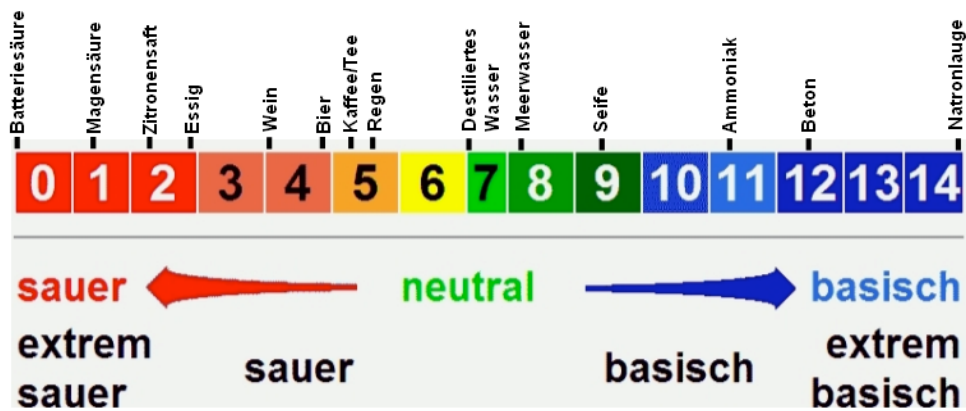


## Der pH-Wert der Ozeane

Ein wichtiges Thema in der Argumentation zu den negativen Auswirkungen des CO<sub>2</sub>-Anstiegs, ist dessen verstärkte Aufnahme im Meer, wodurch der pH-Wert des Meerwassers fallen und dadurch zahlreiche Kleinstlebewesen, die Kalkschalen bilden, verschwinden und mit diesen auch die Korallengebiete der Meere bedroht seien.

