

Beiträge des Deutschen Wetterdienstes

in Offenbach/M zur Berliner Wetterkarte

Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V.

zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft

c/o Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, C.-H.-Becker-Weg 6-10, 12165 Berlin

63/13

<http://www.berliner-wetterkarte.de>

ISSN 177-3984

SO 24/13

12.12.2013

Mögliche Ursachen für die diesjährige relativ ruhige nordatlantische Hurrikan-Saison*)

Horst W. Christ und Manfred Neumann (Koautor), Offenbach am Main

Abstract

The Madden-Julian-Oscillation (MJO) is an important player in the formative stage of tropical disturbances. In this article we discuss the background of the high frequency of intense tropical cyclones in the Northwest Pacific Basin and the relative quiet season in the North Atlantic Basin during recent summer/fall in regard to the different phases of the MJO.

Der am 1. Juni 2013 begonnene und am 30. November beendete Halbjahreszeitraum der Hurrikan-Saison im Nordatlantik einschließlich Karibik und Golf von Mexiko verlief verhältnismäßig „ruhig“, obwohl von den verschiedensten Institutionen des US-Wetterdienstes sowie auch von Universitäts-Instituten, darunter dem renommierten Institut der **Colorado State University (CSU)** eine übernormal verlaufende Saison vorhergesagt worden war. Solche Vorhersagen werden üblicherweise bereits einige Monate vor Beginn einer Saison herausgegeben und basieren auf einer Reihe bisher bewährter Prädiktoren, wie beispielsweise der Anomalie der Oberflächen-Temperaturen des Ozeans und dem auf Grund der jeweiligen ENSO-Phase herrschenden Zirkulationsmuster (ENSO = **EI Niño/Southern Oscillation**). Dabei entspricht die ENSO-Warmphase dem El Niño, die gegenteilige ENSO-Kaltphase dem La Nina. Bereits seit einigen Jahren ist bekannt, dass während der ENSO-Warmphase die Bildung der tropischen Wirbelstürme über dem Atlantik behindert wird.

Vor Beginn der diesjährigen Saison auf dem Atlantik herrschte weder ein El Niño, noch ein La Nina, sondern wir hatten es mit einer so genannten ENSO-neutralen Phase zu tun, die auch während der Saison 2013 andauerte, so dass der Entstehung tropischer Wirbelstürme in dieser Hinsicht nichts entgegenstand, wie auch leicht erhöhte Wassertemperaturen nicht gegen die Bildung tropischer Wirbelstürme sprachen.

Als sich aber zum eigentlichen Höhepunkt der Saison im August und September die erwartete Aktivität der tropischen Zyklonen über dem Atlantik nicht eingestellt hatte, wurden die Vorhersagen revidiert und der Realität angepasst. Gleichzeitig damit ging die Suche nach der Ursache für die relativ geringe Anzahl der atlantischen tropischen Wirbelstürme jetzt erst richtig los. Dafür wurde eine ganze Reihe von Faktoren verantwortlich gemacht:

Wüstenstaub. Dieser wurde von den teilweise recht kräftigen tropischen Wellen der tropischen Ostwindströmung über dem nördlichen Afrika aufgewirbelt und mit ihnen westwärts zum Atlantik verfrachtet. Dort breitete er sich über weite Seegebiete aus und führte sogar noch auf einigen Karibik-Inseln zur Verschmutzung von Pkws. Dies wurde aber von deren

*) Siehe auch Beilage Nr. 62/13 vom 11.12.2013

Besitzern wohlwollend in Kauf genommen, wussten sie doch, dass dieser Staub einen Teil der kurzwelligen solaren Strahlung reflektiert, so dass die an der Ozeanoberfläche ankommende Energie nicht mehr zu einer signifikanten Erhöhung der Oberflächentemperaturen des Ozeans beitragen kann und damit die Entwicklungschancen der von Nordafrika heranziehenden tropischen Wellen schmälert, die viel Zeit aufwenden müssen, um sich durch Niederschlagsprozesse ihres Staubgehaltes zu entledigen.

