

4. Die unregelmäßige Verteilung der Erdbebenherde in der Wadati-Benioff-Zone (2008)¹

von

Giancarlo Scalera

Weitere Hinweise auf einen möglicherweise anderen Ursprung der Störfaktoren, welche in den Wadati-Benioff-Zonen (kurz WBZ) Erdbeben hervorrufen, bieten die Muster der Verteilung der Erdbebenherde, wenn diese großräumig betrachtet werden. In Abbildung 4 wird die ganze WBZ von Ecuador bis zum Feuerland dargestellt, wobei die büchel- oder büschelweise Anordnung der Hypozentren auffällt (Daten aus dem Register der neu berechneten Koordinaten der Hypozentren nach Engdahl et al., 1998). Diese faden- oder traubenförmigen Anhäufungen haben die Tendenz, sich gegen die Tiefe zu verzüngen, und

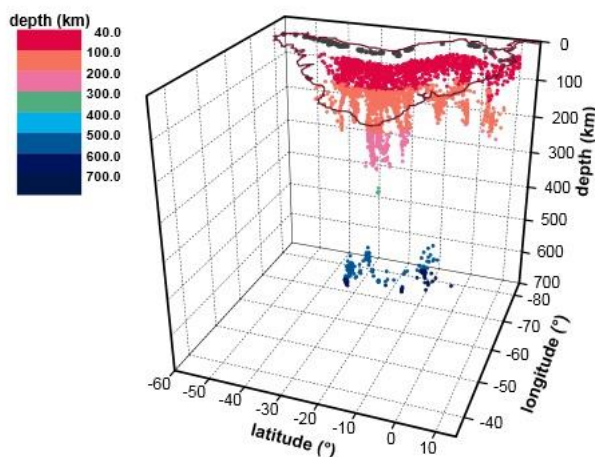


Abb. 4 Eine 3D-Darstellung der ganzen WBZ unter Südamerika entlang des Pazifikrandes. Die Hypozentren bilden traubenförmige Gruppierungen, die sich gegen die Tiefe verzüngen. Die Intervalle in denen mitteltiefe Beben (100 km - 300 km) fehlen, entsprechen denjenigen Bereichen an der Oberfläche, in denen es keine Vulkane gibt. Die primären Daten wurden den Registern der Erdbeben – (Engdahl et al., 1998) bzw. der vulkanischen Aktivität (Smithsonian Institution) entnommen. (Text gekürzt, CS)

können als ein typisches Merkmal betrachtet werden, wobei die Abstände zwischen den einzelnen „Trauben“ ein paar geographische Grade betragen können. Die traubenförmigen Gebilde suggerieren einen eng begrenzten, tiefen Ursprung der Störungen, die sich aufwärts zu größer werdenden Arealen ausbreiten. Wenn diese Erscheinungsform als charakteristisch angenommen wird, dann bleibt bei einem erneuten Ansatz zur Erklärung der WBZs wenig Raum, diese im Sinne einer abtauchenden Platte zu interpretieren. Es erscheint wahrscheinlicher, dass ein aufwärts gerichteter Material- oder Energiestrom bei ihrem

¹ Der Text wurde im Februar 2017 von Carl Strutinski übersetzt und im Anschluss daran mit Anmerkungen versehen.

Zustandekommen involviert ist. Die vulkanischen Regionen - die dunkelbraunen Punkte in Abb. 4 stellen Vulkane dar, die in geschichtlicher Zeit durch Ausbrüche dokumentiert sind - weisen eine Verteilung auf, die annähernd derjenigen der Erdbebenherde entspricht. Einige der in Nord-Süd-Richtung aufeinanderfolgenden Lücken innerhalb der Zone mitteltiefer Beben ($100 \text{ km} \leq \text{Tiefe} \leq 300 \text{ km}$) stehen in Beziehung zu vulkanfreien oder vulkanarmen Abschnitten und verstärken so die Sichtweise, die für eine enger als allgemein angenommene Beziehung zwischen seismischen und vulkanischen Erscheinungen spricht (Scalera, 1997). Geomorphologische und feldtektonische Studien innerhalb des Andenorogens belegen die schnelle Emporhebung des Gebirgszuges beginnend mit dem Miozän und ebenso die Bildung der Interanden-Depression als Resultat seitlicher Ausweitung (=lateral spreading) (Coltorti und Ollier, 2000). Das sind Tatsachen, die der Idee eines Einengungs-Orogens widersprechen. In einem Bereich, von dem angenommen wird, dass Subduktion zumindest seit der Kreidezeit fortwährend stattgefunden habe, erscheinen das junge Alter der Erhebungen sowie die tektonische Ruhe, die eine Phase der Einebnung der Kordillere ermöglichte, als sehr problematisch (Coltorti und Ollier, 2000). Deshalb scheint es an der Zeit zu sein, eine andere Energiequelle für die Gebirgsbildung in Erwägung zu ziehen. In einem der folgenden Abschnitte wird ein orogenes Modell vorgestellt werden, das diesen Fakten und Überlegungen Rechnung trägt.

Ein weiteres Beispiel liefert uns der Sunda-Bogen, der im Bereich zwischen Sumatra und den Andamanen-Inseln nur Hypozentren aufweist, welche Tiefen von 250-300 km nicht unterschreiten. Tiefere Hypozentren werden erst unter Java und weiter bis nach Neuguinea registriert, wobei die Herdtiefen bis 700 km hinunterreichen. Hier gruppieren sich die Bebenherde zu weiten, säulenförmigen Zonen, wobei die großen Inseln und Inselgruppen die Kapitelle dieser Zonen darstellen (Abb. 5). Das [postulierte, CS] in nord-nordöstlicher Richtung erfolgende Abtauchen des Ozeanbodens der Indischen Platte unter den Sunda-Bogen (Puspito und Shimazaki, 1995; Hafkenscheid et al., 2001) müsste gleichförmig und gleichmäßig vonstatten gehen, wozu aber die hier stattfindenden Erdbeben nicht gut ins Bild passen. Deshalb ist [auch hier, CS] „Subduktion“ als Erklärung für die uneinheitliche, säulenartige Anordnung der Hypozentren unter diesem Gebiet alles andere als überzeugend.

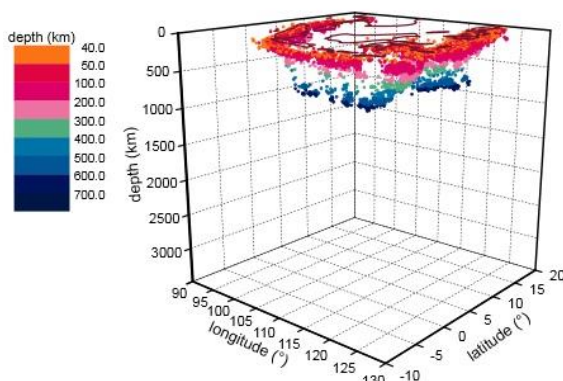


Abb. 5 Ein anderes Beispiel einer 3D-Darstellung von Bebenherden in dem Indochina-Sunda-Bogen. Die Hypozentren reihen sich in breite, säulenförmige Zonen ein, deren Kapitelle die großen Inseln und Inselgruppen darstellen. Diese typische Erscheinungsform widerspricht den Annahmen der Plattentektonik von einer subduzierenden Platte. Daten aus Engdahl et al. (1998). (Text gekürzt, CS)

Dieser Sachverhalt kann verallgemeinert werden; denn alle WBZs weisen dieses fadenförmige Muster der Hypozentren auf (Scalera, 2006 b, c; Scalera, 2007 a, b). Einige fadenförmige Gruppierungen können auch unter den Syntax-Zonen des Himalaya – also den Abschnitten, welche die ausgeprägteste Bogenform aufweisen – erkannt werden. Gleichfalls erscheinen sie unter den Bögen der Apenninen (Kalabrien-Bogen, Süd-Tyrrhenisches Meer) und Karpathen (Südkarpathen-Bogen, Vrancea-Abschnitt, Rumänien), wo singuläre zylinderförmige Anhäufungen von Herden erkennbar sind, die bis in Tiefen von 500 km beziehungsweise 200 km hinabreichen (siehe Abbildung 12 in Scalera, 2007 b).

