

## **Zerstörungsfreie Prüfung in der maritimen Technik – Schiffbau, Offshoretechnik, Windenergie**

B. Richter, Germanischer Lloyd, Hamburg

### **1. Einleitung**

Rostock ist als eine uralte Hafenstadt ein Bindeglied zwischen Meer und Land. Die Hanse hat den Ostseebereich geprägt – zu erkennen nicht nur an der Architektur. Nach den Kriegen der letzten Jahrhunderte wurden die alten Verbindungen wieder aufgenommen zum Wohle der Menschen, der Kultur und der Wirtschaft. Bis 1989 war Rostock keine offene Stadt, danach konnten die Bürger wieder das Meer erobern. Hoffen wir, dass die Möglichkeiten der Nutzung z. B. mit Windenergieparks und den zugehörigen Industrien auch Rostock zum weiteren Aufstieg verhilft.

Der Germanische Lloyd hatte bis 1872 seine Hauptverwaltung in Rostock. Hamburg ist aber doch der natürlichere Zugang zu den internationalen Schifffahrtsmärkten. Heute ist die GL-Gruppe die führende Klassifikationsgesellschaft in der Containerschifffahrt und baut die Industriebereiche Öl und Gas, Windenergie, Bautechnik, Werkstoffprüfung und Schadensanalyse sowie Managementzertifizierung und Rating weltweit aus.

Die Zuverlässigkeit und damit die Wirtschaftlichkeit von Schiffen sowie Offshore- und Windenergieanlagen muss im Vordergrund aller technischen Betrachtungen stehen. Die zerstörungsfreie Prüfung im Betrieb ist von untergeordneter Bedeutung, wichtiger ist eine gute und wartungsarme Konstruktion, die nur im Schadensfall aufwändige Inspektionen mit ZfP-Methoden erfordert.

Die Zugänglichkeit maritimer Objekte ist sehr eingeschränkt. Schiffe werden gedockt und können im Trockenen untersucht werden. Darauf wird in den folgenden Vorträgen näher eingegangen. Für Offshore- und Windenergieanlagen insbesondere unter Wasser ist die Prüfung sehr problematisch bzw. in vielen Bereichen nahezu unmöglich. Die Prüfung muss oft von Tauchern durchgeführt werden, die keine Ausbildung haben und mittels Fernsehgeräten geführt und überwacht werden.

### **2. Schiffbau und Schifffahrt**

#### **2.1 Klassifikation**

Die Klassifikation ist die Überwachung von Schiffen von der Entwicklung bis zur Verschrottung für die Sicherheit von Mensch und Umwelt bzw. optimaler Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Die Schiffe werden nach GL-Vorschriften konstruiert. Nach der GL-Zeichnungsprüfung wird das Schiff auf der Werft unter GL-Aufsicht gebaut. Die sicherheitsrelevanten Zulieferungen haben auch eine GL-Abnahme. Das Schiff wird permanent überwacht einschließlich aller Reparaturen. Die Erfahrungen aus dem Schiffsbetrieb sowie aus Forschung und Entwicklung fließen in die Vorschriften ein. Die Klassifikationsgesellschaften werden von der

IMO (UNO) der EMSA (EU) und den Flaggenstaaten überwacht; die wichtigsten Vorschriften sind international harmonisiert.

## 2.2 Bewertung von Schiffen

Der Zustand von Schiffen hängt von diversen Randbedingungen ab wie der Wartungsstrategie des Reeders, der Qualifikation und Motivation des Personals, der wartungsfreundlichen Konstruktion und dem Fahrtgebiet. Jedes Schiff kann – wie auch jedes Auto – mit einer Wartungsstrategie gefahren werden, die die Klasse immer erhält, aber den Wert des Schiffes sinken lässt.

Erhaltungsmaßnahmen durch permanente Wartung führen zu einem auch noch nach Jahren gut gepflegtem Schiff, das auch einen höheren Wiederverkaufspreis hat. Beanspruchungen bis hin zum Verschleiß erfordern höhere Reparaturaufwendungen als laufende Instandhaltung.

