

5.3 Taifune im tropischen Nordwest-Pazifik

DIETER KASANG & JOSÉ L. LOZÁN

Taifune im tropischen Nordwest-Pazifik: Die Häufigkeit und besonders die Stärke tropischer Wirbelstürme sind im Nordwest-Pazifik höher als in jeder anderen Region der Welt. So kommen hier mehr als 50% aller tropischen Zyklone der Kategorie 5 vor. Aufgrund der dichten und schnell wachsenden Bevölkerung auf den südostasiatischen Inseln und dem asiatischen Festland ist damit hier auch die Gesellschaft so stark wie nirgend wo sonst durch Taifune, wie hier die tropischen Wirbelstürme heißen, bedroht, wie einige Beispiele der jüngsten Vergangenheit gezeigt haben. Über die bisherige Veränderung der Anzahl der Taifune zeigen die Daten widersprüchliche Trends. Ihre Stärke scheint sich jedoch erhöht zu haben, vor allem an den Küsten. Als Ursachen werden natürliche Klimaschwankungen wie El Niño und der anthropogene Treibhauseffekt diskutiert. Für die Zukunft zeigen die Klimamodelle eine Abnahme der Taifun-Anzahl, aber eine Zunahme der Intensität sowie eine Verschiebung der Zugbahnen nach Norden und Nordosten. Als wichtigste Ursachen werden die Erwärmung des Meerwassers durch den Klimawandel sowie räumliche Änderungen von ENSO angenommen.

Typhoon in the North West Pacific: The frequency and especially the intensity of tropical cyclones are higher than in any other region of the world. More than 50% of all category 5 tropical cyclones occur here. Recent events show that due to their dense and rapidly growing population societies on the Southeast Asian Islands as well as on the Asian mainland are particularly threatened by typhoons, as tropical cyclones are called in this region. Until now, observations have shown contradictory trends concerning the number of typhoons while, especially in coastal areas, their intensity seems to have increased. Natural climate variability, such as El Niño, as well as the anthropogenic greenhouse effect are considered as possible causes. Climate models project a decrease in the number of typhoons for the future, but an increase in their intensity as well as a shift in their tracks to the north and northeast. The warming of the oceans due to climate change as well as spatial variations of ENSO are assumed to be the most important causes.

Fast ein Drittel aller tropischen Wirbelstürme weltweit und mehr als 50% der Kategorie 5 nach der Saffir-Simpson-Skala ereignen sich im nordwestlichen tropischen Pazifik (PUN et al. 2013). Die sog. Supertaifune des Nordwest-Pazifiks, die etwa den Hurrikanen der Kategorie 4 und 5 entsprechen, gehören global zu den stärksten und verheerendsten Stürmen überhaupt. So sind dem Supertaifun »Haiyan« (Abb. 5.3-1) im Jahre 2013 ca. 6.000 Menschen zum Opfer gefallen, bei ökonomischen Verlusten von 800 Mio. US\$ (NASA 2013). »Haiyan« traf am 8. November auf die philippinische Insel Leyte mit Windgeschwindigkeiten von fast 315 Stundenkilometern und einer Flutwelle bis zu 7 m Höhe. Einher gingen Niederschläge zwischen dem 2. und 12. November von über 500 mm. Die Hauptstadt der Insel Tacloban

wurde fast völlig zerstört. 2016 folgte mit Meranti ein fast ebenso starker Sturm, der gleichfalls die Philippinen, aber auch Taiwan und China traf (WIKIPEDIA 2018).

Mit der künftigen wachsenden Bevölkerung und sozialen Infrastruktur in den Küstenregionen Asiens werden starke tropische Wirbelstürme eine wachsende Bedrohung für die menschliche Gesellschaft besonders in den Küstengebieten. Am meisten gefährdet sind die dem asiatischen Festland vorgelagerten Inseln wie die Philippinen und Taiwan sowie die großen dichtbesiedelten Deltas in Ostasien, Südostasien und Südasien. Der Klimawandel wird in den nächsten Jahrzehnten nach bisherigen Erkenntnissen zwar nicht die Anzahl der tropischen Wirbelstürme erhöhen, aber wahrscheinlich deren Stärke intensivieren.