Atmosphärische Schichtung. Tropische Wellen im Entwicklungsstadium zeichnen sich üblicherweise durch eine hohe Gewitteraktivität aus. Diese war jedoch in der diesjährigen Saison weitgehend unterdrückt. Man führte dies auf eine anomal hohe Stabilität der atmosphärischen Schichtung zurück. Warum aber gerade in dieser Saison die tropische und subtropische Atmosphäre stabiler war als in anderen Jahren, lehrte uns der tägliche Blick auf die Wetterkarten. Dabei konnte man feststellen, dass beispielsweise das Azorenhoch stärker und umfangreicher als in anderen Jahren ausgeprägt war. Die damit einhergehenden Absinkprozesse führten zur Erwärmung der oberen Luftschichten, so dass die zur Gewitteraktivität benötigte Labilität nicht mehr ausreichte.

Die in diesen umfangreichen Hochdruckgebieten wirksamen Absinkprozesse führten jedoch auch zu einer nicht zu vernachlässigenden **Austrocknung** der maritimen Atmosphäre. Die Einbeziehung trockener Luft in das Zirkulationssystem eines tropischen Tiefs oder gar eines Wirbelsturms, die sich übrigens auch in auffälliger Weise in entsprechenden Satellitenbildern erkennen lässt, ist aber Gift für die weitere Entwicklung eines tropischen Systems. Sie war die häufigste Ursache für die vielfach relativ kurze Lebensdauer tropischer Zyklone, die dieses Mal nicht über Land (infolge des dort fehlenden Wasserdampfnachschubs) zugrunde gingen, sondern bereits auf offener See ihr Leben aushauchten. Diese relativ stark ausgeprägten Hochdruckgebiete waren jedoch noch für einen weiteren gegen die Bildung tropischer Wirbelstürme gerichteten Effekt verantwortlich. Die damit einhergehende Gradientverschärfung zur äquatorialen Tiefdruckrinne (Inter Tropische Konvergenz Zone – ITZ/Monsun-Trog) bewirkte eine

verstärkte Passatwindzirkulation. Dadurch wurde die Ozeanoberfläche stärker als sonst aufgewühlt und die warme Deckschicht mit üblicherweise kälterem Tiefenwasser vermischt, woraus eine Unterschreitung der für die Bildung tropischer Wirbelstürme kritischen Oberflächentemperatur des Ozeans von $26,5^{\circ}\text{C}$ bewirkt wurde. Dieser Effekt funktioniert allerdings dort nicht, wo das Tiefenwasser ähnlich hohe Temperaturen aufweist wie die Deckschicht – dies ist vielfach in niederen Breiten, also etwa unterhalb von 10° Nordbreite der Fall. Dort herrscht das Regime der äquatorialen Tiefdruckrinne, in das die Passate nicht eingreifen und damit den Ozean nicht aufwühlen können. Die Anrainer des nordatlantischen Beckens können im Gegensatz zu den Küsten- und Inselbewohnern des Nordwestpazifiks von Glück sagen, dass sie es nicht mit einem solchen „low rider“, also mit Wirbelstürmen, die über niedrige geographische Breiten entlang zogen, zu tun bekamen.

Als eine gute Freundin insbesondere der Bewohner und Touristen auf den Inseln über und unter dem Winde (Leeward and Windward Islands) erweist sich die **Scherung**. Dabei handelt es sich um Unterschiede der horizontalen Windgeschwindigkeiten zwischen den bodennahen Luftschichten und etwa 500 hPa entsprechend ca. 6 km Höhe. Diese Differenzbeträge können Werte bis zu 30 kt (1 kt entspricht einer Geschwindigkeit von einer Seemeile pro Stunde = 1852 Meter pro Stunde, d. h. 1,85 km/h) annehmen und treten vornehmlich am Südrand starker Hochdruckgebiete oder in Verbindung mit Höhenträgen und Höhentiefs auf. Die Scherung führt dazu, dass die konvektive Aktivitätszone eines tropischen Systems von seinem bodennahen Zirkulationszentrum getrennt wird, wodurch die anfangs senkrecht ste-

hende Achse des Systems geneigt wird. Damit können die im Innern des Systems wirksamen Kondensationsprozesse nicht mehr zur Verminderung seines Kerndruckes beitragen.