Der GL bewertet über die Lebensdauer der Schiffe die Erhaltungsmaßnahmen und vergibt ein entsprechendes Rating von 1 bis 4. Der Zustand 1 „Newbuilding“ bleibt natürlich nicht bestehen. Rating 2 „good“ kann bei permanenter Wartung über die Lebensdauer gehalten werden. Das Rating 3 „satisfactory“ ist zwar noch befriedigend, aber auf Dauer nicht akzeptabel. Das Rating 4 „poor“ kann mit „Break down maintenance“ bereits nach kurzer Zeit erreicht werden. Die zugehörigen zerstörungsfreien Messungen z. B. der Wanddicke sind in die Klassenarbeiten und –bewertungen eingebunden und werden in den weiteren Vorträgen beschrieben.

## 3. Offshoretechnik

Feststehende Plattformen für Bohrungen, Förderung, Transport (Verdichter) u. ä. aus Stahl haben nur eine sehr eingeschränkte Zugänglichkeit für die zerstörungsfreie Prüfung. Im Vortrag wurden Bilder von Schweißnähten unter Wasser gezeigt, die kaum mittels bekannter Verfahren untersucht werden können. Die Schallemissionsanalyse wurde in einem großen Projekt Battelle/GL an einer Plattform untersucht und als nicht einsetzbar verworfen. Die Rissfortschrittsgeräusche oder das Reiben der Rissflanken kann nicht von den Untergrundgeräuschen der Plattform und den Seegangsgeschichten getrennt werden. Das ist nur im Nahbereich eines Risses möglich, so dass eine Vielzahl von Sensoren erforderlich wäre, um nur die kritischen Bereiche einer Plattform zu untersuchen.

Die Überwachung des kathodischen Schutzes (KKS) ist Standard und sehr wichtig, da nur einige Stahlplattformen unter Wasser beschichtet sind und ein Ausfall des KKS schwerwiegende Folgen haben würde. Der KKS kann mittels Fremdstrom oder mit galvanischen Anoden üblicherweise auf Basis von Aluminium aufgebracht werden.

Heutige Planungen von Offshoreanlagen gehen von einer Lebensdauer von bis zu 50 Jahren der Plattformen und Pipelines aus. Sie werden so konstruiert, dass unter Wasser bei intaktem KKS keine zerstörungsfreien Prüfungen erforderlich sind. Ältere Anlagen werden ertüchtigt und sollen länger als geplant stehen bleiben. Daher sind für die Restlebensdauerbewertung zerstörungsfreie Prüfungen auch unter Wasser an kritischen Punkten erforderlich.

Für Offshoreplattformen, Windenergieanlagen und Schiffe ist die Überwachung und Bewertung mit „Condition Monitoring“ die Zukunft für den Betreiber,

die ZfP kann dadurch weitgehend ersetzt werden. Die Überwachung ist ein Produkt aus Beanspruchungs-, Seegang- und Windmessungen im Vergleich mit den Berechnungen. Die Lastkollektive werden für die berechnete Lebensdauer bestimmt und die Messergebnisse werden mit den Soll-Lastkollektiven verglichen. Damit kann auf aufwändige Restlebensdaueruntersuchungen verzichtet werden. Die Verfahren wurden anhand der Richtlinien des GL für Windenergieanlagen auf dieser Tagung vorgestellt.

Die zerstörungsfreie Prüfung ist auch über Wasser im offshore-Bereich problematisch, wie am Beispiel von FINO 1 mit einem 100m hohen Windmessmast gezeigt wird. Diese von GL Wind im Auftrag des Bundesumweltministeriums gebaute und betreute Anlage dient einer Reihe von Forschungsprojekten als Plattform. Eine ZfP-Prüfung des filigranen Windmessmastes ist nicht einfach und aufgrund der Zugänglichkeit der Plattform selbst sehr aufwändig und teuer.

Die neuen Produktionsanlagen offshore werden zurzeit in bis zu 1000m Tiefe geplant und müssen dort überwacht, geprüft und repariert werden. Die Kosten für die notwendige Infrastruktur rechnen sich nur bei noch weiter steigenden Öl- und Gaspreisen.

Die Offshore-Pipelines werden über mehrere 100km unter Wasser verlegt und müssen durch Molchsysteme überwacht werden. Die Weiterentwicklungen der Molche laufen, und es ist mit guten Ergebnissen in den nächsten Jahren zu rechnen.