All die Probleme und Paradoxa könnten auf eine viel natürlichere Weise gelöst werden, indem man plötzliche aseismische Phasenumwandlungen annimmt, die in großer Tiefe – unter Dehnung - Volumenvergrößerung bewirken, in subkrustalen Tiefen aber zu elastischem Bruch des bedeckenden spröden Materials führen, begleitet von einem etwas kontinuierlicheren, aber plötzlich einsetzenden anelastischen Fließen (Scalera, 2007 b). Diese „Subduktionen“, die in Kalabrien und im Vrancea-Gebiet entlang singulärer fadenförmiger Strukturen oder engräumiger Bänder stattfinden sollen, verursachen dem zur Zeit herrschenden Paradigma ernsthafte konzeptionelle Probleme. Solche Schwierigkeiten sollten als wahre Anomalien im Sinne Kuhns (Kuhn, 1962) angesehen werden, die eine Neuorientierung auf erdwissenschaftlichem Gebiet voraussagen.

[Auszug aus dem Aufsatz „Great and old earthquakes against great and old paradigms – paradoxes, historical roots, alternative answers“ (Große und alte Erdbeben im Gegensatz zu großen und alten Paradigmen – Paradoxa, geschichtliche Wurzeln, alternative Antworten), erschienen in *Adv. Geosci.*, 14, 41-57, 2008]

Anmerkungen. Die plattentektonische Interpretation einer WBZ ist wohlbekannt. Die Erdbeben finden statt, weil eine ozeanische „Platte“ sich unter eine kontinentale schiebt. Für die Andenregion sieht das dann etwa so aus, wie in Abbildung 1 dargestellt. Man bemerkt, dass die meisten Hypozentren sich innerhalb der „subduzierenden Platte“ befinden.

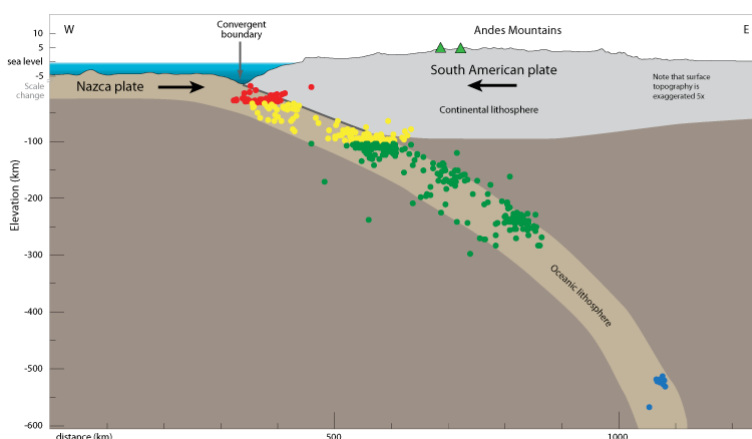
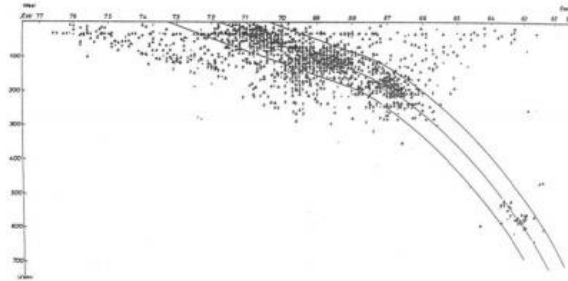


Abb. 1 Querschnitt durch die südamerikanische Subduktions-Zone, ungefähr entlang 22°S. Die grünen Dreiecke stellen Vulkane dar. Die Herde sind den Tiefen entsprechend verschiedenfarbig eingetragen. In Hellbraun die subduzierende Platte. Aus: Egger (2003)

Eine ältere Darstellung desselben Bereiches (Abb. 2) zeigt ein etwas anderes Bild, wenngleich auch darauf die vorausgesetzte Subduktionszone eingezeichnet ist. Es fällt aber sofort auf, dass hier ein bedeutender Teil der Erdbebenherde außerhalb der „subduzierenden Platte“ erscheint. Pratt (2001), der sich der Abbildung bedient, um gegen die Idee der Subduktion zu

Abb. 2 Erdbebenherde unter dem Andenorogen (zum Teil projiziert) zwischen 15 und 30° S. (Nach Teisseyre et al., 1974, übernommen aus Pratt, 2001)



argumentieren, bemerkt völlig zu Recht, dass die auf ihr angedeutete „subduzierende Platte“ den Eindruck vermittelt, sie wäre bloß ein Produkt des Wunschenkens.

Wir haben in dem wiedergegebenen Textfragment Scaleras ein weiteres Bild gesehen (siehe Abb. 4 in Scalera, 2008), das erstmals versucht, eine 3D-Darstellung der Erdbebenfoci unter den Anden zu vermitteln. Sowohl Pratt als auch Scalera sind sich darüber einig, dass Subduktion unter den gegebenen Umständen unglaublich erscheint. In einem folgenden Abschnitt seines Aufsatzes von 2008 schlägt Scalera ein Konzept vor, das die Verhältnisse in sogenannten Subduktionszonen in einem neuen Licht zu erklären versucht. Gemäß dieses neuen Ansatzes beginnt ein orogener Zyklus mit der Dehnung und Spreizung der Lithosphäre, die anfangs an der Oberfläche durch die Bildung eines länglichen Trogos gekennzeichnet ist, der die im Entstehen begriffenen Platten voneinander trennt. Die Dehnung erfasst die Lithosphäre und den Rest des oberen Mantels bis hinunter an die 650 km Diskontinuität und löst Phasentransformationen aus, wobei dichtere Mineralphasen in weniger dichte umgewandelt werden. Dadurch entsteht ein Raumdefizit, welches das weniger dichte Mantelmaterial isostatisch nach oben treibt². Scalera spricht diese schräg nach oben strebenden mehr oder weniger tafelförmigen Mantelpfropfen neuerdings als „Mega-Dykes“ an (Scalera, 2012). In der Lithosphäre werden zufolge dieses Modells weitere Phasentransformationen angeregt, während sprödere Teile durch Bruch reagieren. Beides löst die Erdbeben aus, die die WBZ ausmachen. In der Erdkruste treten die komplexen Prozesse auf, die man üblicherweise als Orogenese bezeichnet. Die Abbildung 3 gibt, nach Scalera, die aufeinanderfolgenden Stadien dieser Entwicklung idealisiert wieder.