Auf all die vorgenannten fett gedruckten Gesichtspunkte hat der bekannte und am Nationalen Hurrikan Zentrum in Miami tätige Prof. Dr. Chris Landsea am 4. November 2013 in einem Interview der „Tampa Bay Times“ hingewiesen. Darüber hinaus hat der Direktor der privaten Institution „Wunderground“, Dr. Jeff Masters, in seinem Blog dargelegt, dass die in dieser Saison über dem Nordatlantik anzutreffende trockene Luft auch aus dem unter einer katastrophalen Trockenheit leidenden Nordostbrasilien stammen könne, nachdem sie den Äquator überschritten hatte (www.wunderground.com/hurricane).

Diese Überlegungen konnten die Autoren dieses Artikels jedoch nicht restlos überzeugen, war doch zum Höhepunkt der Saison im August und September auch die Taifunaktivität über dem Westpazifik gedämpft. Da ist kein Brasilien in der Nähe, und trockene Luft war vielleicht gerade mal am Rand des chinesischen Festlandes vorhanden. Auch dürfte der Sahara-Staub kaum bis zu den Philippinen vorgedrungen sein.

Die eigentliche Ursache für die diesjährige relativ „ruhige“ nordatlantische Hurrikan-Saison muss also ganz woanders zu suchen sein. Da bietet sich eine wissenschaftliche Untersuchung an, die bereits vor mehr als 40 Jahren angestellt wurde. Sie stammt von den amerikanischen Meteorologen Roland Madden und Paul Julian. Zum Leidwesen der Autoren wurden die sich daraus ergebenden Erkenntnisse bisher jedoch kaum oder nur unzureichend in der operationellen Tropen-Meteorologie verwendet. Wie wir weiter unten sehen werden, bilden sie jedoch den Schlüssel zu den in den Tropen ablaufenden konvektiven Prozessen.

Der Autor erhielt nach einer mehr als 50 Jahre währenden privaten Beschäftigung mit tropischen Zyklonen weltweit erstmals durch einen Beitrag in der „Frankfurter Allgemeinen Zeitung“ (FAZ) Kenntnis von dem als „Madden-Julian-Oszillation“ (MJO) in die Tropen-Meteorologie eingegangenen Phänomen und hatte große Mühe, an den dort zitierten Original-Beitrag heranzukommen, denn in der Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes war die betreffende Zeitschrift, in der dieser Beitrag enthalten war, nicht vorhanden. Dies traf leider auch auf die Deutsche Bibliothek in Frankfurt a. M. zu wie auch auf die Frankfurter Universitätsbibliothek. Erst in deren Hinterzimmern wurde er bei der Hessischen Landesbibliothek fündig. Der Tenor in dem FAZ-Beitrag ging in die Richtung, dass die Meteorologen am Nationalen Hurrikan-Zentrum (NHC) den Beginn der Atlantik-Saison an der kurz vorher einsetzenden Aktivität über dem Ost-Pazifik festmachen könnten.

Da – wie bereits erwähnt – dieses damals „neuartige“ MJO-Phänomen von den für das globale Warnmanagement verantwortlichen Agenturen, wie dem NHC oder dem JTWC (Joint Typhoon Warning Center der US-Marine in Pearl Harbor) so gut wie mit keinem Wort in den Diagnose-Berichten (discussions) erwähnt wurde, geriet die MJO beim Autor zunächst in Vergessenheit.

Dies änderte sich, als es nach einigen Jahren nach einem gehäuften Auftreten nordwestpazifischer Taifune in deren Entstehungsgebiet, in der Umgebung der pazifischen Insel Guam zu Protest-Leserbriefen in den regionalen Zeitungen wegen der damit einhergehenden fortgesetzten durch Starkniederschläge bedingten Überschwemmungen kam. Da trat ein neuseeländischer Meteorologe – ebenfalls mit einem Leserbrief auf den Plan und verkündete: „Es kommt noch ein Taifun und danach ist erst einmal für einige Wochen Ruhe, bis die nächste Serie tätig wird“.