## **4. Windenergie**

### **4.1 Geschichtliches**

Die Nutzung der Windenergie ist uralt. Der GL hat 1872 die erste Windmühle auf einem Schiff zum Antrieb der Lenzpumpen klassifiziert. Die Probleme wurden immer unterschätzt und so wurden die Müller im 16. Jahrhundert aus den Handwerkszünften verbannt und den Künstlern und Gauklern zugeordnet.

Beim Bau des Growian wurden für die Lasten die Windlasten der Baunormen zugrunde gelegt. Bereits die ersten Messungen zeigten, dass die getroffenen Annahmen teilweise um Faktoren falsch waren. Die falschen Lasten führten neben anderen Faktoren wie Blattzahl (2), Turmabspannung, Pendelnabe, Hubvorrichtungen u. a. zum Versagen des Growian. Anfang der 80er Jahre entstanden daher Testfelder für Windenergieanlagen, deren Messungen den Fortschritt in der Windenergie möglich gemacht haben. Es fehlen insbesondere für Großanlagen noch viele Kenntnisse.

Interessant ist, dass sich fast täglich schlaue Mitbürger neue Variationen von Windenergieanlagen ausdenken und sogar zum Patent anmelden, meistens ungetrübt von jeglichem Technikverständnis – aber Windenergie kann doch jeder: siehe den Hinweis auf die Gaukler und Künstler.

## 4.2 Stromerzeugung mit Windenergie

In Deutschland ist ein heftiger Streit entbrannt über den Sinn oder Unsinn und die Wirtschaftlichkeit der Windenergie. Staatliche Subventionen gibt es wie für die Steinkohle nicht; die Energieversorgungsunternehmen bzw. Netzbetreiber müssen ein Entgelt an die Betreiber der Windenergieanlagen (WEA) zahlen. Diese Stromeinspeisevergütung sinkt Jahr für Jahr in gesetzlich festgelegten Raten und ist standortabhängig. An guten Standorten erhält der Betreiber diese Vergütung nur für 5 Jahre, danach gibt es die Vergütung nach Verbändevereinbarung. Der Strom aus Windenergie wird oft verglichen mit Strom aus abgeschriebenen und mit subventionierter Kohle betriebenen Kraftwerken. Das ist unzulässig. Die großen EVU`s bauen oder planen große Windparks offshore und onshore aber natürlich im Ausland. Dort rechnet sich der Windstrom bei niedrigeren Preisen. Vattenfall`s Beteiligung Elsam hat 417 MW im Konzern, davon 84 Windenergieanlagen offshore. RWE betreibt Windparks in Italien, Spanien und Frankreich und hat 30 WEA offshore und E.ON ist auch on- und offshore aktiv. Für die Planungen der deutschen Offshore-Parks haben sich die EVU`s Optionen für Beteiligungen geben lassen.

Der GL begrüßt diese Entwicklung sehr, da diese Großtechnologie letztlich nur als Kraftwerke gebaut und betrieben werden können. Die Stromerzeugung muss in das Lastmanagement der Netze integriert werden. Dazu gehört, dass die neuen Anlagen netzfähig sind und z. B. auch bei Sturm nicht abschalten sondern bei veränderter Blattstellung mit reduzierter Energieerzeugung weiter betrieben werden können.

Zum Thema Offshore-Windenergieanlagen gibt es Tagungsreihen, daher soll das Thema hier nicht weiter vertieft werden.

## 4.3 Technik der Anlagen

Die Technik der Großanlagen um 5 MW ist noch nicht ausgereift. Es gibt derzeit einige Anlagen, die sich auch im flachen Wasser oder an der Küste in der Erprobung befinden. Um z. B. einen Windpark mit 80 Anlagen á 5 MW offshore bauen zu können, sind noch diverse Hindernisse zu überwinden.

Die gesamte Infrastruktur von der WEA über die interne Verkabelung, offshore-Trafostation, Windpark-Land muss offshore Standard haben, der aufwändig und teuer ist. Das Maschinenhaus muss gekapselt sein und der Zutritt von Gischt und Meeresatmosphäre ist unzulässig. Das Condition Monitoring ist zwingend.