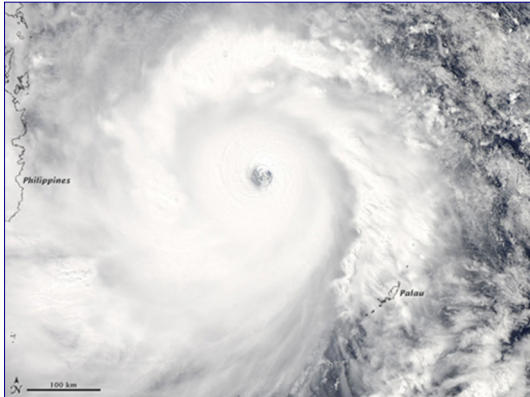


Abb. 5.3-1: Satellitenbild von Supertaifun »Haiyan« vor den Philippinen (NASA 2013, public domain).

Verbreitung und Schäden

Im Zeitraum 1979-2012 wurden 168 Taifune im Nordwest-Pazifik gezählt bzw. 4,94 pro Jahr (ZHAO & WANG 2016). Am stärksten betroffen sind China und die Philippinen, aber auch Japan, Süd-Korea, Vietnam und weitere Länder sind stark gefährdet. Das Hauptgebiet für die Entstehung tropischer Wirbelstürme im westlichen Nordpazifik umfasst die Koordinaten 10 °N-26 °N und 122 °E-170 °E. Die Kernzeit der Taifun-Saison reicht hier von Juli bis Oktober. Vom Entstehungsgebiet ziehen die Wirbelstürme Richtung Nordwesten und treffen z.T. auf die Inseln und Inselgruppen vor dem asiatischen Festland und auf das Festland selbst (PUN et al. 2013). Nach Entstehungsgebiet und Zugbahnen lassen sich drei Gruppen von Taifunen im westlichen

Nordpazifik unterscheiden. Über ein Drittel entsteht nordöstlich der Philippinen, von wo die Wirbelstürme Richtung Taiwan, China, Korea und Japan ziehen und zu 75% auf Land treffen. Weitere 30% entstehen weiter südwestlich, östlich der Philippinen und im Südchinesischen Meer, und treffen zu 97% auf Land, vor allem auf die Philippinen, Vietnam und Südchina. Die restlichen Taifune entstehen weiter östlich auf dem offenen Ozean und treffen nur zu einem geringen Teil auf Land (MEI & XIE 2016).

Zwischen 1980 und 2008 gab es im Nordwest-Pazifik 750 Taifune mit erheblichen Sachschäden und hohen Verlusten sowie Menschenleben. Am meisten hatten darunter die Philippinen und China zu leiden, mit ca. sechs solcher Ereignisse pro Jahr. Mit durchschnittlich 115 Toten pro Ereignis, vor allem verursacht durch den Supertaifun »Haiyan«, standen die Philippinen an der Spitze der Todesziffern, während die ökonomischen Verluste in China und Japan am größten waren. Trotz zunehmender Werte und Bevölkerungsdichte in den betroffenen Regionen hängen Sachschäden und Opferzahlen vor allem von der Aktivität der Taifune selbst ab. In Zeiten hoher Taifun-Aktivität liegt die Anzahl der Verlustereignisse um 14% höher, bei niedriger Aktivität um 9% niedriger als im Mittel (WELKER & FAUST 2013).

Veränderungen

Ob die globale Erwärmung bereits einen Einfluss auf die Häufigkeit und Stärke von tropischen Wirbelstürmen nimmt, ist für den Nordwest-Pazifik eine ebenso wichtige wie schwierig zu beantwortende Frage wie für den Nordatlantik (s. Kap. KASANG & WACHSMANN in diesem Band). Ähnlich wie bei den Hurrikanen im Nordatlantik sind auch die Daten für die Taifune im Nordwest-Pazifik durch unterschiedliche Beobachtungsmethoden und Qualitätsniveaus gekennzeichnet. Die Beobachtungstechniken waren in der Zeit ab 1944 bis in die 1980er Jahre durch Flugzeuge der US-Air Force bestimmt; seit den 1970er Jahren kamen dann Satellitenbeobachtung hinzu. Aktuell gelten die Beobachtungsdaten der chinesischen Wetterbehörde, einer Beobachtungsstelle in Honkong sowie der WMO in

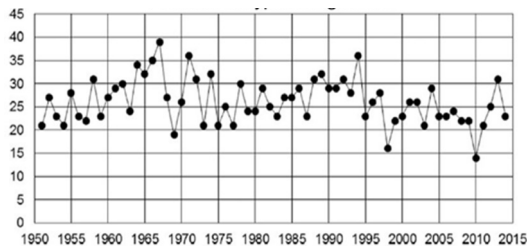


Abb. 5.3-2: Anzahl von Taifunen pro Jahr im westlichen Nordpazifik 1951-2014 (MORI & TAKEMI 2016, CC BY).