Da fragte sich der Autor: Woher will der das denn wissen, und es schoss ihm plötzlich durch den Kopf: Das kann nur die MJO sein. Und deshalb musste er sich jetzt eingehend mit diesem Phänomen auseinandersetzen. Bei der MJO handelt es sich um eine äquatornahe atmosphärische Schwingung meteorologischer Anomalien (Vertikalbewegung, Luftfeuchte, Ausstrahlung), die sich hauptsächlich über dem Indischen Ozean bildet und in einem Zeitraum von 30 bis 60 Tagen die Erde in west-östlicher Richtung umrundet. Auf ihrem zyklonalen Wellenberg herrscht verstärkte Konvektion, mit der verbreitete Niederschlagsprozesse ausgelöst werden und die Genesis tropischer Systeme begünstigt wird, wohingegen im Wellental die Konvektion und damit auch die Bildung tropischer Depressionen/Stürme eine Dämpfung erfährt.

Die Erforschung dieses Phänomens vollzieht sich zwar „in aller Stille“ im weltweiten Scale, und die meteorologische Fachliteratur wartet geradezu mit einer Fülle von Resultaten und sich daraus ergebenden Folgerungen auf. Allein mit deren Umsetzung in die operationelle Tagespraxis hapert es. So bemüht sich derzeit das JTWC geradezu missionarisch darum, die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse über die MJO und die sie flankierenden Prozesse an den Mann zu bringen. Dabei verweist es auf seiner Website in einer vom Climate Prediction Center (CPC) verfassten, jeweils dienstags abends aktualisierten Rubrik mit dem Titel „Global Tropical Hazards Outlook“ mit Zwei-Wochen-Vorhersagen auf die tropischen Entwicklungen in Abhängigkeit von der MJO. In diesem Zusammenhang bringt das JTWC neuerdings auch die konvektiv gekoppelten Kelvin-Wellen sowie die äquatorialen Rossby- und Schwerewellen (letztere spielten offensichtlich bei der Entstehung des Supertaifuns Haiyan eine Rolle – siehe dazu Kommentar Nr. 118 im Blog von Jeff Masters mit der entrynum = 2571) ins Spiel. Dabei spricht es sogar explizit die operationell tätigen Tropen-Meteorologen an und macht diesen Hinweis durch das mit roter Farbe markierte Wörtchen „new“ besonders kenntlich.

In Anbetracht der bereits erwähnten, zu wünschen übrig lassenden Anwendung der aus der MJO gewonnenen Erkenntnisse ist es umso erstaunlicher, dass dieses Phänomen sogar in die weltweit in höchstem Ansehen stehenden Vorhersage-Modelle des Europäischen Zentrums für mittelfristige Vorhersagen und das amerikanische GSF-Modell Eingang gefunden hat. Um nun dem Tropen-Meteorologen verständlich zu machen, wie diese Vorhersagemodelle mit der MJO „umgehen“, haben 2 australische Meteorologen namens Mathew C. Wheeler und Harry H. Hendon das so genannte Wheeler-Hendon-Phasen-Diagramm entworfen, aus dem hervorgehen soll, in welchem Oktanten der Erde sich der zyklonale Einfluss der MJO gerade aufhält und auf welchem Weg er in der Vergangenheit dorthin gelangt ist (siehe **Abbildung 1** auf der Folgeseite). Dieser Weg ist in dem Diagramm durch aneinandergereihte Geraden-Stücke aufgezeigt.

So läuft der Geradenzug und damit die MJO im November 2013 aus den Oktanten 8 und 1 bzw., um im Sinne von Wheeler und Hendon zu sprechen aus den Phasen 8 und 1 (Atlantik und Afrika) heraus in den Indik (Phasen 2 und 3), um gegen Ende des Monats schließlich die Phase 4 (Maritimer Kontinent = Ostasien) zu erreichen. Dabei wird auch die Amplitude der zyklonalen Phase der MJO angezeigt und zwar mit dem Wert 1 als Kreis in der Mitte der Abbildung. Mit der Gleichsetzung von Phasen und Oktanten wird allerdings eine gewisse Verwirrung erreicht, da die Phase in der Physik üblicherweise einem Wellenabschnitt und nicht einem geographischen Gebiet zugeordnet wird.