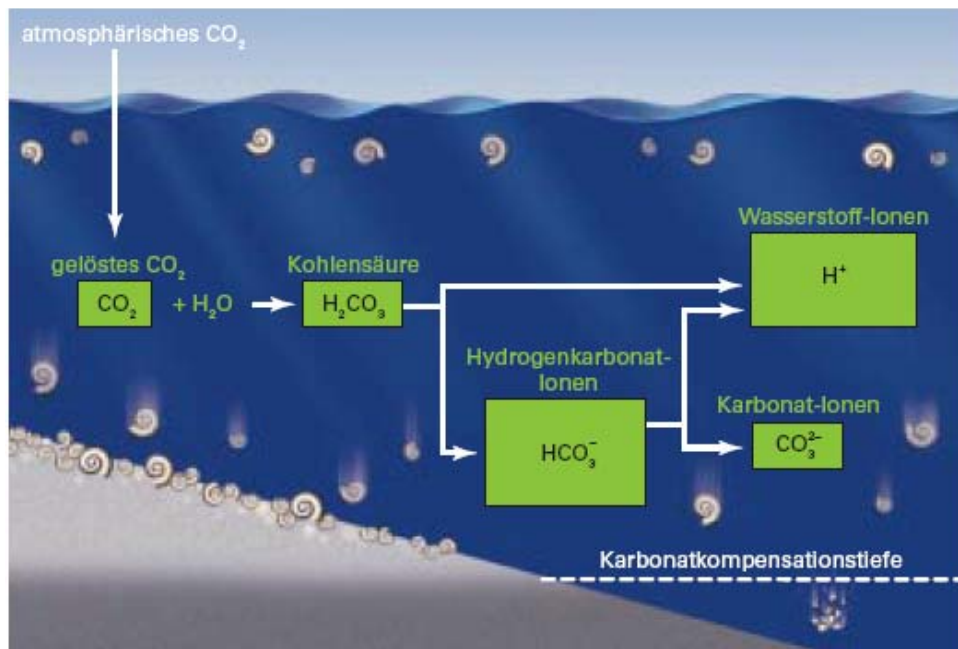
### pH-Wert

Der pH-Wert gibt die Stärke einer sauren, bzw. basischen Wirkung in einer wässrigen Lösung an. Er wird als logarithmische Größe in dem Skalenfeld 0 - 14 angegeben. Der Mittelwert "7" gilt als neutral. Die Werte <7 werden als sauer und die Werte >7 als basisch bezeichnet. Meerwasser ist mit einem Wert von 7,9 - 8,25 leicht basisch. Der Wert geht auf den dänischen Biochemiker Dr. Søren Sørensen zurück, der ihn 1909 einführte. Durch die (Auto-)Protolyse des Wassers, bei der ein Wasserstoffion (H<sup>+</sup>) auf einen Reaktionspartner übergeht, entstehen Hydroniumionen (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>). Im Gleichgewichtszustand (neutrales Wasser bei 25°C) liegt eine Stoffmengenkonzentration der Hydroniumionen von 10<sup>-7</sup> mol/Liter vor, was den neutralen pH-Wert 7 definiert.



Die Abbildung zeigt die Bandbreite des pH-Wertes, mit ausgewählten Stoffen.

Die folgende Abbildung zeigt die chemischen Prozessschritte, die im Meer nach der Aufnahme von Kohlendioxid ablaufen.



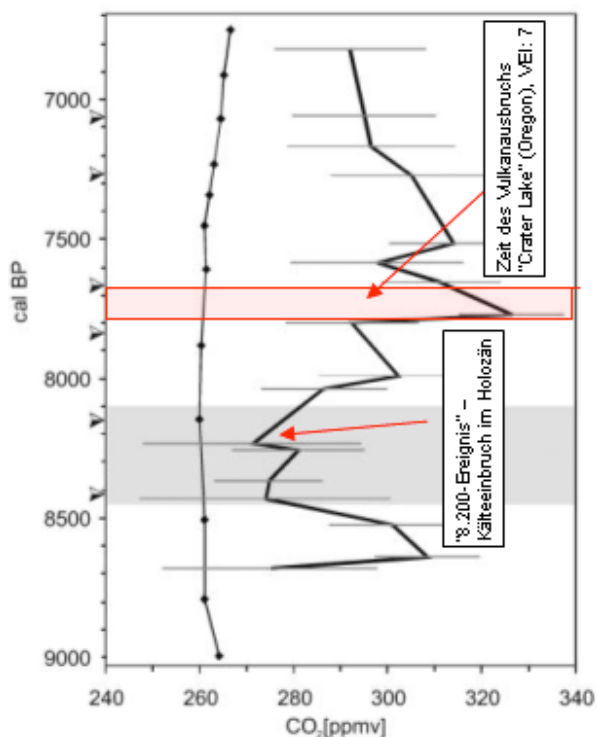
Die Abbildung zeigt schematisch den chemischen Prozess, der im Meerwasser bei der Aufnahme von CO<sub>2</sub> in Gang gesetzt wird, Quelle: S.d.W. 06/06, "Das Meer wird sauer". Anmerkung: Ob es wohl ein Zufall ist, dass der genannte Artikel in S.d.W. gleichzeitig erschien, als der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung ihr Sondergutachten 2006 "Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer" der Bundesregierung übergab.

Dass im Meerwasser gelöste  $\text{CO}_2$  verbindet sich mit Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) zu Kohlensäure. Ein Teil zerfällt in Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) und Hydrogenkarbonationen. Diese dissoziieren in weitere Wasserstoffionen und Karbonationen. Der Anteil der Wasserstoffionen bestimmt dabei unmittelbar den Säuregehalt des Wassers. In der Chemie wird jedoch nicht die Konzentration der Wasserstoffionen direkt angegeben, sondern ihr negativer Logarithmus. Dieser wird als pH-Wert bezeichnet. Nimmt der pH-Wert z.B. um den Wert "1" ab, so bedeutet dies eine Verzehnfachung der Konzentration von Wasserstoffionen. Nimmt er um einen Wert zu (wird also saurer), so verringert sich die Konzentration von Wasserstoffionen um den Faktor 10.