Tokio und der US-amerikanischen Wetterbehörde auf Hawaii als die besten Datensätze über die bisherige Entwicklung.

Je nach verwendetem Datensatz sind die Untersuchungsergebnisse über die Änderung der Anzahl der tropischen Wirbelstürme im Nordwest-Pazifik der letzten Jahrzehnte unterschiedlich. So zeigen die Daten der China Meteorological Administration und des Hong Kong Observatory für die Zeiträume 1949-2010 bzw. 1961-2010 eine deutliche Abnahme der Häufigkeit tropischer Wirbelstürme, während die des Joint Typhoon Warning Center (1945-2010) auf Hawaii und der Regional Specialized Meteorological Center Tokyo (1977-2010) keinen statistisch signifikanten Trend aufweisen (WALSH et al. 2016). Auch eine Auswertung des Datenarchivs der Japan Meteorological Agency (JMA) lässt für die Anzahl der tropischen Wirbelstürme, die Taifun-Stärke erreicht haben, im westlichen Nordpazifik von 1951 bis 2014 keine langfristigen Zu- oder Abnahme erkennen (Abb. 5.3-2). ZHAO & WANG (2016), die sich auf die Daten des Joint Typhoon Warning Center stützen, erkennen dagegen einen deutlichen Unterschied in der Anzahl der Taifune vor und seit 1998 mit 6,1 pro Jahr für 1979-1997 und 3,6 pro Jahr für 1998-2012, der vor allem auf die Spätphase der Taifun-Saison (Oktober-Dezember) zurückzuführen sei.

Andere Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass der Anteil von starken Taifunen an der Gesamtzahl der Taifune im tropischen Nordwest-Pazifik zugenommen hat, was teilweise auch dadurch bedingt ist, dass es weniger Taifune insgesamt gegeben hat. So erkennen ZHAN et al. (2017) einen signifikanten Aufwärtstrend bei dem Anteil der starken tropischen Wirbelstürme im Vergleich zu allen Taifunen von 16 bis 20% seit den späten 1970er Jahren. Und nach MEI et al. (2015) zeigt die über alle Taifune eines Jahres gemittelte maxima-

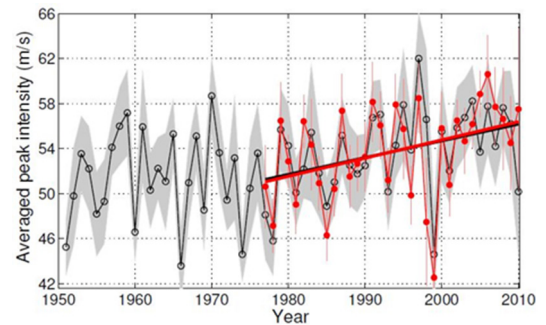


Abb. 5.3-3: Über alle Taifune eines Jahres gemittelte maximale Windstärke: Jahresmittel während der Taifun-Saison (Juli-September) nach zwei Datensätzen (schwarze und rote Linien) mit Unsicherheitsbereichen (graue Flächen und rote senkrechte Linien) zwischen 1977 und 2010 (MEI et al. 2015, CC BY-NC)

le Windstärke zwischen den späten 1950er und den mittleren 1970er Jahren zwar einen abnehmenden, seit den mittleren 1970er Jahren aber einen zunehmenden Trend und liegt während der letzten beiden Jahrzehnte um ~10% höher als in den 1970er Jahren (s. *Abb. 5.3-3*). Die Auswertung des Datenarchivs der Japan Meteorological Agency durch MORI & TAKEMI (2016) lässt allerdings auch bei der Anzahl von Supertaifunen im westlichen Nordpazifik von 1951 bis 2014 keine langfristigen Zu- oder Abnahme erkennen.

Als gesicherter als die Beobachtungen für den offenen Ozean können die Daten von auf Land treffenden Taifunen gelten. Und diese Taifune sind in Ost- und Südostasien zwischen 1977 und 2014 nach MEI & XIE (2016) um 12-15% stärker geworden. Dabei hat sich der Anteil der Stürme der Kategorien 4 und 5 an allen Taifunen verdoppelt oder sogar verdreifacht, was teilweise auch hier an einer Verringerung der Gesamtzahl der Wirbelstürme gelegen hat. Allerdings ist auch die absolute Zahl der Kategorie 4- und 5-Taifune pro Jahr in den letzten 38 Jahren von weniger als 5 auf 7 gestiegen. Da rund die Hälfte der Taifune auf Land trifft, ist deren Verstärkung von großer gesellschaftlicher Bedeutung (MEI & XIE 2016). Auch MEI et al. (2018) erkennen ab 1998 eine Wende im Verhalten der Taifune des westlichen Nordpazifiks. Im südöstlichen Teil, also auf dem offenen Ozean, hat danach die Anzahl starker Taifune deutlich abgenommen, im nordwestlichen Teil, d.h. vor der Küste des ostasiatischen Festlands vom Südchinesischen Meer bis nach Japan, aber zugenommen.

