne, als der Ablagerung der die Einzelfauna umschließenden Schicht, beziehungsweise der Lebensdauer jener Fauna ein bestimmter Zeitabschnitt entspricht. Indem bald der eine, bald der andere dieser beiden Werte stärker oder gar allein betont wurde, trat bei verschiedenen Autoren an Stelle des ursprünglichen ein neuer Zonenbegriff. Wie weit diese Wandlungen des Zonenbegriffes gegangen sind, läßt sich an dem folgenden Beispiel ersichtlich machen.

Zone des *Ammonites anceps* kann bedeuten:

1. Eine mittlere Abteilung der Kellowaystufe, charakterisiert durch eine ihr eigentümliche Fauna, in der *Ammonites anceps* eine Rolle spielt (Oppel, Wright, Groussouvre u. a.).

2. Die Fauna, die im mittleren Kelloway mit *Ammonites anceps* vergesellschaftet ist (Tate, v. Mojsisovics p. p., Neumayr p. p., Pompeckj p. p.).

3. Eine Entwicklungsphase der Marinf fauna des oberen Jura (Neumayr p. p.).

4. Die Zeitdauer des mittleren Kelloway, ausgedrückt durch die Lebensdauer seiner verbreitetsten Arten, nicht nur des *Ammonites anceps* (Neumayr p. p.).

5. Geographische Verbreitung und Lebensdauer des *Ammonites anceps* (Benecke, Dacque).

6. Verbreitungszeit des *Ammonites anceps* und seiner Begleitfauna (Pompeckj p. p.).

7. Lebensdauer des *Ammonites anceps* (Wedekind).

In der modernen stratigraphischen Literatur bezeichnet demnach der Terminus „Zone“ bald eine Schicht oder Schichtgruppe mit einer bestimmten ihr eigentümlichen Fauna, bald diese Fauna selbst, bald die Dauer der Zeit der Bildung jener Schicht, beziehungsweise die Lebensdauer jener Fauna, bald nur die Lebensdauer einer bestimmten, jener Fauna angehörigen Art, eventuell deren Lebensdauer und geographische Verbreitung.

Um aus dieser Verwirrung herauszukommen, ist die Wiederherstellung des Zonenbegriffes in seiner ursprünglichen, oben präzisierten Fassung unerlässlich. Als ein dem räumlichen Terminus „Zone“ entsprechender chronologischer Ausdruck ergibt sich nach einem Vorschlage auf dem Internationalen Geologenkongreß in Bologna (Schweizer Komitee) die Bezeichnung „Moment“ oder „Zonenmoment“. Buckman's Terminus „Hemera“, der ebenfalls einen zeitlichen Begriff deckt, ist keineswegs identisch mit „Zonenmoment“, da der Zeitabschnitt einer Hemera weder der Lebensdauer einer Fauna noch einer einzelnen Art, sondern der Blüte (Akme) einer bestimmten Ammonitenspezies entspricht. Die Lebensdauer einer Art wird nach einem Vorschlage S. Buckman's am passendsten „Biozone“ genannt.

Der Versuch, die Zonengliederung für eine Zeitmessung in der Erdgeschichte zu verwerten, kann sich sowohl auf die Zonenmomente als auf die Biozonen stützen. Wesentlich ist nur, daß das Einheitsmaß, mögen wir es im Moment oder in der Biozone suchen, von stets gleichbleibender (konstanter) Länge sei.

Auf dem Wege der Zonengliederung Oppels gelangt man zunächst zu der Aneinanderreihung von Momenten, nicht zur Ermittlung von Biozonen einzelner bestimmter Arten. Für Oppels Faunazonen ist die Vergesellschaftung der Arten charakteristisch. Für die Altersbestimmung einer Fauna ist stets das Gesamtbild der stratigraphisch empfindlichen Elemente, nicht das sporadische Auftreten einzelner, bisher für geologisch älter oder jünger gehaltenen Arten entscheidend. Die Brauchbarkeit dieser Zonengliederung für stratigraphische Zwecke wird durch das ausnahmsweise Hinaufreichen einer