Wir haben auf das Diagramm nur deshalb gezeigt, weil darauf international im Zusammenhang mit der MJO immer wieder Bezug genommen wird und weil die Numerik darin enthalten ist. Aber eine Numerische Vorhersage ohne eine permanente In-vivo-Verifikation kann schlimme Folgen haben.

(RMM1,RMM2) phase space for 15-Oct-2013 to 23-Nov-2013

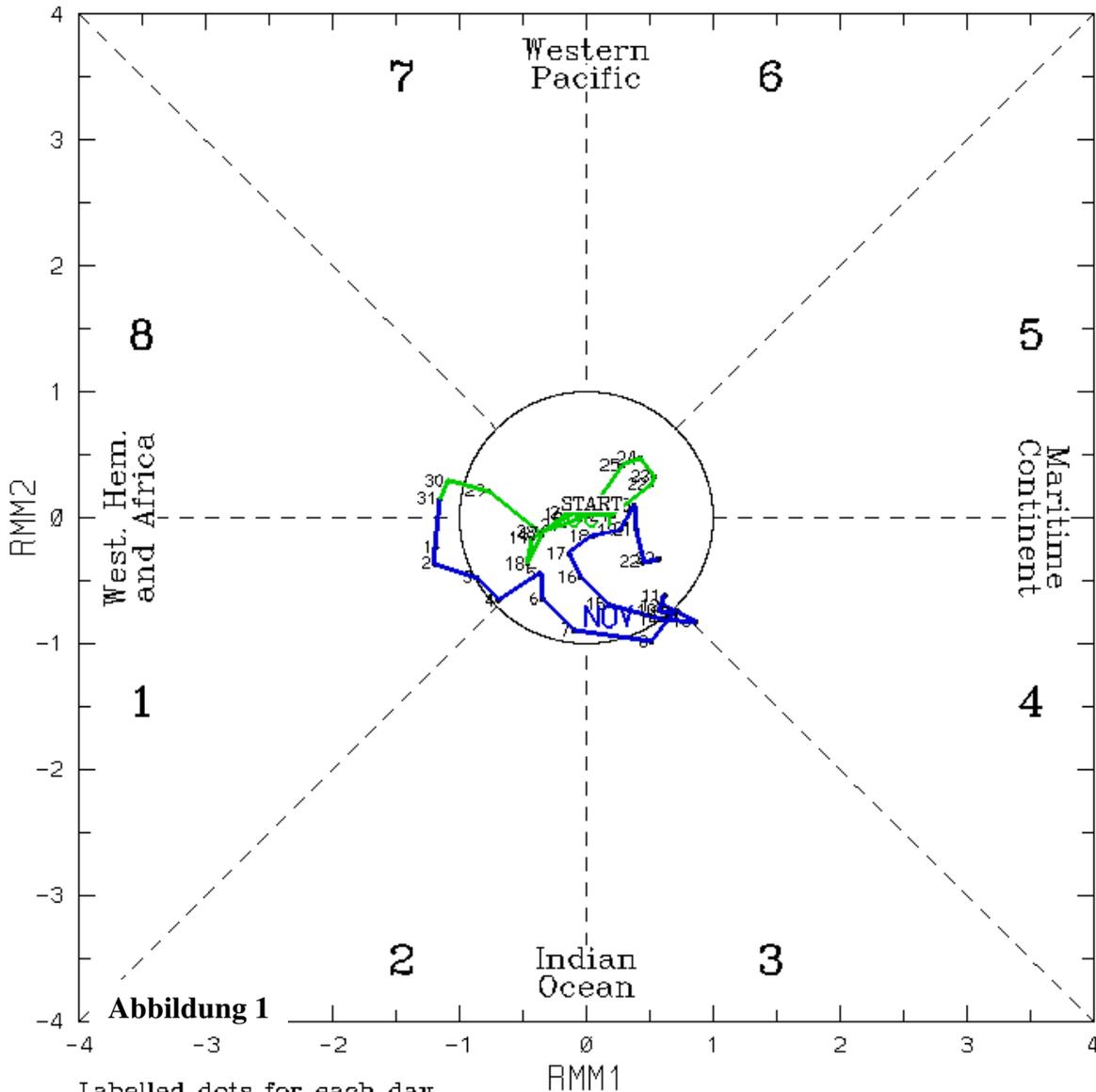


Abbildung 1

Labelled dots for each day.