Zugleich wurde festgestellt, dass sich die maximale Stärke tropischer Wirbelstürme während der Periode 1980-2013 räumlich deutlich nach Norden verschoben hat (KOSSIN et al. 2016). Damit hat die Exponiertheit der Philippinen, des Südchinesischen Meers, Vietnams und von Süd-China abgenommen. Dagegen sind das Ostchinesische Meer, Japan, die koreanische Halbinsel und Teile des östlichen Chinas den stärkeren tropischen Wirbelstürmen stärker ausgesetzt. Nach Simulationen auf der Basis des Szenarios RCP8.5 wird sich diese Veränderung mit bis zu 0,2 Breitengrad pro Jahrzehnt bis zum Ende dieses Jahrhunderts fortsetzen.

Der Einfluss von ENSO

Auch wenn sich bei der Anzahl aller Taifune im westlichen Nordpazifik langfristige Trends nicht mit Sicherheit ausmachen lassen, so zeigen doch alle Datensätze eine starke Variabilität von Jahr zu Jahr sowie gewisse dekadische Schwankungen. Die jährlichen Schwankungen werden vor allem durch die natürliche Variabilität des ENSO-Phänomens beeinflusst. Bei El Niños kommt es anders als im Atlantik (vgl. Kap. KASANG & WACHSMANN in diesem Band) zur Bildung stärkerer

(Kategorie 3-5) und länger andauernder Taifune verglichen mit La-Niña-Phasen. So zeigte nach PATRICOLA et al. (2018) während des jüngsten starken El Niño 2015 der westliche Nordpazifik eine hohe Taifun-Aktivität mit 8 Supertaifunen. Nach Modellsimulationen haben El-Niño-Ereignisse eine Zunahme von starken Taifunen um mehr als 40% zur Folge, während bei La-Niña-Ereignissen die Anzahl starker Taifune um 29% abnimmt (PATRICOLA et al. 2018).

Die physikalischen Mechanismen, die dazu führen, sind vor allem die vertikale Windscherung, die während eines El Niño im tropischen Pazifik (anders als im Atlantik) nur schwach ausgebildet ist, was die Bildung und Entwicklung von tropischen Wirbelstürmen begünstigt (ZHAO & WANG 2016). Hinzu kommt, dass sich bei einer Erhöhung der Meeresoberflächentemperaturen im östlichen und zentralen tropischen Pazifik bei einem El Niño das Entstehungsgebiet der Taifune nach Südosten verschiebt. Dadurch entstehen die tropischen Wirbelstürme in einer größeren Distanz zum asiatischen Kontinent und haben somit mehr Zeit sich zu verstärken, bevor sie auf Land treffen. Außerdem bewirkt die Corioliskraft, dass sie früher nach Norden abdrehen. Nach ZHAO & WANG (2016) spielt die ENSO-bedingte vertikale Windscherung auch für die Dekaden-Schwankungen bei der Anzahl der Taifune eine wesentliche Rolle. So sei zumindest bis 2014 der Rückgang bei der Anzahl der Taifune seit 1998 durch die Dominanz von La-Niña-Ereignissen und die damit einhergehende stärkere Windscherung bedingt.

Ozeantemperaturen und -schichtung

Außer durch ENSO ist die Meeresoberflächentemperatur des tropischen Nordwest-Pazifik auch durch längerfristige natürliche Schwankungen beeinflusst, vor allem durch die Pazifische Dekaden-Oszillation (PDO), einer Schwankung der Oberflächentemperaturen im Nordpazifik, die neben einer jährlichen Variabilität deutliche dekadische Unterschiede aufweist und teilweise mit ENSO korreliert ist (ZHAO & WANG 2016). Darüber hinaus wird in der Forschung als wichtiger Grund für Veränderungen besonders der Taifun-Intensität der Klimawandel diskutiert. So sehen MEI & XIE (2016) den Grund für die Verstärkung der auf Land treffenden Taifune in einer lokal erhöhten Meeresoberflächentemperatur, die vor den Küsten Ost- und Südost-Asiens beobachtet wird und möglicherweise auf die globale Erwärmung zurückzuführen ist. Von MEI et al. (2018) wird allerdings gerade die Abschwächung der globalen Erwärmung während der sog. Klimapause zwischen 1998 und 2013 als Erklärung angeführt. Diese war danach mit vorherrschenden vom östlichen tropischen Pazifik bis weit nach Westen reichenden La-Niña-ähnlichen Zuständen verbunden.