Durch diese chemischen Prozesse steigt die sog. Karbonat-kompensationstiefe nach oben. Diese Tiefe gibt an, ab der sich Kalzit (CCD-Tiefe, **Calcite Compensation Depth**) und Aragonit (ACD - **Aragonite Compensation Depth**), welche z.B. in den Kalkgehäusen von Meereslebewesen eingelagert werden, zersetzen. Die CCD liegt im Atlantik bei 4.500 - 5.000 m, im Pazifik bei 4.200 - 4.500 m. Die ACD liegt im Atlantik bei 3.000 - 3.500 m (Quelle: FU Berlin, [http://userpage.fu-berlin.de/~voelker/Vorlesung\\_Chemische/karbochemie.html](http://userpage.fu-berlin.de/~voelker/Vorlesung_Chemische/karbochemie.html)). Die ACD liegt deswegen höher, weil die Löslichkeit von Aragonit höher ist. Aragonit und Kalzit sind die beiden Mineralformen von Kalk. Die Löslichkeit von Kalk hängt wesentlich mit der Konzentration von Karbonationen zusammen und damit indirekt vom pH-Wert ab. Die Meeresbereiche, in denen sich Kalk auflöst, werden als untersättigt bezeichnet und durch die CCD und ACD bestimmt.

Es wird nun befürchtet, dass sich durch den zunehmenden Eintrag von  $\text{CO}_2$  und der damit verbundenen vermehrten Aufnahme in Wasser ( $\text{CO}_2$  kann solange im Wasser aufgenommen werden, bis beide den gleichen Partialdruck haben, was noch lange nicht der Fall ist), die CCD und ACD angehoben wird, was zur Zerstörung der Kleinstlebewesen und Korallenbänke führt. Wie sieht die Realität aus.

In diversen wissenschaftlichen Abhandlungen wird angegeben, dass sich der pH-Wert seit der industriellen Revolution um den logarithmischen Wert von 0,1 verringert hat (von 8,25 auf 8,14, British Royal Society). Bei den Modellen wird davon ausgegangen, dass jährlich etwa 6 GT C in den Weltmeeren gelöst wird und der vorindustrielle  $\text{CO}_2$ -Pegel (wichtig für die Ausgangsberechnungswerte) bei 280 ppm lag. Wie die folgende Abbildung zeigt, lag er höher, so dass die Ausgangsbasis bereits falsch ist und somit die ermittelte Abnahme des pH-Wertes nicht stimmt.

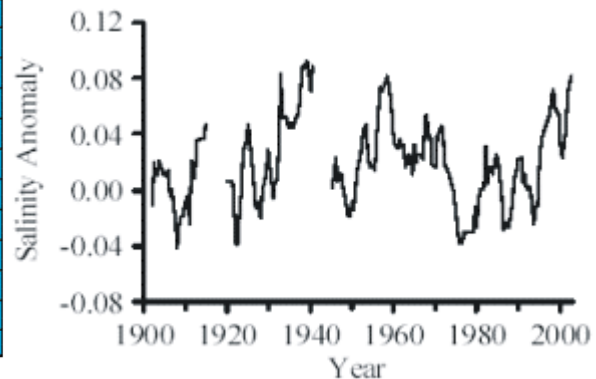
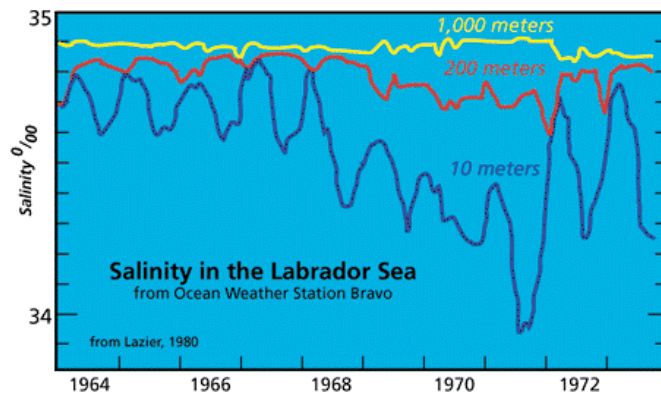


Die Abbildung zeigt den aus dem Stomata-Index rekonstruierten  $\text{CO}_2$ -Gehalt vor 6.800 Jahren bis 8.700 Jahren (gezackte Kurve) zum Vergleich zu einem Eisbohrkern (Taylor Dome), Quelle: Proceedings of the

National Academy of Science of the United States of America  
 (http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=129389).