Scalera (2008, 2012) deutet durch sein orogenetisches Modell an, dass wir eigentlich eine der beiden Weisen vor Augen haben, mittels deren Erdwachstum an der Oberfläche erfahrbar wird. Die zweite ist die Ozeanbodenspreizung. Beide unterscheiden sich nur durch ihre verschiedenen Spreizungsraten. Dazu Scalera (2008): „ ... wahrscheinlich besteht der Unterschied zwischen mittelozeanischen Rücken (marinen Orogenen) und kontinentalen

² Weshalb Scalera auf isostatische Erhebung tippt und den Begriff Diapirismus vermeidet, ist mir schleierhaft. Diapirismus will doch bloß aussagen, dass ein Aufstieg erfolgt, der durch Dichteunterschiede hervorgerufen wird, worauf es doch letztendlich auch beim Scalera-Modell ankommt.

Faltensträngen in der unterschiedlichen Spreizungsrate der beiden involvierten Platten – mittelozeanische Rücken sind durch höhere Spreizungsraten gekennzeichnet, die es dem stattgefundenen Volumenzuwachs nicht erlauben, das Meeresniveau zu erreichen oder zu übersteigen“. Mit dieser Meinung ist Scalera nicht allzu weit von derjenigen Careys entfernt.

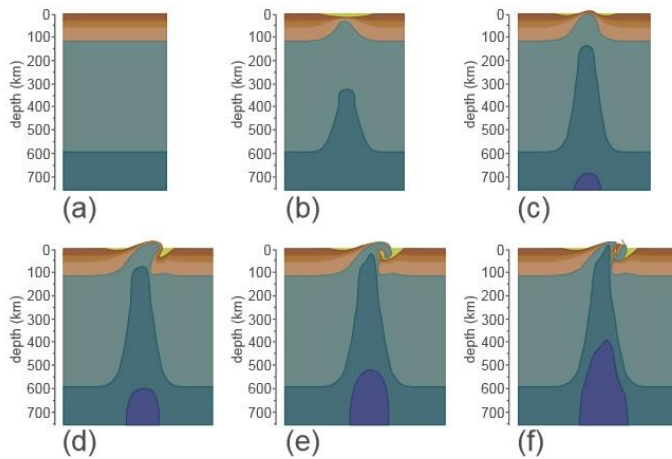


Abb. 3 Sechs aufeinanderfolgende Stadien in der Entwicklung eines Orogens, beginnend mit der Dehnung der Lithosphäre und der Bildung eines Sedimentationstrogens (b). Die Abbildung gibt Fig. 6 aus Scalera, 2008 wieder.

Ich habe bei anderen Gelegenheiten schon dargelegt, dass ich einem Modell nicht wirklich etwas abgewinnen kann, das davon ausgeht, sowohl Orogene beziehungsweise Inselbögen als auch mittelozeanische Rücken seien Ausdruck der Expansion der Erde und unterschieden sich bloß durch ihre Expansionsraten (siehe z.B. Strutinski et al., 2003) . Damit teile ich die Meinung der Plattentektoniker, die auch, aber nicht nur, diese Auslegung als Vorwand zur gänzlichen Ablehnung der Expansionshypothese ins Feld führen.

Orogene und Inselbögen entstehen weder durch Zusammenschub/Stauchung (gemäß dem Standpunkt, den die Plattentektonik vertritt) noch durch Zerrung/Dehnung (gemäß einigen Vertretern der Expansionshypothese wie Carey und Scalera). Sie sind die Äußerung einer dritten Möglichkeit mechanischer Beanspruchung, und zwar der Scherung. Sie entstehen über mehr oder weniger horizontal „kriechenden“ Mantelströmen, deren „Abdruck“ an der Oberfläche sie letztendlich darstellen. In ihnen kommen gleichermaßen Stauchungs- und Dehnungsstrukturen vor. Es ist zwar wahr, dass besonders die Kruste sich starr und infolgedessen brüchig verhält, doch haben wir es eigentlich mit einem durch Brüche vermittelten „Fließen“ oder – wegen der sehr geringen Geschwindigkeit – „Kriechen“ zu tun, das vorwiegend horizontal, also parallel zur Erdoberfläche, stattfindet. Obgleich nicht augenscheinlich, findet Scherung auch in fließenden Gewässern statt (Wilkins et al., 2009). Und schon wegen dieser Analogie sollte Geotektonik eher vom Standpunkt der Strömungsmechanik als von dem der Festkörpermechanik betrachtet werden (Strutinski et al., 2003). Nur so werden wir den Ursachen näherkommen, welche die vielen Bogenstrukturen und Schleifen hervorrufen, die ja so typisch für Orogene und Inselbögen sind.

Wenn auch Carey oder Scalera den strang- oder bänderartigen Verlauf der über tausende von Kilometern zu verfolgenden Orogenstrukturen durch eine „gemäßigte“ Dehnung der Lithosphäre mehr schlecht als recht rechtfertigen können, so sprechen unzählige Merkmale

dagegen, dass es sich bloß um Dehnung handelt. Schon die große Anzahl von Bewegungsplänen, die in mehr oder weniger senkrechter Lage parallel zu den Orogengürteln - und innerhalb derselben - verlaufen und so genannte Seiten-, Blatt- oder Lateralverschiebungen darstellen, die zusätzlich auch noch als Transkurrent-Störungen bekannt sind, sollte uns eines Besseren belehren. Sie sind die wahren „Flächen“, oft aber hunderte bis tausende Meter breite gestaffelte Gleithorizonte, entlang denen das „Kriechen“ stattfindet. Man könnte sie vielleicht mit der Füllung (z. B. Butter) eines senkrecht gehaltenen Sandwichs vergleichen, entlang deren, wenn man die beiden Brotscheiben horizontal gegeneinander verschiebt, „Scherung“ stattfindet. Von diesem Standpunkt betrachtet, sind Strukturen, die auf Dehnung oder aber Stauchung zurückgeführt werden können, wenngleich erstklassige „Blickfänge“ (große Grabenbrüche beziehungsweise Überschiebungen riesigen Ausmaßes), nur von zweitrangiger Bedeutung in der Kinematik eines Orogens. Sie stellen aber nichtsdestotrotz die Elemente dar, die uns darüber Auskunft geben, dass ein Orogen horizontal zwar hunderte bis tausende Kilometer „kriecht“, aber gleichfalls etliche zehn bis maximal hundert Kilometer emporwächst, lokal aber auch absinken kann. Diese orthogonal zueinander stehenden Bewegungen muss man sich immer vor Augen halten, wenn man dem Ursprung der Orogene auf den Grund gehen will.

Wenn man sich diesen Denkansatz zu eigen macht, stellt sich immer noch die heikle Frage, wie sich WBZs erklären lassen? Leider wurde – ich glaube in vielen Hinsichten zu Unrecht – viel zu viel in Studien investiert, die nur darauf aus waren, die Hypothese der Plattentektonik und ihre Auslegung der WBZs zu untermauern, wohingegen andere Ansätze für die Erklärung der Letzteren meist nur auf Vermutungen beruhen. Deshalb ist es auch nicht mehr als eine Vermutung, die ich aussprechen kann, solange keine Möglichkeit besteht, derartige Vermutungen auch praktisch, durch speziell darauf ausgerichtete Untersuchungen, zu überprüfen und sie als Alternativen zu dem Paradigma der zur Zeit herrschenden Plattentektonik zu setzen. Es gibt aber trotz alledem genügend Datenmaterial, welches die hier vertretene Hypothese unterstützt. Ich will sie im Folgenden kurz umreißen.