Dabei erwärmte sich der pazifische Wärmepool im westlichen Teil des tropischen Nordwest-Pazifiks vor den Küsten des asiatischen Kontinents und führte hier zu einem vermehrten Vorkommen starker Taifune.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich nicht nur die Temperaturen der Meeresoberfläche in den letzten Jahrzehnten erhöht haben, sondern auch die Wasserschicht darunter. Je höher die Meeresoberflächentemperatur und je dicker die mindestens 26 °C warme Schicht darunter und damit der Wärmeinhalt des oberen Ozeans (auch als Wärmepotential tropischer Wirbelstürme bezeichnet) ist, desto günstiger sind die ozeanischen Bedingungen für eine Intensivierung tropischer Wirbelstürme (Abb. 5.3-4). Seit den frühen 1990er Jahren hat sich nach PUN et al. (2013) die Lage der 26 °C-Isotherme um 10% abgesenkt. Zur Entwicklung von Taifunen der Kategorie 5 sind neben einer Meeresoberflächentemperatur von mindestens 29 °C ein Wärmeinhalt des oberen Ozeans von 100-110 kJ/cm² sowie Tiefen der 26 °C-Isotherme von 100-110 m erforderlich. Solche Bedingungen gab es in den frühen 1990er Jahren nur in rund 28% des Hauptentstehungsgebiets der Taifune im Nordwest-Pazifik, gegenwärtig dagegen in 41%. Während sich die Meeresoberflächentemperatur nach PUN et al. (2013) verhältnismäßig wenig verändert hat, sind die Bedingungen für die Entstehung von Supertaifune unterhalb der Oberfläche im oberen Ozean deutlich günstiger als in anderen tropischen Ozeanen geworden. Ein Indiz in diesem Zusammenhang ist auch, dass die typische Durchmischung beim Passieren eines Taifuns weniger kaltes Wasser an die Oberfläche transportiert (MEI et al. 2015).

Das Hochmischen von kaltem Meerwasser aus der Tiefe wird auch durch einen anderen Effekt abgeschwächt (BALAGURU et al. 2015). Durch den zuneh-

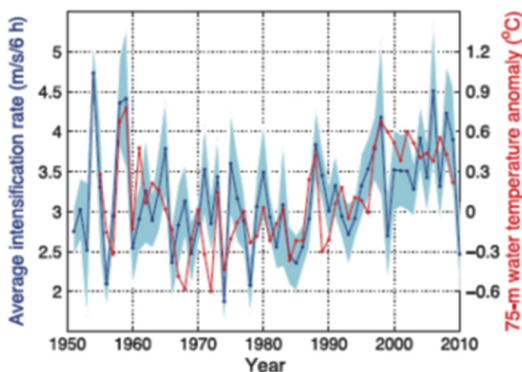


Abb. 5.3-4: Änderung der Intensivierungsrate von Taifunen und der Wassertemperatur in 75 m Tiefe¹.

¹ Mei, W., S.-P. Xie, F. Primeau, J. C. McWilliams, C. Pasquero (2015): Northwestern Pacific typhoon intensity controlled by changes in ocean temperatures. *Sci. Adv.* 1, e1500014; Lizenz: CC BY-NC.

menden Niederschlag, der nach (BALAGURU et al. 2015) auf die globale Erwärmung zurückzuführen ist, hat der Salzgehalt im Oberflächenwasser des nordwestlichen tropischen Pazifik in den letzten Jahrzehnten deutlich abgenommen und damit die Schichtung im oberen Ozean verstärkt. Infolgedessen wird aber auch die Intensität besonders von Supertaifunen verstärkt, da bei einer stabileren Schichtung durch einen Sturm weniger kaltes Wasser aus der Tiefe nach oben gemischt wird. Dieser Effekt auf die Sturmstärke der Taifune war in 1961-2008 um 53% wirksamer als die negative Rückkopplung durch das Hochmischen von kaltem Wasser. Im Atlantik und Indischen Ozean spielt die Salzgehaltsschichtung dagegen keine Rolle für die Stärke der tropischen Wirbelstürme.