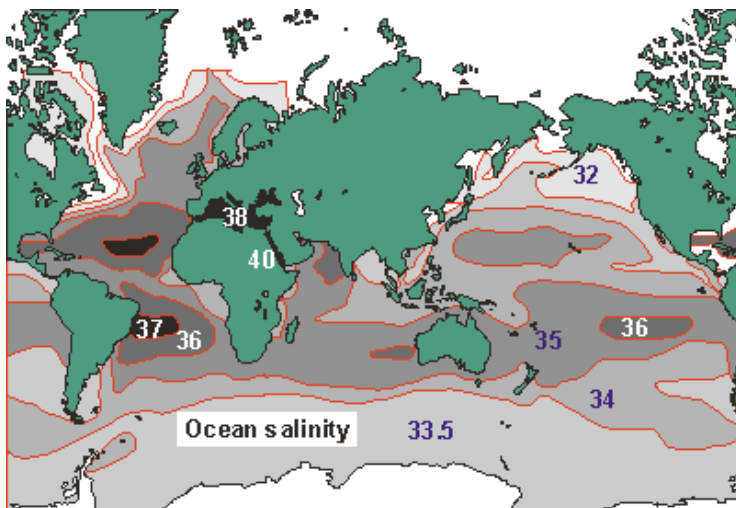
Die vorherige Abbildung ist äußerst interessant, da sie belegt, dass es in der vorindustriellen Zeit ähnlich hohe CO<sub>2</sub>-Werte in der Atmosphäre gab wie heute und, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt nicht konstant niedrig war (um 280 ppm), wie dies das IPCC ausweist und als Grundlage für den sog. anthropogenen Klimawandel gilt! In die Abbildung habe ich Ihnen das sog. 8,2k-Ereignis markiert (Kälteeinbruch im Holozän) und den sehr starken Vulkanausbruch des "Crater Lake". Beide Ereignisse finden sich in dieser Abbildung, die aus STOMATA-Proxys ermittelt wurde, wieder, in den Eisbohrkernuntersuchungen fehlen diese.

Der pH-Wert des Wassers wird jedoch nicht nur von der Löslichkeit des CO<sub>2</sub> bestimmt, sondern auch noch vom Salzgehalt und der Temperatur, d.h. eine steigende Temperatur des Meerwassers und dies wird ja immer von den Verfechtern des anthropogenen Klimawandels angeführt, puffert den Rückgang des pH-Wertes. Des Weiteren kann der pH-Wert auch dadurch fallen, dass die Menge basischer Substanzen im Wasser abnimmt. Wie die folgende Abbildung zeigt, ist der Salzgehalt bereits in kurzen Zeitabständen nicht konstant, sondern variiert ganz erheblich.

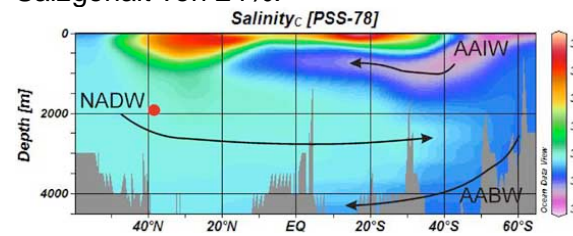


Die Abbildung zeigt den Salzgehalt (Labradorsee) in 10-, 200- und 1.000 Metern Tiefe, aufgenommen mit der ozeanographischen Wetterstation "Bravo", rechts die Anomalien seit 1900, Quelle: Woods Hole Oceanographic Institution.