Ich möchte vorweg nehmen, dass ich die Tiefbeben (Herdtiefen 500-700 km) nicht in meine Betrachtungen einbeziehen werde, da für sie im Allgemeinen Einigkeit darüber besteht, dass sie infolge von spontanen Phasenumwandlungen entstehen (Dennis und Walker, 1965; Subbotin, 1970; Seclaman, 1978; Green, 1995). Die meisten Forscher gehen davon aus, es handle sich dabei um die Umwandlung von Olivin in Spinell, also von einer physikalisch weniger dichten Mineralphase in eine dichtere. Diese Annahme wäre in Übereinstimmung mit dem Subduktionsmodell, also mit dem Versinken einer vornehmlich aus Olivin bestehenden kalten Platte in den oberen Mantel. Scalera nimmt jedoch einen entgegengesetzten Standpunkt ein, demzufolge dichtere Mineralphasen durch Entlastung in weniger dichte umgewandelt werden. Für Tiefbeben scheint mir sein Erklärungsansatz der glaubhaftere zu sein. Jedoch weitet er sein Modell auch auf die mittleren Beben, zum Teil sogar auf jene geringer Tiefen aus, worin ich ihm nicht folgen kann. Stattdessen würde ich hier auf eine Idee Thomas Golds (1988) zurückgreifen, der davon ausgeht, dass die Entgasung der Erde in ihren oberen sich spröde verhaltenden Teilen die Erdbeben verursacht.

Er nimmt dabei die Existenz „kritischer Schichten“ an. Das sind Flächen oder Lagen dichteren Gesteins, die dem Empordringen der Gase zeitweilig einen Widerstand entgegensetzen, sei es, dass ihre Porosität sehr gering ist, sei es dass sie wenig bis überhaupt keine Spalten oder sonstige Diskontinuitäten aufweisen. Statt elastischer Spannung infolge von Plattenbewegungen, die allgemein als Auslöser der Erdbeben in der Lithosphäre gilt, sobald Gesteine ihr Bruchlimit erreichen, nimmt Gold den Druck der sich aufstauenden Flüssigkeiten und Gase an, die von unten nach oben streben und mit der Zeit viele kleine Risse im Gestein verursachen, bis dieses schließlich nachgibt und die Spannung in Form von Erdbeben freigibt. Auf die obersten ungefähr 50 Kilometer bezogen, in denen auch die meisten Erdbeben stattfinden, wird diese Situation bei Gold wie in Abbildung 4 dargestellt.

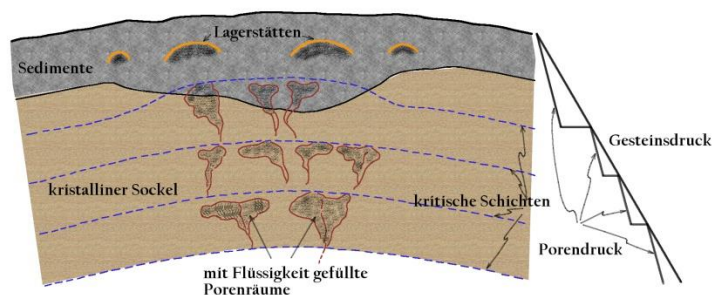


Abb. 4 Der über längere Zeiträume angestaute Druck der aus dem Mantel emporgestiegenen Fluida entlang sogenannter kritischer Schichten kann Erdbeben auslösen, deren Herde im Querschnitt eine Verbreitung ähnlich jener in Abbildung 2 aufweisen können. Nachgezeichnet nach Gold (1988)

Weshalb aber erscheinen Erdbeben meistens in Form von „Gürteln“, von denen der Pazifikgürtel der eindrucksvollste ist? Meine Antwort darauf: weil, wie weiter oben ausgeführt, nicht Hebungen und Senkungen als Ausdruck von Pressung und Dehnung für die Groß-Kinematik eines Orogens erstrangig sind, sondern Lateralverschiebungen. Diese „lockern“ die Lithosphäre und den oberen Mantel, die sich in ihrem Einflussbereich befinden, ständig auf und bilden mit der Zeit Gleitflächen aus, entlang deren das „Kriechen“ fast reibungslos ablaufen kann, was sich darin äußert, dass recht selten Erdbeben stattfinden, deren Herdflächenlösungen auf Lateralverschiebung deuten. Das von mir vorausgesetzte „Kriechen“ entlang von Seitenverschiebungen wird in letzter Zeit immer häufiger erkannt und als „langsame“ und/oder „stille“ Erdbebenaktivität beschrieben, weil es keine spürbaren Beben auslöst (Dieterich, 2007; Wei et al., 2009; Wech et al., 2012; Wei et al., 2013; Rousset et al., 2016).

Ich nehme an, die horizontalen Mantelströme, über denen sich innerhalb der Lithosphäre Lateralverschiebungen als deren Abbild bemerkbar machen, entstanden in äquatorialer Lage zu einer Zeit, als es noch keine Ozeane gab. Den Grund dafür bilden die sogenannten *zonalen Bewegungen*, auch zonale Rotationen genannt, die auf rotierenden Himmelskörpern die parallel zum Äquator verlaufenden Streifenmuster erzeugen, welche eigentlich durch Scherung entstanden sind. Es ist diejenige Scherung, die entsteht, wenn Teile der äußeren Hülle eines Himmelskörpers sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten in Rotationsrichtung bewegen. Die Geschwindigkeiten nehmen vom Äquator zu den Polen aufgrund der Variation

der Zentrifugalkraft beständig ab, wobei aber auch Umkehrungen möglich sind. Zonale Bewegungen sind bei der Sonne und den Riesenplaneten belegt und schlagen sich beim Jupiter besonders bildhaft nieder (Abb. 5).

Abb. 5 Streifenmuster des Jupiter.

Aufgenommen und freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Frank Winkelmann.



Nun wurden Carey zufolge alle großen Orogene in äquatorialer Lage angelegt und, wie schon vorausgeschickt, nehme ich an, dass die Ursache in der zonalen Bewegung liegt. In der äquatorialen Zone hatte die Bewegung innerhalb des obersten Mantels eine wesentlich höhere Geschwindigkeit im Vergleich zu den angrenzenden „gemäßigten“ Zonen, was eine Abscherung der ersteren zur Folge hatte. Wenn die Orogene ihre äquatoriale Lage nicht über längere Zeit beibehalten konnten, ist das der Polwanderung zu verdanken³. Das alpidische Orogensystem war das letzte, das während der Trias in äquatorialer Lage angelegt wurde⁴. Da aber ab dem späten Jura die Bildung der Ozeane einsetzte, wurde der ursprüngliche Mantelstrom aus seiner äquatorialen, geradlinigen Bahn geworfen und genötigt, abzuweichen beziehungsweise sich aufzuteilen. Es resultierten Mantelströme zweiter Ordnung, deren Richtung an der Oberfläche durch das Streichen der Tiefseerinnen und/oder Seitenverschiebungen gekennzeichnet ist. Bei Strömungen, die parallel zum Äquator verlaufen, treten der Coriolis-Effekt überhaupt nicht und Zentrifugalkräfte wenig in Erscheinung, was sich aber ändert, sobald von dieser Richtung abgewichen wird. Zentrifugalkräfte nehmen mit dem Radius ab, werden also zur Tiefe hin schwächer und infolgedessen auch die durch sie verursachten Bewegungen. Das muss dazu führen, dass die ursprünglich W-O ausgerichtete und wie in einem Kanal *senkrecht begrenzte* Strömung infolge des Abweichens gegen die Tiefe hin eine *Neigung* bekommt und *sich wölbt*, was wahrscheinlich zu der oft löffelartigen Form führt, die an der Oberfläche durch die Bogenform der Tiefseerinnen und der sie begleitenden vulkanischen (Insel-) Bögen nachgezeichnet wird. Graphisch lässt sich das in etwa wie in Abbildung 6 darstellen. Die WBZs, die sich immer oberhalb solcher ummodellierter Strömungen herausbilden (Erklärung weiter unten), nehmen entsprechend auch eine gewölbte, wellige oder löffelartige Form an. Das kann man gut nachvollziehen, wenn man sich beispielsweise die Abbildung 7 ansieht, die den Verlauf der Isolinien wiedergibt, welche die Ausbreitung der Erdbebenherde innerhalb eines gewissen Tiefenintervalls darstellen. Das Bild wurde von Kuno, einem japanischen Geologen, entworfen und 1967 publiziert, also kurz bevor die Plattentektonik zu herrschen