Projektionen

Die Projektionen von Häufigkeit und Intensität der Taifune in einem künftigen Klima sind stark abhängig von der räumlichen Auflösung der verwendeten Klimamodelle. Die globalen atmosphärischen Zirkulationsmodelle sind immer noch zu grob aufgelöst, um die wichtigsten Prozesse im Kern der Wirbelstürme, z.B. Wolkenbildung und Windgeschwindigkeit, adäquat wiederzugeben. Nötig wäre eine horizontale Auflösung von 2 km oder weniger (TSUBOKI et al. 2015). Simulationen nach dem älteren A1B-Szenario des IPCC mit einer Auflösung von 20 km zur zukünftigen Entwicklung der Taifun-Aktivität im Nordwest-Pazifik kamen zu dem Ergebnis, dass die Anzahl der tropischen Wirbelstürme insgesamt im Nordwest-Pazifik um 23% zurückgehen wird (MORI & TAKEMI 2016), was im Rahmen der globalen Berechnungen von 5-30% Ab-

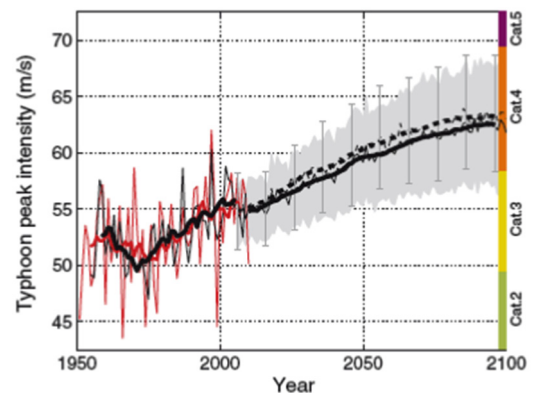


Abb. 5.3-5: Beobachtete (rote dünne Linie), modellberechnete (schwarze dünne Linie 1950-2009) und nach RCP4.5 projizierte (schwarze Linien 2006-2100) Spitzengeschwindigkeit von Taifunen in m/s im NW-Pazifik, mit Unsicherheitsbereichen für die Projektion (grau). Am rechten Rand die entsprechenden Kategorien nach der Saffir-Simpson-Skala (MEI et al. 2015, Lizenz: CC BY-NC).

nahme liegt (WALSH et al. 2016). Dabei werden sich vor allem im westlichen Nordwest-Pazifik weniger Taifune bilden, während ihre Anzahl im östlichen Teil des Nordwest-Pazifik etwas zunehmen wird (MORI & TAKEMI 2016). Hinzu kommt eine räumliche Verschiebung der auf Land treffenden Taifune nach Norden, wonach im westlichen Nordpazifik ähnlich wie in der Karibik künftig weniger tropische Wirbelstürme auf die Küsten Südasiens treffen werden, während für die Ostküste von Zentral-China, die koreanische Halbinsel und das östliche Japan mit mehr Taifunen zu rechnen ist (WALSH et al. 2016). MURAKAMI et al. (2011), gehen sogar von einem Rückgang der Taifune, die sich der südostasiatischen Küste nähern, von 44% aus, was hauptsächlich auf die Verschiebung der Zugbahnen nach Osten zurückzuführen sei.

Ähnlich wie für den Nordatlantik wird auch für den Nordwest-Pazifik eine Zunahme der Stärke der tropischen Wirbelstürme angenommen. Nach dem moderaten Szenario RCP4.5 wird sich die mittlere Spitzengeschwindigkeit der Taifune von gegenwärtig 55 m/s (Kategorie 3) auf 62,5 m/s (Kategorie 4) erhöhen (Abb. 5.3-5). Für die auf Land treffenden Wirbelstürme rechnen MORI & TAKEMI (2016) mit einer Zunahme der Windgeschwindigkeit um 1-7%, vor allem im nördlichen Teil des westlichen Nordpazifik. Hinzu kommt eine Zunahme vor allem der Starkniederschläge im Kernbereich der auf Land treffenden Taifune, wie sie für alle der von tropischen Wirbelstürmen betroffenen Regionen von den Modellen projiziert wird (IPCC 2013).