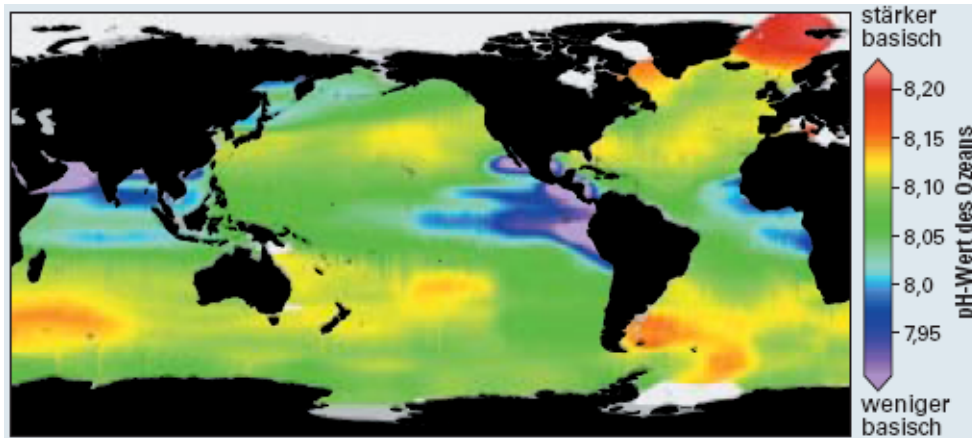
So hat das globale Meerwasser ebenfalls keinen konstanten Salzgehalt, sondern dieser schwankt stark in der Fläche und Tiefe, wie die folgenden Abbildungen zeigen (die Abb. rechts zeigt den Querschnitt im Atlantik).



Die Abbildung links zeigt den gegenwärtigen Salzgehalt der Meere. Das Mittelmeer hat z.B. einen Salzgehalt von 38 ppt (parts per thousand). Dies entspricht einem Salzgehalt von 3,8%. Der niedrigste Salzgehalt findet sich mit 32 ppt vor Alaska und der höchste im roten Meer mit 40 ppt. Das Tote Meer hat sogar einen Salzgehalt von 24%.



Anhand dieser Abbildung und der Tatsache, dass die Meere eine unterschiedliche Temperatur aufweisen, geht hervor, dass es (wie i.ü. auch bei der Globaltemperatur) keinen globalen pH-Wert gibt und ein solcher auch nicht ausgewiesen werden kann. Die Aussage, der pH-Wert hätte um 0,1 abgenommen, ist demnach wissenschaftlicher Unsinn. Die folgende Abbildung zeigt denn auch die unterschiedlichen pH-Werte der Weltmeere.



Die Abbildung zeigt den pH-Wert der oberen 50 m-Wassertiefe, Quelle: S.d.W. 06/06. Es ist deutlich erkennbar, da der pH-Wert sehr stark schwankt. Vor der Küste Mittel- und Südamerikas liegt er bei ca. 7,9, wogegen er im Nordmeer bei 8,2 liegt. Dies entspricht einer natürlichen Spanne von 0,3. In keinen Gewässern, weder mit hohem, noch mit niedrigem pH-Wert, hat dies Auswirkungen auf den Fischreichtum.

Auch bei dieser Theorie, der Versauerung der Meere durch anthropogenes CO<sub>2</sub> und des damit verbundenen Rückgangs der Kalkschalentiere, hält die Theorie der Praxis nicht stand. So haben z.B. englische Forscher unter der Leitung von **Prof. Hannah Wood**, University of Plymouth, zu ihrer Überraschung entdeckt, dass die von ihnen untersuchten Schalentiere in saurerem Wasser sogar mehr Kalkgehäuse ausbilden.

Die Theorie der Versauerung der Meere betrachtet, wie i.ü. auch die anderen Theorien der Treibhausgasbasierten Erwärmung nur eine Ursache, unter der Prämisse, dass alles andere gleich bleibt (vgl. S.d.W. 04/06, S. 98). Dies ist nicht nur unwissenschaftlich, sondern, da mit diesen Aussagen versucht wird Politik zu betreiben, Stammtischniveau. Hierbei ist zu beachten, dass die wesentliche Quelle für den Eintrag von CO<sub>2</sub> in den tiefen Ozean der bakterielle Abbau von organischem Kohlenstoff, also Biomasse und kein anthropogenes CO<sub>2</sub> ist! Mit zunehmender Erwärmung steigt somit die Bioproduktion, was den pH-Pegel dort senkt. Mit einsetzender Abkühlung (derzeit) nimmt die Bioproduktion ab, wodurch der pH-Pegel wieder steigt – ein klassischer Kreislauf der Biologie, der keinen Raum zur Panikmache lässt. Des Weiteren wirken Bodenbakterien der Tiefsee der Versauerung entgegen (siehe S.d.W. 09/08, "Basalt nährt Bakterien").