³ Bei völlig fest verankerten Polen und gleichbleibendem Erdradius hätte sich theoretisch ein einziger Orogengürtel rings um den Äquator erhalten und *am Ort* umgestalten müssen, zumindest über längere Zeiträume hinweg.

⁴ Und eigentlich in meiner Auffassung „fließend“ aus dem vorhergegangenen variszischen Orogen resultierte

begann. Weil es mit der Annahme einer subduzierenden starren pazifischen Platte unter Japan und dem Japanischen Meer nicht sehr im Einklang war, kann man es heute kaum noch auffinden. Stattdessen bekommt man für gewöhnlich nur zweidimensionale Profile vorgesetzt, (wie z.B. in Abbildung 1), die irreführend sind und den Eindruck einer mehr oder weniger tafelförmigen 50-100 Kilometer starken „subduzierenden Platte“ vermitteln sollen.

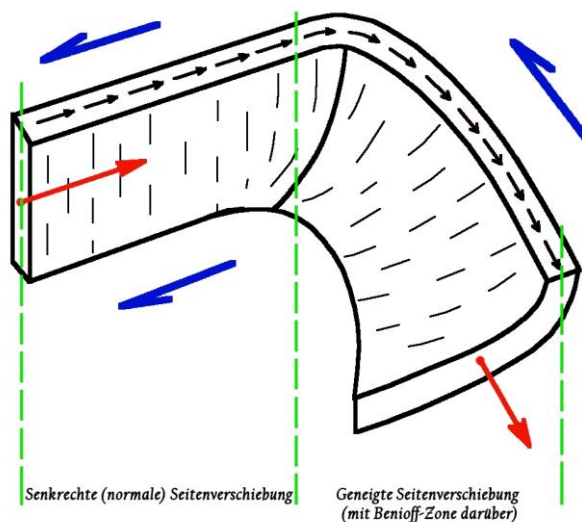


Abb. 6 Ummodellierung eines W-O verlaufenden Strömungskanals (hier als senkrechte Wand dargestellt) bei Abweichung von dieser Richtung. Coriolis-Effekt und gegen die Tiefe zu abnehmende Zentrifugalkraft bewirken eine Neigung der Wand und – unter Umständen – deren Löffelform. Rote Pfeile – Vektoren der Fließrichtung innerhalb des Kanals. Blaue Halbpfleile – dem Strömen entgegengesetzte Kräfte innerhalb der „Wände“ des Kanals.

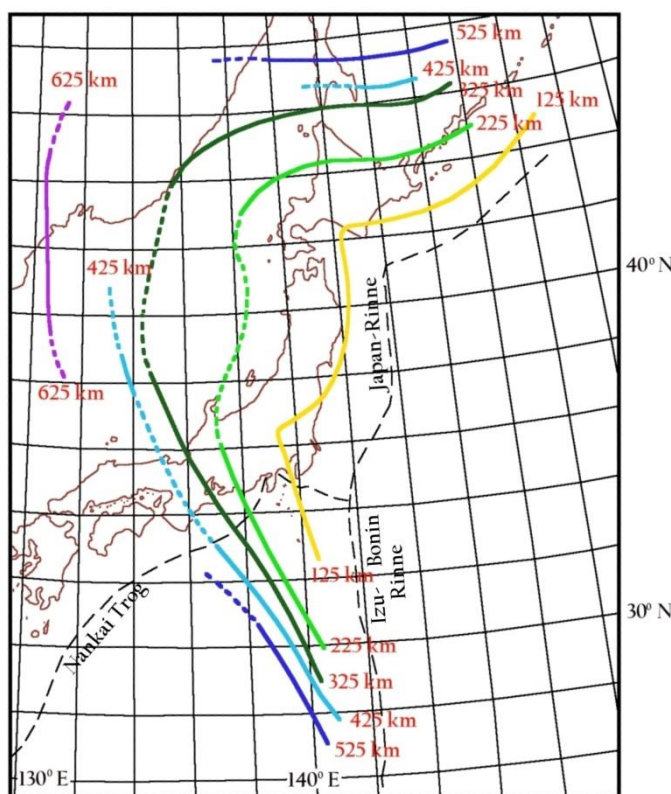


Abb. 7 Ausbreitung der Erdbebenherde bestimmter Tiefenintervalle innerhalb der WBZs anhand von Tiefenlinien. Die Achsen der Tiefseerinnen sind auch dargestellt. Man ahnt die ursächliche Verbindung zwischen Verlauf der Tiefseerinnen und den Tiefenzonen der Erdbebenherde. Nachgezeichnet und leicht verändert nach Kuno (1967)