Damit setzen sich die bisherigen Trends auch im 21. Jahrhundert im Wesentlichen fort. Und das gilt auch für die wesentlichen Prozesse, die dieser Entwicklung zugrunde liegen. Durch die globale Erwärmung werden bei dem moderaten Szenario RCP4.5 die Meeresoberflächentemperaturen im westlichen Nordpazifik gegen

Ende des 21. Jahrhunderts um 1,4 °C (Abb. 5.3-6) und die Temperatur in 75 m Tiefe um 1,3 °C zunehmen (MEI et al. 2015). Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird nach Projektionen des RCP-8.5-Szenarios von 18 Klimamodellen die Verringerung des Salzgehalts durch mehr Niederschläge die Schichtung des oberen Ozeans verstärken und sich folglich die Abkühlung der Meeresoberflächentemperatur durch vertikale Mischung reduzieren (BALAGURU et al. 2015). Bei El-Niño-Ereignissen wird damit gerechnet, dass sie häufiger im zentralen als im östlichen Pazifik vorkommen werden. Die Folge wird sein, dass sich die Entstehungsgebiete der Wirbelstürme weiter nach Osten verlagern und die Zugbahnen der dadurch stärkeren Taifune z.B. das Gebiet um Hawaii häufiger in Mitleidenschaft ziehen werden. (PATRICOLA et al. 2018). Nach MEI & XIE (2016) wird sich auch die Ozeanerwärmung vor der ostasiatischen Küste nach einem ähnlichen Muster wie bisher fortsetzen und zu stärkeren Taifunen führen, die vor allem auf China, die koreanische Halbinsel und Japan treffen könnten.

Ausblick

Zwar ist die Unterscheidung der Anteile von natürlichen Schwankungen und anthropogen bedingter globaler Erwärmung an der Entstehung, der Entwicklung und den räumlichen Mustern von tropischen Wirbelstürmen im Nordwest-Pazifik immer noch eine wissenschaftliche Herausforderung. Dennoch zeigen die meisten Untersuchungen, dass in den nächsten Jahrzehnten mit zunehmenden Windgeschwindigkeiten und verstärkten Niederschlägen bei auf Land treffenden Taifunen gerechnet werden muss, eine Gefahr, die in flachen Deltagebieten zudem noch durch den steigenden Meeresspiegel deutlich erhöht wird. Die genauen Risiken in bestimmten Regionen abzuschätzen bleibt allerdings weiterhin sehr schwierig. Dazu müssten nicht nur tropische Wirbelstürme mit höherer Genauigkeit in Modellen simuliert werden, als es gegenwärtig der Fall ist. Auch die Folgen von starken Niederschlägen und Stürmen, die erheblich von der Geländeformation der betroffenen Gebiete abhängen, müssen gründlicher erforscht werden. Die lokalen Auswirkungen von Taifunen sind aber nur bekannt, wenn bestimmte Gebiete in der Vergangenheit von Taifunen betroffen waren und anschließend die Folgen auch untersucht worden sind (MORI & TAKEMI 2016).

Der beste Schutz der wachsenden Bevölkerung in den Küstengebieten Ostasiens wäre zweifellos eine nachhaltige Reduzierung der Emission von anthropogenen Treibhausgasen, eine globale Aufgabe, deren Bewältigung gegenwärtig wenig erfolgversprechend erscheint. Die Bemühungen vor Ort um eine verbes-

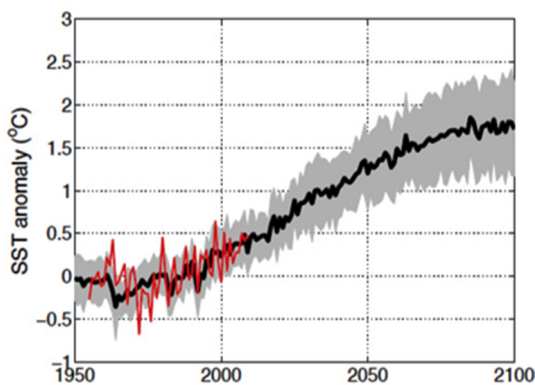


Abb. 5.3-6: Änderung der Meeresoberflächentemperatur im NW-Pazifik 1950-2100. Beobachtet (rot) und simuliert (schwarz); grau: Schwankungsbreite von 20 Klimamodellen (MEI et al. 2015), Lizenz: CC BY-NC)

serte Anpassung an die Folgen starker tropischer Wirbelstürme, z.B. durch Warnsysteme, einen verbesserten Katastrophenschutz u.a. Maßnahmen, sind daher umso unausweichlicher.