Blue line is for Nov, green line is for Oct, red line is for Sep.

(C) Copyright Commonwealth of Australia 2013 . Bureau of Meteorology

Auch dieses Wheeler-Hendon-Phasen-Diagramm findet in der operationellen Tropen-Meteorologie kaum Beachtung. Dem Autor ist einzig der indische Wetterdienst bekannt, der in seinen Diagnoseberichten zu dem während der Abfassung dieses Beitrages gerade über dem Golf von Bengalen tobenden Zyklon LEHAR darauf Bezug nimmt. Dabei wird davon ausgegangen – so suggerieren es die Vorhersagemodelle –, dass über dem Indischen Ozean eine schwache zyklonale MJO anzutreffen ist. Offensichtlich hat man es in Indien versäumt, diese Vorhersagen zu verifizieren, sonst wüsste man nämlich, dass zur Zeit rund um den Globus die neutrale Phase der MJO herrscht (siehe Abbildung 2). Mit dieser Abbildung 2, in der vom amerikanischen Climate Prediction Center allabendlich (MEZ) die 5-tägigen gleitenden Mittel der MJO in einem Zeit-Längen-Schnitt für einen längeren Zeitraum (siehe Ordinate) erdumspannend (siehe Längengrad-Einteilung auf der Abszisse) aktualisiert wird, müssen wir uns jetzt eingehender beschäftigen.

In der folgenden **Abbildung 2** erkennen wir die geographische Verteilung der antizyklonalen (mit positiven Zahlenwerten versehenen) Felder und zyklonalen (mit negativen Zahlenwerten belegten) Felder der MJO. Dabei überdecken sowohl die Gebiete mit zyklonaler MJO als auch die Areale mit antizyklonaler MJO oftmals Bereiche, die sich über mehr als einhundert Längengrade erstrecken.