sonst für eine bestimmte Zone leitenden Art in die nächsthöhere keineswegs abgeschwächt. Für die Charakterisierung einer Zonenfauna ist allerdings der Wert der verschiedenen Komponenten ein sehr ungleicher. Da das Prinzip der Zoneneinteilung auf den Veränderungen in der organischen Welt beruht, so müssen jene Tiergruppen bevorzugt werden, die sich am raschesten verändern. Je nachdem man sich auf die eine oder andere Komponente stützt, wird die Zoneneinteilung sehr verschieden ausfallen, weil die Entwicklung der einzelnen Tiergruppen in einem sehr verschiedenen Tempo vor sich gegangen ist. Die Rudistenzonen der französischen Kreide fallen weder mit den Seeigelzonen noch mit den Ammonitenzonen zusammen. Im Mesozoikum erreicht jene Zonengliederung die größte Feinheit, die sich auf die Faunenfolge der Ammoniten stützt. Aber auch die auf die Ammoniten begründeten Zoneneinteilungen könnten im besten Falle nur zur Gewinnung eines Einheitsmaßes führen, dessen Gültigkeit auf ein bestimmtes tiergeographisches Reich beschränkt ist. Denn die Zonengliederung verschiedener tiergeographischer Reiche ergibt auch verschiedene Zonenfolgen, wie dies insbesondere aus einem Vergleiche der Detailgliederung der unteren Kreide in Südfrankreich und Norddeutschland ersichtlich ist.

Neumayr hat zuerst den Versuch unternommen, aus dem Moment, als der Dauer einer Oppelschen Jurazone, ein Einheitsmaß für die relative Zeitdauerbestimmung der Perioden innerhalb der mesozoischen Ära zu gewinnen. Den Wert des Zonenmoments als Einheitsmaß erblickte er in der Voraussetzung einer gleich langen Lebensdauer des stratigraphisch wichtigsten Teiles der Meeresfauna einer jeden Jurazone, insbesondere der Ammoniten. Diese Voraussetzung beruhte wieder auf der angeblich empirisch festgestellten Tatsache, daß die Dauer einer Mutation aus verschiedenen Formenreihen der Ammoniten im Durchschnitt die gleiche sei und der Bildungszeit einer Zone entspreche. Neumayr nannte daher die Zonengliederung eine geologische Gliederung, gestützt auf die Mutationen der häufigsten Typen der universellen Faunen. Da Oppels Arten in der Schärfe der Umgrenzung den Mutationen Waagens gleichkommen, so stellt eine Oppelsche Jurazone für Neumayr die Durchschnittsdauer einer Muta

tion der Ammoniten dar. Die Zonenmomente können daher ein Einheitsmaß abgeben, an dem die relative Länge jeder einzelnen Periode gemessen werden kann, für die sich eine Zonen-gliederung als durchführbar erweist, da jede Zone einer bestimmten Einzelphase in der Entwicklung der Ammoniten entspricht und als solche zu ihrer Bildung die gleiche Dauer benötigte.

Leider kommt den Mutationen Waagens, von denen Neumayr bei seiner Überlegung ausging, nach unseren heutigen Erfahrungen jene Bedeutung nicht zu, die ihnen Waagen und Neumayr beilegen zu dürfen glaubten. In der oft zitierten Formenreihe des *Ammonites subradiatus* Waagens sind die einzelnen Mutationen durchaus nicht auf eine bestimmte Zone beschränkt. *Oppelia aspidoides* erscheint in Frankreich und der Schweiz bereits in denselben Schichten wie ihr angeblicher Vorläufer *Oppelia subradiata*. Auch *Oppelia aspidoides* und *Oppelia fusca* kommen vielfach zusammen vor. *Oppelia subcostaria* endlich geht gar bis ins Oxford hinauf. Daß der chronologische Wert der Mutationen von den beiden genannten Forschern überschätzt worden ist, lehren auch einige Cephalopodenfaunen des alpinen Lias, die zwar nur eine einzige Zone vertreten, aber gleichwohl Angehörige einer Ammonitengattung von sehr verschiedener Entwicklungshöhe umschließen, wie die Liasfauna von Ballino. Hier erscheinen gleichzeitig und nebeneinander Formen, die man unbedingt als Mutationen im Sinne Waagens ansehen müßte, wenn sie in übereinander folgenden Schichten beobachtet worden wären.