Literatur

- BALAGURU, K., G. R. FOLTZ, L. R. LEUNG & K. A. EMANUEL (2015): Global warming-induced upper-ocean freshening and the intensification of super typhoons, *Nature Communications*, DOI: 10.1038/NCOMMS13670.
- IPCC (2013): *Climate Change 2013, Working Group I: The Science of Climate Change*, 2.6.3, 14.6.1.
- KOSSIN, J. P., K. A. EMANUEL & S. J. CAMARGO (2016): Past and projected changes in western North Pacific tropical cyclone exposure. *Journal of Climate*, <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0076.1>.
- MEI, W., XIE, S.-P., PRIMEAU, F., MCWILLIAMS, J. C. & C. PASQUERO (2018): Global warming hiatus contributed to the increased occurrence of intense tropical cyclones in the coastal regions along East Asia, *Scientific Reports*, 8:6023 | DOI:10.1038/s41598-018-24402-2.
- MEI, W. & S.-P. XIE (2016): Intensification of landfalling typhoons over the northwest Pacific since the late 1970s, *Nature Geoscience* 9, 753-759.
- MEI, W., S.-P. XIE, F. PRIMEAU, J. C. MCWILLIAMS & C. PASQUERO (2015): Northwestern Pacific typhoon intensity controlled by changes in ocean temperatures. *Sci. Adv.* 1, e1500014.
- MORI, N. & T. TAKEMI (2016): Impact assessment of coastal hazards due to future changes of tropical cyclones in the north Pacific Ocean. *Weather and Climate Extremes* 11, 53-69.
- MURAKAMI, H., B. WANG & A. KITOHO (2011): Future change of western North Pacific typhoons: Projections by a 20-km-mesh global atmospheric model., *J.Clim.* 24, 1154-1169.
- NASA (2018): Haiyan (Northwestern Pacific Ocean) <http://www.nasa.gov/content/goddard/haiyan-north-western-pacific-ocean/>, letzter Zugriff 19.6.2018.
- PARK, D.-S. R., C.-H. HO & J.-H. KIM (2014): Growing threat of intense tropical cyclones to East Asia over the period 1977–2010, *Environ. Res. Lett.* 9 014008, doi:10.1088/1748-9326/9/1/014008.
- PATRICOLA, C., S. CAMARGO, P. KLOTZBACH, R. SARAVANAN & R. SARAVANAN (2018): The Influence of ENSO Flavors on Western North Pacific Tropical Cyclone Activity. *Journal of Climate*. doi:10.1175/JCLI-D-17-0678.1.
- PUN, I.-F., I.-I. LIN & M.-H. LO (2013): Recent increase in high tropical cyclone heat potential area in the Western North Pacific Ocean, *Geophysical Research Letters* 40, 1–5, doi:10.1002/grl.50548.
- TSUBOKI, K., K. M. K. YOSHIOK, T. SHINODA, M. KATO, S. KANADA & A. KITOHO (2015): Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change, *Geophysical Research Letters* 42, 646-652, doi:10.1002/2014GL061793.
- WALSH, K. J., J. M. CBRIDE, P. J. KLOTZBACH, S. BALACHANDRAN, S. J. CAMARGO, G. HOLLAND, T. R. KNUTSON, J. KOSSIN, T.-C. LEE, A. SOBEL & M. SUGI (2016): Tropical cyclones and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(1), DOI:10.1002/wcc.371.
- WELKER, C. & E. FAUST (2013): Tropical cyclone-related socio-economic losses in the western North Pacific region, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13, 115-124.
- WIKIPEDIA (2018): Typhoon Meranti, https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Meranti, letzter Zugriff 5.5.2018.
- ZHAO, H. & C. WANG (2016): Interdecadal modulation on the relationship between ENSO and typhoon activity during the late season in the western North Pacific, *Climate Dynamics* 47, 315-328, DOI 10.1007/s00382-015-2837-1.
- ZHAN, R., Y. WANG & J. ZHAO (2017): Intensified Mega-ENSO Has Increased the Proportion of Intense Tropical Cyclones Over the Western Northwest Pacific Since the Late 1970s. *Geophys. Res. Lett.* 44, 11959-11966, <https://doi.org/10.1002/2017GL075916>.

Kontakt:

Dr. Dieter Kasang kasang@dkrz.de
 Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ), Hamburg
 Dr. José L. Lozán - Lozan@uni-hamburg.de
 Biozentrum Grindel - Universität Hamburg

Kasang, D. & J. L. Lozán (2018): *Taifune im tropischen Nordwest-Pazifik*. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, H. Graßl, D. Kasang & R. Weisse (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Extremereignisse*. pp. 213-218. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.extremereignisse.31.