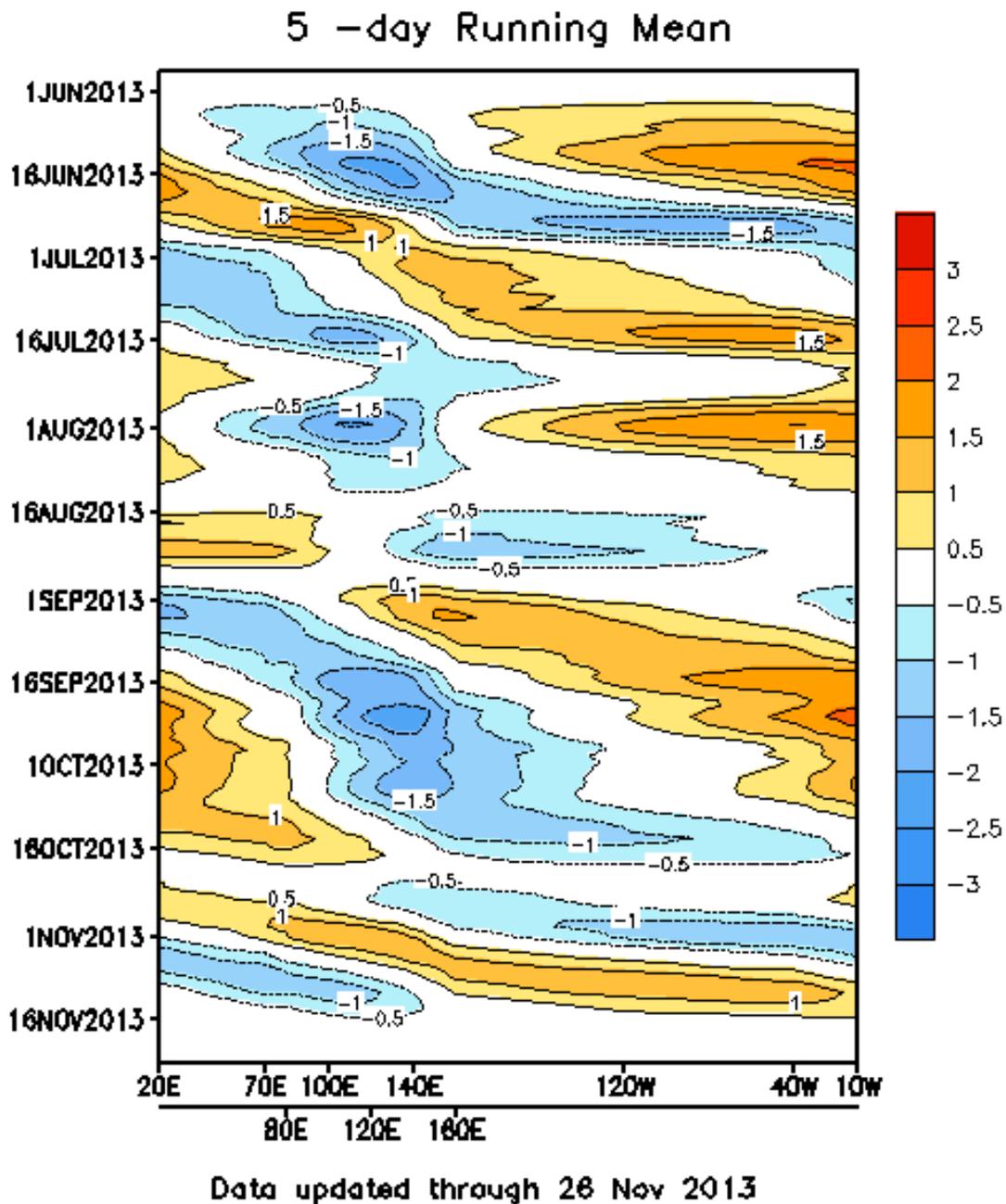


Abbildung 2

(www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/mjo_index.html)

Außerdem erkennt man in **Abbildung 2**, dass sich die zyklonalen und antizyklonalen Phasengebiete der MJO von West nach Ost verlagern, manchmal aber auch stationär bleiben; dies war beispielsweise zur Monatswende September/Oktober 2013 der Fall, als der Vorderwand eines zyklonalen Phasengebietes für mehrere Tage etwa bei 130 Grad West verharrte.

Damit waren fast alle tropischen Systeme, die versuchten, sich im neutralen Phasengebiet des Ostpazifiks östlich des 130. westlichen Längengrades zu entwickeln, so gut wie zum Scheitern verurteilt. Auffallend ist, dass in dem neutralen Phasengebiet östlich von 130 Grad West 5 tropische Zyklonen entstanden waren, davon 3 westlich von Mexiko und 2 östlich davon. Sie bezogen in diesem neutralen Phasengebiet ihre Energie aus einem starken Monsun, waren aber nicht in der Lage, Hurrikan-Stärke zu erreichen. Außerdem wird in dieser Abbildung deutlich, dass zum Höhepunkt der atlantischen Hurrikan-Saison, im September 2013, dort gerade ein antizyklonales Phasengebiet lag, das jeglicher tropischen Störung die Entwicklungs-Chancen raubte. Man kann also sagen: Diese Störungen waren zur falschen Zeit am falschen Ort - so wie es der Autor damals einem eingegrenzten Nutzerkreis in englischer Sprache zu den Entwicklungschancen des „Möchtegern“-Wirbelsturms KAREN mitgeteilt hatte. Andererseits wird in Abbildung 2 deutlich, wie ein kräftiges zyklonales Phasengebiet der MJO etwa bei 140 Grad östlicher Länge, also im Seegebiet östlich der Philippinen verharrte und dort zur Brutstätte einer ganzen Reihe schwerer Taifune wurde.

Nach diesen Vorbemerkungen könnte man jetzt resümieren mit der Aussage: Keine Chance für die Entwicklung tropischer Wirbelstürme in antizyklonalen und neutralen Phasengebieten der MJO, hingegen in zyklonalen Phasengebieten verstärkte Wirbelsturm-Aktivität. Dieses Bild kennen wir schließlich auch von den MJO-Graphiken, in die Koautor M. Neumann bereits seit einigen Jahren jeweils am Schluss seiner Halbjahresberichte über weltweite Unwetter und tropische Zyklonen die tropischen Wirbelstürme eingetragen hat.