Aber auch die Voraussetzung Neumayrs, daß die stratigraphisch wichtigsten Elemente innerhalb der Ammonitenfauna einer bestimmten Jurazone Oppels auf diese allein beschränkt bleiben, beziehungsweise, daß die Zeitmomente der einzelnen Zonen mit den Biozonen der stratigraphisch empfindlichsten Ammonitenarten, die in jenen Zonen auftreten, zusammenfallen, hat sich als hinfällig erwiesen. Viele als Leitfossilien hochgeschätzte Ammonitenspezies binden sich doch nicht überall strenge an eine bestimmte Zone, stets muß man vielmehr mit gelegentlichen Inkongruenzen einer Art in dieser Hinsicht rechnen. Wie Benecke an der Hand sehr sorgfältiger Untersuchungen gezeigt hat, ist wohl die Aufeinanderfolge der Ammo-

mitenfaunen des Lias und mittleren Jura in Württemberg und Lothringen die gleiche, ohne daß jedoch jede einzelne Form in beiden Gebieten genau gleichzeitig auftreten und wieder verschwinden würde. Besonders auffallende Beispiele von Heterochronismen stratigraphisch wichtiger Ammonitenarten ergeben sich bei einem Vergleiche der Ammonitenfaunen des alpinen und des mitteleuropäischen Juragebietes. Aber selbst wenn man seine Untersuchungen auf die Faunen des letzteren beschränkt, kommt man zu der Überzeugung, daß die Lebensdauer vieler als leitend für bestimmte Zonen angesehener Arten die Dauer eines Zonenmoments gelegentlich überschreitet, daß weder der Beginn, noch das Ende der Biozonen mit bestimmten Zonenmomenten genau und für alle Gegenden zusammenfällt. Keinesfalls repräsentiert daher ein Zonenmoment *Oppels* die mittlere Durchschnittsdauer einer Ammonitenspezies, wie das *Neumayr* annehmen zu dürfen glaubte. Es fehlt daher der Beweis für die Eignung der Zonen *Oppels* zu einem Einheitsmaß für die Zeitmessung in der Erdgeschichte.

Der chronologische Wert der aus der Auseinanderreihung von Zonenmomenten ermittelten Zeitskala ist schon aus dem Grunde ein ungleicher, weil die Methode der Zonengliederung dem subjektiven Ermessen des einzelnen Forschers bei der Aufstellung der Zonen einen sehr weiten Spielraum gewährt. Die Entscheidung der Frage, ob eine bestimmte Lokalfauna eine selbständige Entwicklungsphase in der Meeresfauna der betreffenden Formation oder Stufe repräsentiert und demgemäß zu der Aufstellung einer besonderen Zone berechtigt, wird verschieden ausfallen, je nachdem man einen größeren oder geringeren Prozentsatz eigentümlicher Arten als maßgebend für die Aufstellung einer Zone ansieht. *Kilians* Zonen der Unterkreide sind erheblich enger gefaßt als *Oppels* Jura-zonen. Die Zeitmomente, die den Zonen dieser beiden Forscher entsprechen, sind daher keinesfalls in bezug auf ihre Länge miteinander direkt vergleichbare Größen.

In den letzten zwanzig Jahren sehen wir auch in der Juraeinteilung die Tendenz einer engeren Fassung der Zonen immer mehr Platz greifen. Im Oberlias und unteren Dogger zum Beispiel erscheint die Trennung der Zonen überhaupt nicht mehr so sehr auf das Auftreten einer größeren Zahl

selbständiger Spezies, als vielmehr auf die Häufigkeit gewisser Elemente, insbesondere einzelner Arten der Gattung *Harporceras*, in einer Faungesellschaft begründet. Während noch im Jahre 1892 Haug an der Einteilung des Oberlias und Aalenien in sechs Zonen festhielt, treiben heute einzelne Forscher die Kleingliederung so weit, daß sich für diese beiden Stufen eine Einteilung in 17 bis 27 Zonen ergibt. Eine solche Zonengliederung droht in die minutiöse Aneinanderreihung lokaler Horizonte auszuarten, in der Neumayr seinerzeit die größte Gefahr für einen Erfolg der Zonengliederung erblickt hat. Jedenfalls repräsentieren die den verschiedenen Zonen zukommenden Momente ungleiche Zeitabschnitte, da sie, was die Selbständigkeit ihrer Faunen betrifft, außerordentlich verschiedenwertig sind. Als Maßeinheiten könnten jedenfalls nur Momente in Betracht kommen, die gleich weit gefaßten Zonen entsprechen, in welchem Falle freilich die gleiche Zeitdauer solcher Zonenmomente immer erst noch bewiesen werden müßte. Keinesfalls jedoch ließe sich ein solcher Beweis für unsere Jurazonen erbringen, weder für die alten Jurazonen Oppels, noch für jene, die sich aus einer der modernen Kleingliederungen ergeben.