Die Wechselwirkungen, die durch die Aufnahme von CO<sub>2</sub> ablaufen, sind weitaus komplexer, als nur die Betrachtung auf einen Wert, die Reduzierung des pH-Wertes. Reduziert sich nämlich der pH-Wert des Meerwassers, so wird aus den Bodenschichten Kalk gelöst, der den pH-Wert wieder ansteigen lässt. Das Gleiche passiert durch die Verwitterungsprozesse an Land (Silikat-Karbonat-Kreislauf). Dadurch werden zusätzlich Minerale gelöst, die durch Wind und Fließgewässereinträge die Hydroniumionen (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) im Meerwasser neutralisieren, wodurch ein Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>) freigesetzt wird, was ebenfalls zu einem Anstieg des pH-Wertes führt. Es ist also gar nicht ausgemacht, dass durch den zusätzlichen Eintrag von CO<sub>2</sub> der pH-Wert des Meeres in den nächsten Jahrzehnten überhaupt fällt. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass durch die genannten Regelkreise, die vergleichsweise geringen Mengen anthropogenes CO<sub>2</sub> überhaupt keine Auswirkungen zeigen werden!

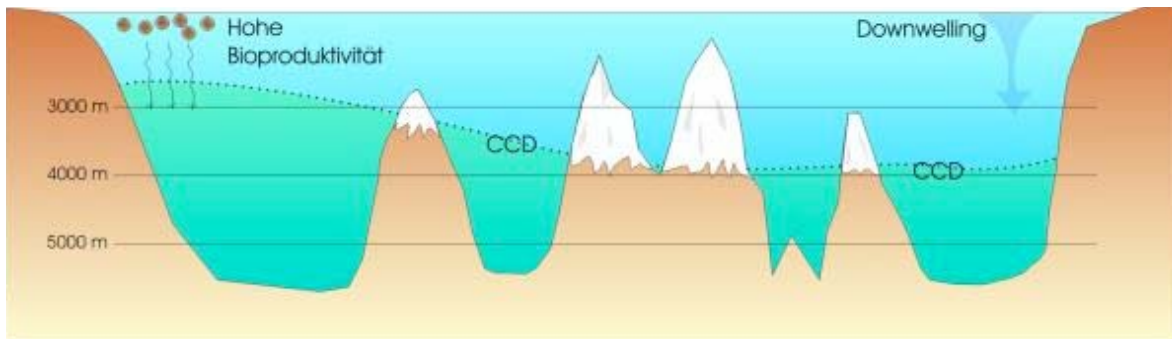
Ein Blick in die Erdgeschichte zeigt, was es mit der Aussage, der anthropogene Eintrag von CO<sub>2</sub> in Meerwasser, würde die Korallenriffe und ganze Ökosysteme schädigen, auf sich hat. In geschichtlicher Zeit lag der CO<sub>2</sub>-Pegel meist deutlich höher als heute.

Es wird in der Wissenschaft (meist) davon ausgegangen, dass der pH-Wert der Meere im Paläozoikum (Kambrium bis Perm) auf Grund der starken Vulkantätigkeit niedriger lag als heute. Dann hätte es, treffen die Postulate der „Warner“ zu, in diesem Zeitalter keine, oder nur geringe Korallengebiete gegeben, da Korallen durch einen niedrigeren pH-Wert geschädigt würden und ihr Bestand bedroht sei. Im Paläozoikum, in dem es deutlich wärmer war als heute, gab es ausgedehnte Korallenbänke. Die größten jemals aufgetretenen Riffgebiete gab es im Devon.