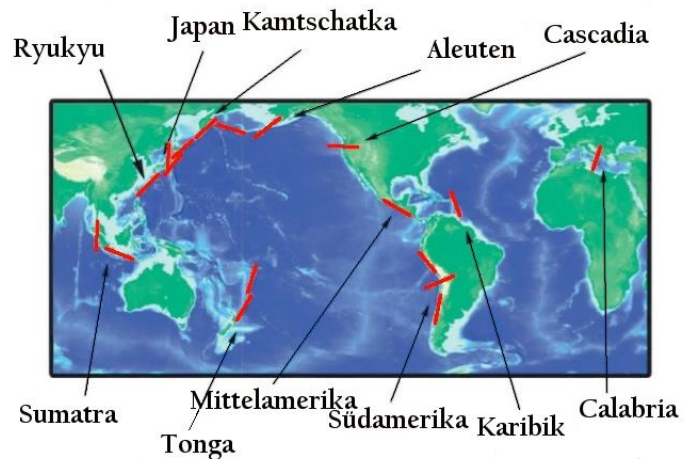
Wir haben es im Falle der beschriebenen Strömungen mit Zonen höchster Mobilität zu tun, die sich auch durch erhöhten Wärmefluss und hohe Gehalte an flüchtigen Stoffen auszeichnen. Teilweise wird die Wärme durch innere Reibung verursacht. In den angrenzenden Zonen, die kälter und infolgedessen starrer bleiben, führt die Beanspruchung dazu, dass sie durch Bruch reagieren. Dabei kommt, nach dem Gold-Modell, den flüchtigen Bestandteilen eine große Rolle zu. Entlang eines Lithosphärenabschnitts, der sich nahe genug an der Störungs-Hauptzone befindet, erlauben es die Temperaturen, Schmelzflüsse zu bilden. In der weiteren Folge kommt es zum Aufstieg dieser Schmelzen und, an der Oberfläche, zur Bildung eines „Feuerrings“, also einer Reihe von Vulkanen, die, genau wie die Tiefseerinne, meist bogenförmig verläuft. Schräg abwärts, wo der Wärmefluss geringer sein dürfte, weil die Bewegungen hier träger verlaufen und Reibungswärme entsprechend weniger entsteht, findet keine Aufschmelzung mehr statt, sondern es ereignen sich nur noch vereinzelt Erdbeben mittlerer Tiefe⁵. Sie werden meinem Modell zufolge, das auf den Erkenntnissen Golds beruht, durch die Ansammlung der Fluida ausgelöst, die ihren Weg nach oben suchen. Diese Fluida sind es denn auch, die sich – in Übereinstimmung mit Golds Thesen – in verschiedenen Lagen der Erdkruste unter den schon erwähnten „kritischen Schichten“ ansammeln und besonders über aktiven Strömungssystemen bei Überschreitung der Bruchfestigkeit der Gesteine die Flachbeben verursachen. Zusammen mit den fadenförmig aufgereihten mitteltiefen Bebenherden ergeben die Herde der Flachbeben die Wadati-Benioff-Zonen, die meist die wellenförmige Gestalt der darunter befindlichen Mantelströme annehmen und nur in zweidimensionalen Darstellungen den Eindruck von im Sinken befindlichen „Platten“ erwecken. Dass es die Mantelströme gibt, und zwar in der Richtung, die ich angedeutet habe, ist eine der unumstößlichen Tatsachen, die aufgrund des Scherwellen-Splitting⁶ festgestellt wurde (Abb. 8). Dies ist gleichfalls einer der unliebsamsten Fakten, mit denen die Plattentektonik konfrontiert wurde. Denn nach dem Dafürhalten ihrer Verfechter müsste sich der Mantel *unter* der postulierten abtauchenden „Platte“ auch nach unten bewegen, also in eine Richtung deren Projektion in der Horizontalen mehr oder weniger orthogonal zur Richtung der Tiefseerinnen und Inselbögen steht und nicht parallel dazu. Das umso mehr, als ja dieser Mantel anfangs als das wahre „Förderband“ betrachtet wurde, das die „Platte“ in die Tiefe befördert. So musste die Hypothese der Plattentektonik umgekrempelt und durch verschiedene unglaubliche Hilfhypothesen zurechtgebogen werden. Eine davon wird bildlich in Abbildung 9 dargestellt. Man wundert sich ob ihrer physikalisch völlig untragbaren Logik, der zufolge Subduktion „auf Biegen und Brechen“ (also trotz der entgegengesetzt gerichteten Mantelströme) stattfinden muss, weil es das Dogma so verlangt.

Die unter den „kritischen Schichten“ aufgestauten Kohlenwasserstoffe stellen einen Großteil der Lagerstätten dar, die ausgebeutet werden. Damit wird offenkundig, dass ich mir

⁵ Das bringen die Darstellungen Scaleras sehr schön zum Ausdruck (siehe Abb.4 und 5 im obigen Scalera-Text).

⁶ In Medien, die zwar „kriechen“, aber nicht flüssig, sondern fest sind, richten sich die Bestandteile (im Falle des oberen Mantels, das Mineral Olivin) mit ihren Achsen in „Kriechrichtung“ aus. In diese Richtung pflanzen sich Scherwellen schneller fort. Das kann man dank ihrer Eigenschaft, sich zu *splitten*, also in eine schnellere und eine langsamere Komponente zu teilen, ausfindig machen, folglich die „Kriechrichtung“ ermitteln.

Abb. 8 Mit zwei Ausnahmen (in Nord- und Südamerika) sind alle Vektoren (rote Leisten) mehr oder weniger parallel zu den jeweiligen Tiefseerinnen innerhalb des „Feuerrings des Pazifik“ ausgerichtet. Aus Long und Silver (2008), vereinfacht.



die Theorie der abiogenen Herkunft der Kohlenwasserstofflager aneigne, so wie sie von den russischen Erdölgeologen und Thomas Gold vertreten wird. Besonders Erdöllagerstätten, die an der Außenseite vulkanischer Gürtel angesiedelt sind, lassen sich auf diese Weise gut erklären. Beispiele hierfür bieten die Erdölprovinzen auf den Sunda-Inseln und östlich der südamerikanischen Anden. In dieselbe Kategorie kann man aber auch die vielen Provinzen einreihen, die sich entlang aktiver oder fossiler Seitenverschiebungs-Systeme befinden (diejenigen in Venezuela in Verbindung mit dem El-Pilar-System oder in den Golfstaaten in Verbindung mit dem Zagros-System).

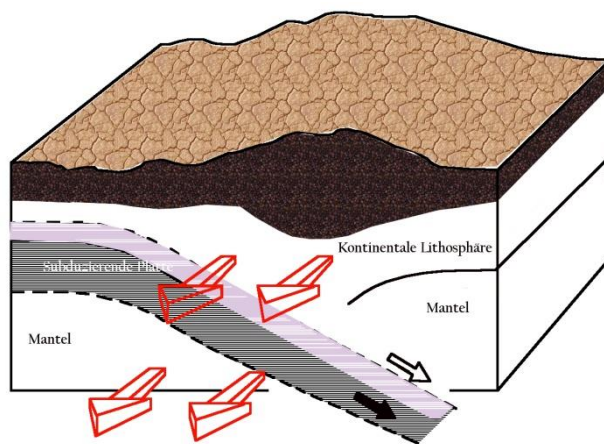


Abb. 9 Eine „subduzierende Platte“, die sich auf physikalisch unerklärliche Weise durch horizontal „kriechende“ Mantelströme hindurchzwängt, um abzutauchen. Mehr Wunschenken kann man sich wohl schwerlich vorstellen. Nachgezeichnet aus Meissner et al. (2002)

Abweichungen der Strömungssysteme von der Senkrechten, sofern sie nicht in West-Ost-Richtung verlaufen⁷, können wohl in den meisten Fällen aufgrund der Variabilität der Zentrifugalkräfte erklärt werden. Beispiele liefern die Strömungssysteme entlang des japanischen Inselbogens und der Kleinen Antillen. In den Kleinen Antillen liegt sogar eine Konstellation vor, die didaktischen Wert hat. Hier geht der voraussichtlich von senkrechten „Wänden“ eingefasste Strom unterhalb des W-O orientierten El-Pilar-Seitenverschiebungs-Systems in den geneigten des Antillenbogens über. Demzufolge gibt es zwar eine WBZ unter

⁷ Typischerweise gibt es aber keine West-Ost-orientierten „Subduktionszonen“, was eigentlich den Anhängern der Plattentektonik schon längst aufgefallen sein sollte.

letzterem, nicht aber unter dem El-Pilar-System. Für Plattentektoniker sind Seitenverschiebungen und „Subduktionszonen“ genetisch betrachtet zwei Begriffe, die nicht weit genug auseinander liegen können. Sie sehen nicht, dass wir es mit zwei Ausdrucksformen desselben Phänomens zu tun haben.