Allerdings ist die Lage noch ein wenig differenzierter. Dies sei am Beispiel des Super-Zyklons PHAILIN im Golf von Bengalen erläutert. Er entstand als tropisches Tief im Golf von Thailand, überquerte den Gebirgszug der malaysischen Halbinsel und regenerierte sich im Golf von Bengalen, in einem damals neutralen Phasengebiet der MJO, das mehrere Tage zwischen dem 70. und 100. östlichen Längengrad verharrte.

Dieses neutrale Phasengebiet der MJO war aber von einer ganz anderen Qualität als das weiter oben erwähnte neutrale Phasengebiet im Ostpazifik. Während das entwicklungs-günstigere neutrale Phasengebiet, in das PHAILIN hineinwanderte, dadurch charakterisiert war, dass es im Westen (also bei 70 Grad Ost) vom Vorderrand eines antizyklonalen Phasengebietes und im Osten (also bei 100 Grad Ost) vom Hinterrand eines zyklonalen Phasengebietes begrenzt war, lagen die Verhältnisse bei dem o. g. ostpazifischen neutralen Phasengebiet gerade umgekehrt, also im Westen bei 130 Grad West war ein zyklonales Phasengebiet, im Osten etwa bei der mittelamerikanischen Landenge ein antizyklonales Phasengebiet. PHAILIN wanderte also von einem zyklonalen Phasengebiet in ein neutrales, während die ostpazifischen Systeme von einem antizyklonalen Phasengebiet über ein neutrales Phasengebiet in Richtung auf ein zyklonales Phasengebiet der MJO wanderten. In der Spätphase der westpazifischen Taifune konnte man ebenfalls eine Situation wie bei PHAILIN beobachten.

Um die Verhältnisse sprachlich zu vereinfachen, wird vorgeschlagen, die beiden neutralen Phasengebiete der MJO wie folgt zu benennen: a-n-c-Gebiet für die neutrale Phase bei PHAILIN und c-n-a-Gebiet in unserem Fall im Ostpazifik, jeweils in West-Ost-Richtung gesehen (c für zyklonal/ cyclonic, a für antizyklonal).

Es ist also festzuhalten, dass Keimzellen von tropischen Störungen, die sich in einem antizyklonalen Phasengebiet mit Unterstützung eines starken Monsunregimes entwickeln bei ihrer auf der Nordhalbkugel nach Westen in ein neutrales Phasengebiet gerichteten Wanderung viel geringere Chancen haben, Hurrikan-Stärke zu erreichen (c-n-a-Fall) als Keimzellen, die sich in einem zyklonalen Phasengebiet entwickeln (a-n-c-Fall). Man tut also gut daran, beim

Auftauchen einer jeden neuen Keimzelle einen Blick auf den aktuellsten Zeit-Längen-Schnitt der Madden-Julian-Oszillation (gleitendes 5-Tagesmittel) zu werfen.

(www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/mjo_index.html)

Interessant war auch die Entwicklung des Zyklons LEHAR über dem Golf von Bengalen. Seine Keimzelle lag kurz nach Mitte November 2013 ebenfalls (wie bei PHAILIN) im Golf von Thailand, allerdings bei 4 Grad Nord viel weiter südlich. Auch er überquerte die malaysische Halbinsel, und für ihn wurden im Golf von Bengalen Spitzengeschwindigkeiten von 185 km/h vorhergesagt. Diese Vorhersage beruhte auf der irrigen Annahme einer Unterstützung durch die MJO im Anfangsstadium der Entwicklung dieser TC, die aber nicht vorhanden war. Die vorhergesagten 185 km/h konnte er wegen der fehlenden Unterstützung durch ein zyklonales Phasengebiet der MJO nicht erreichen. LEHAR hielt sich zeit seines Lebens in einer erdumspannenden, tagelang dauernden neutralen Phase der MJO auf und hatte bereits am 26. November 2013 auf offener See mit 140 km/h den Höhepunkt seiner Entwicklung erreicht.