

Wissenschaft ist aus Fakten gebaut wie ein Haus aus Steinen. Aber eine Sammlung von Fakten ist ebenso wenig Wissenschaft wie ein Steinhaufen ein Haus ist.

Henri Poincaré (1854–1912)

Liebe Leserin, lieber Leser,

auf Bali bekommen die Menschen gerade Plattentektonik zu spüren, zumindest eine Auswirkung: den Ausbruch des Mt. Agung. Die australische Lithosphärenplatte schiebt sich unter die asiatische. Dieser Vorgang ist nicht reibungslos. Er wird begleitet von Erdbeben und Vulkanismus. Auch wenn niemand weiß, was der Vulkan diesmal im Sinne hat, in groben Zügen ist den Geophysikern klar, wie es zum „ring of fire“ kommt, jenem den Pazifik umschließenden Gürtel vulkanischer und tektonischer Aktivität. Dazu gleich mehr.

In der vergangenen Ausgabe des Kosmos-Boten ward der Entdeckung des ersten Radiopulsars (CP 1919) gedacht. Das liegt ein halbes Jahrhundert zurück. Nur 40 Jahre zurück liegt ein Glanzpunkt deutscher Astronomie, genauer der Röntgenastronomie. Im Dezember 1977 machte nämlich ein Röntgenpulsar von sich reden. Er gehört zum Röntgendoppelstern Her X-1 im Herkules. Ein optisches Pendant gibt's auch. Dem Sonneberger Astronomen Cuno Hoffmeister (1892–1968) war 1936 die Veränderlichkeit von HZ Herculis aufgefallen. Jedenfalls konnte vor 40 Jahren der Röntgenastronom Joachim Trümper (geb. 1933) auf dem 8. Texas Symposium für Relativistische Astrophysik in Texas den Teilnehmern von der ersten direkten Messung der Polfeldstärke eines Neutronensterns berichten. Bei einem Ballonaufstieg wurde ein Röntgenspektrum von Her X-1 gewonnen. Eine Zyklotron-Linie im Spektrum deutet auf ein Magnetfeld von vier Billionen Gauß hin.

Genießen Sie die feiertägliche Ruhe und kommen Sie gut ins neue Jahr!

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Dezember

Obwohl Merkur erst am 13. des Monats vor der Sonne vorbeizieht, erreicht er bereits am 1. Januar 2018 mit nahezu 23° seine größte westliche Elongation und damit eine gewisse Morgensichtbarkeit am Monats- bzw. Jahresende. Wie man sieht, ist der Götterbote an Schnellfüßigkeit wahrlich nicht zu überbieten und macht seinem Namen alle Ehre. (Besonders schnell ist er am 12., wenn er das Perihel seiner Ellipsenbahn durchweilt.) Ebenfalls dem Morgenhimmel vorbehalten: Mars und Jupiter. Am 13./14. Dezember gesellt sich der alte Mond zu den beiden. Wintersonnenwende ist am 21. Dezember. Gegen 17 Uhr 28 ist die nördliche Verlängerung der Erdachse maximal von der Sonne weggerichtet. Die gesamte Nordpolarregion liegt dann im Schatten. Am Südpol ist es umgekehrt: Hochsommer.

Kontinentalverschiebung

Wie jedes Schulkind weiß, ähnelt die Kontur der afrikanischen Westküste jener der südamerikanischen Ostküste. Ihre Schelfabbruchkanten passen sogar noch besser aneinander. Doch ist dies von Bedeutung? Alfred Wegener (1880–1930) war intuitiv davon überzeugt und sammelte Argumente, die seine 1912 geäußerte Idee von der Kontinentalverschiebung¹ stützten. Neben geologischen Befunden, wie auseinander gerissene Urgebirge und einander zuordenbare eiszeitliche Ablagerungen aus Karbon- und Permzeit, gehörten dazu auch paläobiogeographische Befunde: die Übereinstimmung der fossilen Lebewelt diesseits und jenseits des trennenden Meeres.

Der Visionär Wegener, der mit einer astronomischen² Arbeit promovierte und als Meteorologe, Klimatologe und Grönlandforscher sich einen Namen machte, stieß mit seinen unausgereiften Ideen bei Geologen auf Granit.

Wegener erlebte es noch, dass durch das Echolot der Mittelatlantische Rücken

¹Wegener glaubte, man werde eines Tages die Kontinentalverschiebung durch astronomische Ortsbestimmungen bestätigen. Es kam anders: Radioastronomen, die hochauflösende Radiointerferometrie (VLBI) über Kontinente hinweg betreiben, kommen um die Kontinentalverschiebung nicht herum. Wellenlängengenaue Teleskopabstände sind für die VLBI von vitaler Bedeutung!