Es mag aber noch andere Ursachen geben, weshalb Strömungssysteme und die sie begleitenden WBZs geneigt sind. Zwei Situationen, welche die mögliche Rolle des Coriolis-Effektes bei der Verformung von Strömungssystemen belegen können und die aus je zwei gekoppelten verkehrt geneigten Teilsystemen bestehen, möchte ich noch abschließend besprechen. Beide erscheinen entlang der westlichen Grenze des Pazifik, und zwar südlich des Äquators. Ich habe einen besonderen Grund, zu betonen, dass sie südlich des Äquators liegen, denn gemäß dem Coriolis-Effekt werden Strömungen auf der Südhalbkugel entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht. Und der Eindruck ist nicht von der Hand zu weisen, dass wir es wirklich mit Wirbeln zu tun haben, die anscheinend denselben Regeln folgen wie die Wirbel in der Atmosphäre, die die Zyklone und Antizyklone erzeugen. Von Zyklonen und Antizyklonen in der Erdkruste hat bislang meines Wissens ein einziger Forscher gesprochen, und zwar der Ungar Balazs Szekely (2001). Er konnte sich allerdings mit seiner genialen Idee nicht durchsetzen, denn „der Vergleich von Gebirgswirbeln mit Zyklonen findet ... in der Fachwelt wenig Gegenliebe, aber das ist mit unkonventionellen Ideen ja oft so ... man denke nur an die Wegenersche Kontinentverschiebungs-Theorie zu Anfang des 20. Jahrhunderts.“ Das sind nicht meine Worte, sondern diejenigen mit denen die beiden Plattentektoniker Wolfgang Frisch und Martin Meschede, wohl intuitiv-visionär, ihre Abhandlung über Plattentektonik beenden (Frisch und Meschede, 2005). Die beiden komplexen Strukturen, von denen ich spreche, sind die Java-Rinne und der Sunda-Inselbogen mit ihren Gegenüber, der Neuguinea-Rinne und der Zentralkordillere Papua-Neuguineas auf der einen Seite (Abb. 10a), und die Neue Hebriden-Rinne + Inselbogen und deren Gegenüber, die Tonga-Rinne + Inselbogen (Abb. 10b) auf der anderen. Beide Strukturen „wickeln sich“ linksseitig ein und umschließen in ihren „Augen“ den Banda- und beziehungsweise den Fidschi-Kessel.

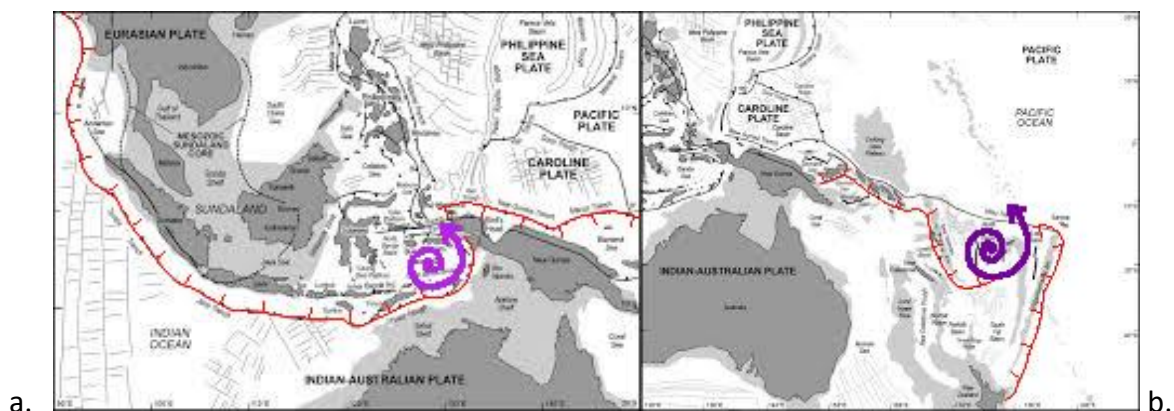


Abb. 10 (a) Das Sunda-Neuguinea-System mit dem Banda-Wirbel. (b) Das Neue Hebriden-Tonga-System mit dem Fidschi-Wirbel. Die jeweiligen Tiefseerinnen in Rot mit den Häkchen in Richtung des Einfallens der WBZs. Interpretationen anhand der Kartenskizzen von Hall (2002)

Dieser Interpretation zufolge haben wir es eingedenk des Coriolis-Effekts auf der Südhalbkugel in beiden Fällen mit Antizyklonen zu tun. Das würde auch bedeuten, dass die „Augen“ einem Senkungsprozess ausgesetzt sind. Damit im Einklang steht die Feststellung, dass sich sowohl die Banda- als auch die Fidschi-See, beginnend mit dem höheren Neogen (ab ca 7 Ma), zu Randbecken entwickelt haben, sogenannten *back-arc basins*⁸ in der Terminologie der Plattentektonik (Hinschberger et al., 2001; Neall und Trewick, 2008). Es sind aber nicht die einzigen Fälle von „Wirbeln“ entlang des Westpazifiks. Ich vermerke noch die wenig fortgeschrittene Bildung von Krusten-Wirbeln in den Philippinen nördlich des Äquators und auf der Südhalbkugel entlang Neuseelands. In all diesen Fällen stellen wir Übergänge vermittelt Seitenverschiebungen zwischen entgegengesetzt einfallenden „Subduktionszonen“ fest. Solch gewundene Strukturen im Sinne der mit starren Platten operierenden Plattentektonik zu erklären, erscheint mir als Zumutung. Dass selbst Plattentektonikern hin und wieder Zweifel an ihrem bevorzugten Erklärungsmodell kommen, mag die Aussage Halls unter Beweis stellen, der in Bezug auf die Tektonik des gesamten westpazifischen Raumes erklärte: „Die Unzulänglichkeiten des tektonischen Modells widerspiegeln ... die Schwierigkeiten in der Anwendung der <<Starre-Platten-Tektonik>>, wenn wir klare Anzeichen dafür haben, dass Krustenfragmente nicht formbeständig sind.“

Die Schlussfolgerung, die aus dem weiter oben Dargestellten resultieren sollte, ist denkbar einfach: Geotektonik muss immer global und nicht stückchenweise betrachtet werden. Sonst gelangt man – um erneut mit Hall (2002) zu sprechen - schnell dahin, dass „Fakten“ durch beständige Wiederholung und Zusammenhänge durch Wunschdenken festgeschrieben werden. Mir scheint das in besonderem Maße auf „Subduktion“ und alles, was damit in Verbindung steht, zuzutreffen.

Fazit. Ich unterstreiche nochmals, dass ich lediglich eine Vermutung in den Raum stellen kann, wobei ich von vornherein auf die meisten Begriffe, deren sich die „Subduktologie“ bedient, verzichte⁹. Nach meiner Hypothese werden Erdbeben in den WBZs nicht durch „subduzierende Platten“ ausgelöst, sondern sind Ausdruck der Entgasung des Erdkörpers, wobei die Entgasung nicht auf WBZs beschränkt bleibt. Nach der Verteilung der Bebenherde in den „Platten“ zu urteilen, sind diese alles andere als „plattig“, und diese Erkenntnis hat uns Scalera (2008) mit seinen 3D-Bildern überzeugend vermittelt. Ich habe versucht zu erklären, weshalb WBZs geneigt sind. Ich empfinde selbst, dass mir das nur zum Teil gelungen ist. Forschungen, die meine Vermutungen falsifizierbar machen könnten, werden aber so lange nicht unternommen werden, solange nicht ein Paradigmenwechsel in den Erdwissenschaften eintritt.