Noch aus einem anderen Grunde reichen die Zonenmomente nicht aus, die geologische Chronologie in Beziehung zu der gewöhnlich angenommenen zu setzen. Obwohl die Zonen selbst auf biologische Merkmale der in ihnen eingeschlossenen Marinfraunen begründet sind, scheint doch die Dauer der Zonen in bestimmten Regionen bis zu einem gewissen Grade ebensoviele von physikalischen, insbesondere tektonischen, als von biologischen Momenten abhängig zu sein. Nach Pompeckys Meinung ist die Unstetigkeit der Sedimentierung eine der Hauptursachen für die Zonendifferenzierung im schwäbischen Jura. Im alpinen Jura fehlen die scharfen Schnitte zwischen den einzelnen Zonen, die für den schwäbischen Jura so charakteristisch sind. Tektonische Vorgänge und ihre Begleiterscheinungen haben in dem abgeschlossenen Becken des süddeutschen Jurameeres jene unstetige Faunenentfaltung mit der häufigen Invasion unvermittelt auftretender Ammonitengattungen bedingt, die dort eine so scharfe Zonengliederung gestattet. Auch wenn man eine gleichmäßig ver-

teilte Tendenz zur Abänderung des organischen Lebens annimmt, so kann doch eine solche Annahme nicht für den Gang der geologischen Ereignisse gelten, durch welche die Sondernung der Ammonitenfaunen im süddeutschen Jura in die einzelnen Zonen wesentlich beeinflußt worden sein dürfte. Da diese geologischen Ereignisse sich keinesfalls rhythmisch, in gleichen Zeitabständen vollzogen haben, können auch die aus den Zonen gewonnenen Momente nicht das gewünschte Einheitsmaß darstellen, sind überhaupt keine in bezug auf ihre Zeitdauer vergleichbaren Maßeinheiten.

Man kann daher durch die Aneinanderreihung von Zonenmomenten wohl zu einer Zeitskala gelangen, deren einzelne Abschnitte der Dauer einer Einzelfauna mit verschiedenen abgestuften Selbständigkeitsgraden entsprechen, jedoch nicht die gleiche Zeitlänge besitzen. Die Ermittlung der Faunenzoneen führt somit nicht zu dem Ziel, eine Zeiteinheit ausfindig zu machen, die das Einheitsmaß für die Dauer geologischer Ereignisse abgeben könnte.

Es bleibt noch der zweite Weg zu diesem Ziel übrig, der Versuch einer Messung der Zeit an den Biozonen, beziehungsweise an der Lebensdauer bestimmter Spezies. Da in die Scheidung der Faunenzoneen Momente hineinspielen, die in die ruhige, normale Entwicklung des organischen Lebens störend eingreifen, muß eine Zoneneinteilung mit Ausschaltung jener Momente gesucht werden. Das Problem der Zeitmessung in der Erdgeschichte wird dadurch, wenigstens scheinbar, zu einem rein biologischen Problem, indem man Zeitspannen aufsucht, die den Biozonen von Ammonitenarten entsprechen, die Stammes- oder Formenreihen im Sinne Waa-gens und Neumayrs angehören. Pompeckj¹⁾ hat den Weg zur Lösung dieses Problems angedeutet, Wedekind²⁾ ist ihm gegangen.

Für die Möglichkeit der Ermittlung gleich langer Biozonen — nur solche können für eine Messung geologischer Ereignisse verwertbare Zeiteinheiten abgeben — kommen die

¹⁾ J. F. Pompeckj: Die Bedeutung des schäbischen Jura für die Erdgeschichte. Stuttgart, 1914.

²⁾ R. Wedekind: Ueber die Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie. Berlin, 1916.

drei folgenden Fragen in Betracht: 1. Welche Biozonen sollen für die zu ermittelnde Zeitskala gelten, jene, die der gesamten Lebensdauer einer Art oder nur deren Lebensdauer in einem bestimmten Gebiete entsprechen? 2. Welche Gewähr bieten die unmittelbar und kontinuierlich auseinander hervorgehenden Arten einer Formenreihe (Mutationen Waagen) für eine gleiche Lebensdauer? 3. Welche Anhaltspunkte besitzen wir für die Messung der Biozonen?