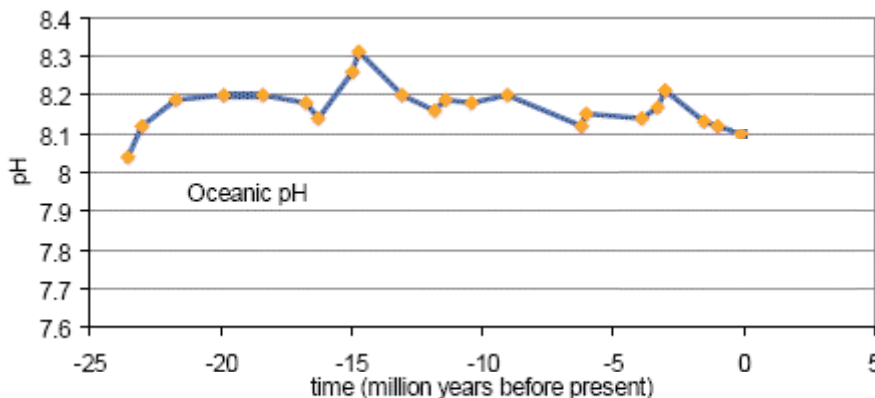
**Prof. Dr. James Zachos**, University of California, untersuchte anhand von Sedimentkernen das Klima vor 50 - 55 Millionen Jahren am Übergang vom Paleozän ins Eozän. Der damalige hohe CO<sub>2</sub>-Pegel in der Atmosphäre (5-mal so hoch wie heute, die Zeit gilt als Dorado der Artenvielfalt!) war auch im Meer entsprechend mehr CO<sub>2</sub> gespeichert, wodurch die CCD erhöhte. Dies zeigten die Bohrkern aus 2.700 - 4.800 m-Tiefe.

Seine Untersuchungen zeigten, dass die CCD in weniger als 10.000 Jahren um bis zu 2.000 m angehoben wurde. Es dauerte anschließend etwa 100.000 Jahre, bis sie wieder auf ihre alte Tiefe sank. Den im Meer lebenden Kalkschalenbewohnern scheint dies nicht geschadet zu haben, da diese vorzugsweise in den oberen 50 m Meerestiefe leben und die Populationsdichte nach den 100.000 Jahren groß war. Die Tatsache, dass in den Tiefseesedimenten keine Kalkschalen mehr gefunden wurden, bedeutet nämlich nicht, dass diese Lebewesen verschwanden, sondern lediglich, dass sich ihre Schalen auf dem Weg um Meeresgrund an der CCD begannen aufzulösen! Da die Bohrungen aus bis zu 4.000 m-Wassertiefe stammten und die CCD im Atlantik bei 3.000 m - 3.500 m-Tiefe liegt, hat auch eine drastische Anhebung der CCD auf dann noch 1.000 m - 1.500 m Wassertiefe keinen Einfluss auf den Lebensraum der Kalkschalentiere.



Die Abbildung zeigt die sog. "Schneefallgrenze" der CCD. Oberhalb der CCD werden die überwiegend weißen kalzitischen Gehäuse von Foraminiferen im Sediment erhalten, darunter werden diese aufgelöst. Die Tiefenlage der CCD variiert mit der Zufuhr von Biomasse und dem Alter des Tiefenwassers.

Für diesen Anstieg mussten gewaltige Massen von Kohlenstoff im Wasser gelöst gewesen sein, erklärten die Forscher – weit mehr als die bislang vermuteten 2.000 Gigatonnen (2.000 GT entsprechen der anthropogenen Emissionen über 500 Jahre hinweg!). Ihre Berechnungen ergaben die doppelte Menge, also dem anthropogenen Eintrag über ca. 1.000 Jahre. Die Aussage, die bisherigen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen würden den Lebensraum Meer beeinträchtigen, gar ganze Regionen absterben lassen, entbehrt somit jeder Grundlage und ist reine Panikmache.



Die Abbildung links zeigt die Entwicklung des gemittelten ozeanischen pH-Wertes im Neogen, vor 23 Millionen Jahren bis heute, Quelle: Cambridge University Press, 8, 65-70. Es ist zu sehen, dass der pH-Wert seit ca. 3.500 Jahren kontinuierlich sinkt, derzeit eher langsam und es keinen Grund zur Panikmache gibt.