⁸ Frisch und Meschede (2005) schlagen für *back-arc basin* den Begriff Rückseitenbereich vor.

⁹ Wenn ich trotzdem noch diese Begriffe verwende, dann nur in Anführungszeichen.

Literatur

- Coltorti, M., Ollier, C.D. (2000): Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes. *Geomorphology*, 32, 1-19
- Dennis, J.G., Walker C.T. (1965): Earthquakes resulting from metastable phase transitions. *Tectonophysics*, 2, 401-407
- Dieterich, J.H. (2007): Applications of rate- and state-dependent friction to models of fault-slip and earthquake occurrence. In: *Treatise of Geophysics, Second Edition, Vol.4 (Earthquake Seismology)* (Volume Editor: H. Kanamori), 93-110. Doi: 10.1016/B978-0-444-53802-4.00075-0
- Egger, A.E. (2003): Plates, plate boundaries and driving forces. <http://www.visionlearning.com/en/library/Earth-Science/6/Plates-Plate-Boundaries-and-Driving-Forces/66> (Abgerufen: 23.02.2017)
- Engdahl, E.R., Van der Hilst, R.D., Buland, R.P. (1998): Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *B. Seismol. Soc. Am.*, 88, 722-743
- Frisch, W., Meschede, M. (2005): Plattentektonik. Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. 196 S.
- Gold, T. (1988): Das Jahrtausend des Methans. Die Energie der Zukunft – unerschöpflich, umweltfreundlich. Econ Verlag, Düsseldorf, Wien, New York, 256 S.
- Green, H.W. (1995): Der Mechanismus von Tiefbeben. *Spektrum der Wissenschaft*. <http://www.spektrum.de/magazin/der-mechanismus-von-tiefbeben/822091> (Abgerufen: 23.02.2017)
- Hafkenscheid, E., Buitter, S.J.H., Wortel, M.J.R., Spakman, W., Bijwaard, H. (2001): Modelling the seismic velocity structure beneath Indonesia: a comparison with tomography. *Tectonophysics*, 333, 35-46
- Hall, R. (2002): Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. *J. Asian Earth Sci.*, 20, 353-431.
- Kuhn, T. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago University Press, Chicago, 172 S.
- Kuno, H. (1967): Volcanological and petrological evidences regarding the nature of the upper mantle. In: *The Earth's M'ntle* (Ed.: T.F. Gaskell), Academic Press, New York, 89-110
- Long, M.D., Silver, P.G. (2008): The subduction zone flow field from seismic anisotropy: a global view. *Science*, 319, 315-318; Supporting online material to the article, 9 p.

- Meissner, R., Mooney, W.D., Artemieva, I. (2002): Seismic anisotropy and mantle creep in young orogens. *Geophys. J. Int.*, 149, 1-14
- Pratt, D. (2001): Problems with Plate Tectonics. Reply to Paul Newman Review. *New Concepts in Global Tectonics (NCGT) Newsletter*, 21, 10-24
- Puspito, N.T., Shimazaki, K. (1995): Mantle structure and seismotectonics of the Sunda and Banda Arcs, *Tectonophysics*, 251, 215-228
- Rousset, B., Jolivet, R., Simons, M., Lasserre, C., Riel, B., Milillo, P., Cakir, Z., Renard, F. (2016): An aseismic slip transient on the North Anatolian Fault. *Geophys. Res. Letters*, 43/7, 3254-3262. Doi: 10.1002/2016GL068250
- Scalera, G. (1997): The relation among seismic activity, volcanic rock emplacement and Bouguer anomalies in Italy. *Nat. Hazards*, 15, 165-181
- Scalera, G. (2006 b): The geodynamic meaning of the Wadati-Benioff earthquakes: from Apennines to a global perspective for mountain-building. In: Extended Abstracts Book of the 25th GNGTS (National Group for Solid Earth Geophysics) (Eds.: D. Slejko, A. Rebez), Annual Meeting, Rome, 28-30 November 2006, 8-14
- Scalera, G. (2006 c): The geodynamic meaning of the deep earthquakes: first clues for a global perspective for fold belts? *New Concepts in Global Tectonics (NCGT) Newsletter*, 41, 45-54
- Scalera, G. (2007 a): Terremoti, trasformazioni di fase, catene a pieghe: e possibile una nuova prospettiva globale? (Earthquakes, phase changes, fold belts: is a new global perspective possible?). *Rendiconti Soc. Geol. It.*, 4 (Nuova Serie), 296-299
- Scalera, G. (2008): Great and old earthquakes against great and old paradigms – paradoxes, historical roots, alternative answers. *Adv. Geosci.*, 14, 41-57
- Scalera, G. (2012): Distensional Mediterranean and world orogens. Their possible bearing to mega-dykes active rising. In: The Earth Expansion Evidence – A challenge for geology, geophysics and astronomy. (Eds.: G. Scalera, E. Boschi, S. Cwojdzinski). Selected contributions to the Interdisciplinary Workshop of the 37th International School of Geophysics EMFCSC, Erice (4-9 October 2011), 115-160
- Seclaman, M. (1978): Transformările de fază ale mineralelor, cauza probabilă a cutremurilor cu focare adânci. *St. Cerc. Geol., Geofiz., Geogr., Geologie*, 23/2, 195-205
- Strutinski, C., Stan, R., Puste, A. (2003): Geotectonic hypotheses at the beginning of the 21st century. In: Why Expanding Earth? A book in honour of Ott Christoph Hilgenberg. (Eds.: G. Scalera, K.H. Jacob). INGV Rome, 259-273

- Subbotin, S.J. (1970): Phase transformations within the Earth's mantle as a cause of crustal movement and a source of crustal material. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 3, 499-502
- Szekely, B. (2001): On the surface of the Eastern Alps – A DEM study. *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten*, Reihe A, 60, 124 S.
- Teisseyre, R., Wojtczak-Gadomska, B., Vesanen, E., Mäki, M.L. (1974): Focus distribution in South American deep-earthquake regions and their relation to geodynamic development. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 9, 290-305
- Wech, A.G., Boese, C.M., Stern, T.A., Townend, J. (2012): Tectonic tremor and deep slow slip on the Alpine Fault. *Geophys. Res. Letters*, 39, L10303. Doi: 10.1029/2012GL051751
- Wei, M., Sandwell, D., Fialko, Y. (2009): A silent M_W slip event of October 2006 on the Superstition Hills fault, southern California. *J. Geophys. Res.*, 114, B07402. Doi: 10.1029/2008JB006135
- Wei, M., Kaneko, Y., Liu, Y., McGuire, J.J. (2013): Episodic fault creep events in California controlled by shallow frictional heterogeneity. *Nature Geoscience*, 6, 566-570. Doi: 10.1038/ngeo1835
- Wilkins, A., Dreiseitl, H., Greene, J., Jacobi, M., Liess, C., Schwenk, W. (2009): Wasser Bewegt. Phänomene und Experimente. Haupt Verlag, Bern, Stuttgart, Wien, 205 S.

Saarbrücken, 25.02 2017

Korrigierte (mein Dank geht wie immer an meinen bewährten Korrekturleser Heiner Studt) und mit einer durch Abbildung 6 vervollständigte Fassung: 17.03.2017