²Später interessierte er sich für die Schnittstelle zwischen Geologie und Astronomie: die Meteoritenkunde. So hatte es ihm insbesondere der Meteorit von Treysa angetan, der vor gut 100 Jahren nahe der hessischen Kleinstadt fiel.

aufgespürt wurde³, ein gewaltiger unterseeischer Gebirgszug, S-förmig gelegen zwischen den beiden Amerika auf der einen Seite sowie Europa und Afrika auf der anderen. Nur selten schaut eine Erhebung, eine Vulkaninsel⁴, aus den Wassern heraus.

Entscheidend war vor 50 Jahren allerdings nicht das Echolot, sondern das Magnetometer⁵. Man stieß auf ein geomagnetisches Muster: symmetrische Streifen gleicher magnetischer Ausrichtung parallel zu allen Mittelozeanischen Rücken. Nachdem man das Alter einzelner Streifen bestimmt hatte, wurde klar: So ein Rücken produziert Meeresboden! Dieser entfernt sich vom Ort seiner Entstehung, und zwar symmetrisch zu beiden Seiten des Rückens. Im Falle des Mittelatlantische Rückens öffnet sich so der Spalt, den man Atlantik nennt. Auf Island kann man die Entstehung des Atlantik trockenen Fußes mitverfolgen: Im Thingvellir National Park ist die nordamerikanische Platte von der eurasischen nur einen „Katzensprung“ entfernt. Der Abstand vergrößert sich von Jahr zu Jahr um ca. 2 cm.

Doch der Reihe nach und das Wesentliche zuerst.

Technisch gesehen ist unser Globus eine Wärmekraftmaschine. Treibende Kraft ist, in der Hauptsache, ein Temperaturgegensatz: hier heißer Erdkern, dort kalter Kosmos. Der 5000 oder gar 6000 Grad heiße Kern, kühlt nur langsam aus, da er durch radioaktiven Zerfall⁶ und Kristallisationswärme geheizt wird. Energie strömt stets vom Warmen zum Kalten. Auf dem Weg nach draußen wird mechanische Arbeit verrichtet: Sowohl der äußere Erdkern als auch der Erdmantel sind – wegen ihres geringen Wärmeleitvermögens – *k o n v e k t i v*. Wie über einem Heizkörper steigt heißes Material auf, gibt seine Wärme ab und sinkt wieder nach unten, erneut sich aufheizend usf. Ohne Mantelkonvektion keine Plattentektonik⁷! Wegener hatte, in Un-

³Beteiligt daran war die (erste) „Meteor“, ein deutsches Forschungsschiff.

⁴Der wohl bekannteste „Hochgebirgler“ dieses mit 20 000 km längsten Gebirges der Welt war zweifellos Napoléon Bonaparte (1769–1821), der seinen Lebensabend auf St. Helena verbringen musste. Er konnte noch nicht wissen, dass er, wenn er vor die Tür des Longwood House trat, sich bereits in schwindelerregender Höhe befand, sofern man als Bezugspunkt nur den Fuß des Gebirges wählt und nicht das NN.

⁵Um in Zeiten des Kalten Krieges feindliche U-Bote mittels Magnetometer aufzuspüren, musste man den Hintergrundmagnetismus des Meeresbodens kennen.

⁶Hauptwärmequelle ist der β -Zerfall von Kalium-40 in Kalzium bzw. Argon mit einer Halbwertszeit von über einer Milliarde Jahren.

⁷Man kann es auch andersherum betrachten: Erst die Kühle der kalten Platten treibt die Konvektion. Eine Dampfmaschine braucht bekanntlich immer beides: eine heiße und eine kalte Stelle. Einsteins trinkende Ente nutzt Verdunstungskälte!

kenntnis der Mantelkonvektion, krampfhaft nach einem Mechanismus für die Kontinentalverschiebung gesucht. Mit hergeholten Kräften, wie der Fliehkraft („Polflucht“) und Gezeiten, hatte er aber in der Geologenzunft nur Befremden ausgelöst. Wegeners Kontinente sollten sich wie Eisberge im Meer bewegen und das SiMa⁸ quasi „durchpflügen“. Wie Mantelkonvektion und Plattentektonik zusammenhängen, ist übrigens nach wie vor unklar.

Was am Festkörper Erde fest ist, sind lediglich ein paar Schollen an der Oberfläche, welche auf einer zähen Masse schwimmen und nicht für die Ewigkeit gemacht sind.

Konvektion ist Energietransport durch großräumige Strömungen. Wärmeenergie wird teilweise in Bewegungsenergie überführt, sprich mechanische Energie. Der Vergleich mit einem Kraftwerk liegt auch deshalb nahe, weil der Geodynamo im äußeren Erdkern nach Art einer Siemens'schen selbsterregten Dynamomaschine kinetische Energie in elektrischen Strom umwandelt, der seinerseits das Erdmagnetfeld generiert. Letzteres neigt – es handelt sich nicht um einen Dauermagneten! – zu Umpolungen. Im zeitlichen Mittel geschieht dies alle 200 000 Jahre. (Das letzte Mal ist das Erdmagnetfeld allerdings vor nunmehr 700 000 Jahren umgekippt.) Damit befasst ist die Paläomagnetik.