Die Rotorblätter aus GFK/CFK unterliegen höchsten Beanspruchungen auch aus Seeluft und UV-Bestrahlung. Die Zugänglichkeit und Überwachung ist auch an Land schwierig, daneben existieren keine geeigneten ZfP-Verfahren zur Prüfung der inneren Klebverbindungen. Die laufende Überwachung kann z. B. mit faseroptischen Sensoren in den über 50m langen Rotorblättern erfolgen, weitere Untersuchungen dazu sind notwendig. Die Überwachung der Rotorblätter ist eine zentrale Aufgabe von F + E in der Windenergie-technik. Die Entwicklung muss in Zusammenarbeit mit Praktikern erfolgen, die die Prüfung von Rotorblättern schon vorgenommen haben und die Arbeit bei Wind in 100m Höhe auf schwankendem Gerüst kennen. Die Prüfung muss für die Betreiber von den Kosten her akzeptabel sein.

Bei der Herstellung der Anlagen ist eine aufwändige ZfP mit guter Dokumentation erforderlich, um Wiederholungsprüfungen auf ein Mindestmaß zu beschränken.

#### 4.4 Windenergie offshore – Ausblick

RWE wirbt in Großbritannien mit dem Satz: "Theoretisch könnte der Offshore-Strom den gesamten Strombedarf von Großbritannien decken" (Die Zeit, 28.04.2005). Dies ist praktisch nicht möglich, da es auch auf See Flauten gibt. Die Ideen sind alt und wurden auch früher verfolgt. MAN und GL haben 1982 für die HEW eine Studie angefertigt, wie viele Growiane vor der Küste aufgebaut werden können – noch ohne Naturpark Wattenmeer. Heute kennen wir die technischen Probleme, die natürlich dazu führen, dass die Versicherer und Investoren erst die Lösung haben wollen, bevor sie investieren. Die Ingenieure sind also aufgefordert, gute Anlagen zu bauen, die ohne bzw. „alte“ ZfP, aber mit intelligenter Überwachung eine Standsicherheit von z. B. 20 Jahren garantieren. Dabei sind die Kosten der Überwachung zu bedenken, sie müssen niedriger sein als bei Gas- oder Erdölplattformen, da spezifisch weniger Energie pro Plattform erzeugt wird.

### 5. Risikobetrachtung

Die Überwachungsintervalle werden vom Risiko für Mensch, Umwelt und der Investition bestimmt. Bei der Planung sind Risikoanalysen insbesondere für offshore-Anlagen zu erstellen, um ggf. entsprechende Maßnahmen einleiten zu können. Diese Anlagen müssen die ZfP-Methoden beachten, die verfügbar sind bzw. deren erfolgreiche Entwicklung absehbar ist. Diese Risikoanalyse muss vom Betreiber, Hersteller, Versicherer, Investor und dem GL akzeptiert werden.

Mit den größer werdenden Projekten wird immer häufiger die Projekt-Zertifizierung von den Beteiligten verlangt, d. h. eine ganzheitliche Betrachtung von neutraler Seite von der Planung über den Bau und Betrieb bis zur Verschrottung.

### 6. Forschung und Entwicklung

Für die ZfP in der Meerestechnik sind eine Reihe von Problemen zu lösen, die nachfolgend aufgelistet, aber nicht vollständig sind:

- Prüfung von Gussteilen für Knoten an Windenergiefundamenten und –anlagen sowie Offshoreplattformen
- Schweißnähte dicker Bleche
- Inspektion von Rotorblättern von Windenergieanlagen im Betrieb
- Entwicklung von mechanisierten ZfP-Verfahren und Ausschaltung des menschlichen Faktore, insbesondere unter Wasser
- Schwerpunkt muss Condition Monitoring sein und dort die Bewertung der Messergebnisse im Hinblick auf die zulässige Beanspruchung.
- Weitere Verbesserung der Molchsysteme für Pipelines

## **7. Zusammenfassung**

Die Anforderungen in der maritimen Technik an die zerstörungsfreie Prüfung werden insbesondere von den Umgebungsbedingungen beeinflusst. Zerstörungsfreie Prüfungen auf See sind selten zeitlich planbar, insbesondere natürlich unter Wasser. Daher ist die Zielrichtung in der maritimen Technik klar:

Mit Condition Monitoring so wenig Einsatz von Prüfpersonal wie möglich bei Sicherung von Menschen, Umwelt und Investitionen.