Pompeckj hält die Benützung von Biozonen zur Feststellung geologischer Zeitmaße nur in jenen Gegenden für möglich, wo lange Zeiträume hindurch die gleichen physikalischen Verhältnisse herrschten, die Summe der artumprägenden Faktoren daher in gleichartiger Weise wirken konnte. Es kommen demgemäß für den Jura nicht die mitteleuropäischen, sondern die alpin-mediterranen Sedimente in dieser Hinsicht in Betracht. Leider bereiten diese aus anderen Ursachen (linsenförmiges Auftreten der Fossilnester, Lückenhaftigkeit) der Schaffung einer gesicherten Grundlage für die Zonengliederung, die der Ermittlung der Biozonenfolge vorausgehen muß, außerordentliche Schwierigkeiten. Auch hat sich die Hoffnung, in den alpinen Sedimenten in zahlreichen Formenreihen von Ammoniten Art auf Art, Mutation auf Mutation bruchlos und in genetischer Folge erscheinen zu sehen, häufig (so in den Hallstätter Kalken der Trias) als trügerisch erwiesen. Immerhin könnten derartige Sedimente uns die als Maßeinheiten für die Zeitskala erforderlichen Biozonenfolgen liefern.

Anders steht es mit der Beantwortung der zweiten Frage nach den Erfahrungen, die uns zu der Annahme einer gleichen Lebensdauer für die unmittelbar und kontinuierlich auseinander hervorgegangenen Arten einer Formenreihe im alpinen Jura berechtigen. Wedekind erblickt allerdings in der nahen Verwandtschaft von zwei Ammonitenspezies zugleich eine Gewähr für deren übereinstimmende stratigraphische Empfindlichkeit, allein seine Beweisführung geht von einer Voraussetzung aus, die die Mehrzahl der Paläontologen kaum akzeptieren dürfte. Er behauptet nämlich, daß nur im Organismus selbst liegende Entwicklungsreize die Veränderungen der Arten bewirken, schließt hingegen äußere Faktoren, wie Änderungen der Lebensbedingungen usw., als Antrieb für die Entwicklung

der Tierwelt vollständig aus. Er schreibt daher den im direkten Deszendenzverhältnis stehenden Arten einer Formenreihe ein gleichbleibendes Entwicklungstempo zu, weil er sie als ein den inneren Entwicklungsreizen gegenüber einheitliches Objekt betrachtet, auf das jene Reize stets mit derselben Intensität einwirken, demzufolge die gleichen Wirkungen nur innerhalb der gleichen Zeiträume erzielen.

Wedekinds Annahme einer gleich langen Lebensdauer aller Arten, die derselben Formenreihe angehören, wird durch die Tatsachen selbst widerlegt. Neumayrs Stammesreihen der Gattung *Phylloceras* weisen eine sehr verschiedene Lebensdauer auf. In der Formenreihe des *Phylloceras ultramontanum* Zitt. folgt auf diese bezeichnende Spezies der *Opalinus*-Zone unmittelbar *Phylloceras mediterraneum* Neum., das aus der *Murchisonae*-Zone unverändert bis ins Tithon hinaufgeht. In Wedekinds Biozonenfolgen des Oberdevon nimmt die stratigraphische Empfindlichkeit der Arten von *Sporadoceras* und *Cheiloceras* in den jüngeren Horizonten dieser Serie so sehr ab, daß sie nicht mehr für eine Zonengliederung benützlich sind.

Die Biozonen aller im direkten Deszendenzverhältnis stehenden Arten einer Formenreihe sind bei den Ammoniten keineswegs gleich lang, wie Wedekind annehmen zu dürfen glaubte. Die Länge jeder einzelnen Biozone bedarf vielmehr einer besonderen Prüfung. Die Messung dieser Länge aber kann nur erfolgen an der Hand der Skala der Zonenmomente. An dieser Skala lesen wir die längere Lebensdauer des *Phylloceras mediterraneum* im Vergleich zu jener des *Phylloceras ultramontanum* ab. Da jedoch die Zonenmomente Zeitabschnitte von unbekannter relativer Länge darstellen, so sind wir auch außerstande, gleichlange Biozonen zu ermitteln, solange wir uns gezwungen sehen, die Biozonen nach den Zonenmomenten abzugrenzen.

Damit ergibt sich zugleich eine überaus ungünstige Prognose für alle Versuche, das Problem der geologischen Zeitmessung von rein biologischen Gesichtspunkten aus in Angriff zu nehmen, die von vornherein zur Unfruchtbarkeit verurteilt erscheinen.