Es sind diese Umpolungen, die vor einem halben Jahrhundert junge Geophysiker davon überzeugten, an Wegeners verwegener Idee von 1912 müsse doch etwas dran sein. Diese Umpolungen sind im Gesteinsmagnetismus konserviert — als *r e m a n e n t e r* Magnetismus⁹. Vulkangestein, das Magnetit enthält, dokumentiert in seinen magnetischen Bestandteilen die Polarität des Erdmagnetfelds, das dieses zum Zeitpunkt der Unterschreitung der sog. Curie-Temperatur¹⁰ (ca. 570 °C) aufwies! Magnetische Karten (Quelle: World Digital Magnetic Anomaly Map) des Meeresbodens offenbaren Streifen gleicher magnetischer Ausrichtung, die *p a r a l l e l* zu allen Mittelozeanischen Rücken verlaufen. Ursache ist die Ozeanbodenspreizung, das *sea-floor spreading*. Mittelozeanische Gebirgszüge sind Quelle¹¹ von Meeresboden! Ergussgestein (Basalt) tritt dort zutage, kühlt ab, wobei die gerade herrschende magnetische Orientierung im Gestein „eingefroren“ wird, und verfestigt sich.

⁸Darunter versteht man den tieferliegenden, schwereren Teil der Kruste, der viel Silizium und Magnesium enthält. Die leichten Kontinente hingegen bestehen aus dem SiAl. Sie sind reich an Silizium und Aluminium.

⁹Auf „zurückbleibendem“ Magnetismus basiert das Speichervermögen all unserer Festplattenlaufwerke. Eine HD sollte man niemals über die Curie-Temperatur erhitzen!

¹⁰Benannt nach Pierre Curie (1859–1906), dem Ehemann von Madame Curie.

¹¹Quelle der Animation: USGS

Der neugebildete Meeresboden rutscht die Hänge des Rückens hinunter und wird, wie ein überhängendes Tischtuch, das sich zuweit über die Tischkante gewagt hat, vom eigenen Gewicht zu jener „Kante“ gezogen, wo der Ozeanboden aufgrund seiner Schwere (und dem Gewicht angespülter Ablagerungen) wieder in die Tiefe sinkt. Dort wird er erneut aufgeschmolzen und chemisch verwandelt¹². Nach vielleicht hundert Millionen Jahren schließt sich der Kreislauf. Das Recyceln von Meeresboden¹³ ist nicht umsonst. Es wird „bezahlt“ mit einem 40-TW-Energiestrom¹⁴ aus dem Inneren der Erde.

Die Plattentektonikidee vereint vieles, was zuvor zusammenhanglos im Raume stand. Man mag sie mit Darwins großem Wurf vergleichen und gar von einem Paradigmenwechsel sprechen. Karl Popper (1902–1994), der Wissenschaftstheoretiker, dürfte in ihr allerdings eher ein „Forschungsprogramm“ denn eine Theorie gesehen haben. Für den Plattentektoniker jedenfalls fügen sich diverse Puzzleteile¹⁵ elegant zu einem stimmigen Ganzen: Gebirgsbildung findet statt, wo Kontinente aufeinander prallen (Alpen, Himalaja), Erdbeben und vulkanische Aktivität dort, wo Platten aneinander reiben (pazifischer „ring of fire“), Tiefseegräben (Marianen), wo Ozeanboden abtaucht. Plattentektonik geht weit über das rein Geologische hinaus. Sie bestimmt das Klima. Zur antarktischen Vereisung vor 34 Millionen Jahren kam’s durch die Öffnung der Drake-Passage, was die Meereszirkulation grundlegend veränderte. Und sie separiert, was die biologische Evolution befördert. Artenbildung beruht u. a. auf räumlicher Isolation (Allopatrie)! Man denke an Australiens einmalige Insel-Lebewelt.

Übrigens: Die ausgetrocknete¹⁶ Venus verfügt über keine Plattentektonik. Sie ist heiß und unbewohnt. Sagt uns das was?

¹²Karbonate wie Marmor werden thermisch zerlegt, wobei Kohlendioxid entsteht, welches durch vulkanische Schlotte entweicht und so den Kohlenstoffkreislauf schließt.

¹³Diesem Recyceln verdanken wir u. a. Lagerstätten!

¹⁴Ein Terawatt sind 10^{12} Watt oder 1000 GW (Gigawatt). Der Gesamtenergiebedarf der Menschheit ist inzwischen vergleichbar mit der Abwärme des Wärmekraftwerks Erde! Das Gerede vom *A n t h r o p o z ä n* ist, so gesehen, nicht ganz unberechtigt.

¹⁵Leider nicht alle! Der *a n o m a l e* (hot spot) Vulkanismus (Eifel) findet nicht an Plattenrändern statt.

¹⁶Wasser ist wichtig als Schmiermittel. Bricht die Plattentektonik wegen Wassermangels zusammen, werden keine schädlichen Gase wie CO_2 mehr im Meeresboden als Karbonat vergraben und für eine Weile aus dem Verkehr gezogen.