

MAINTENANCE

Predictive Maintenance

» In einem Forschungsprojekt wurde eine Software zum Decision Support in der Wartung von Hochseeschiffen entwickelt. Die Resultate versprechen Einsparungen im Treibstoffverbrauch, welche sich pro Jahr auf Hunderttausende von Franken belaufen können, bei gleichzeitig starker Reduktion der Emission von schädlichen Treibhausgasen.

Autoren: Dr. Lilach Goren Huber,

Dr. Marcel Dettling, Daniel Gsponer und Simon Kunz

Durch zeitlich falsch geplante und daher ineffiziente Wartungsmassnahmen gehen der Industrie jährlich Milliarden von Franken verloren. Der Hauptgrund liegt darin, dass es bisher vielerorts nicht möglich war, den idealen Zeitpunkt für Wartungsmassnahmen zu bestimmen und vorausschauend zu handeln. Wartung wird in vielen Fällen bloss reaktiv ausgeführt, das heisst es wird nur auf Defekte und Probleme reagiert, so dass oft Stillstandzeiten und grössere Reparaturen nötig sind. Eine andere, beliebte Strategie ist die präventive Wartung: hier werden nach im Voraus fixierten Zeitintervallen Massnahmen durchgeführt, ungeachtet der Tatsache, ob diese tatsächlich nötig sind oder nicht. Die grundlegenden Fortschritte in den Technologien zur Online-Überwachung von technischen Systemen und der fortlauf-

Massnahmen zur
Wartung der
Schiffshülle: Dry
Dock und
Hull Cleaning.

fenden Datenspeicherung eröffneten aber in den letzten Jahren die Möglichkeit, Wartungsmassnahmen gezielt, spezifisch und wo nötig nach einem flexiblen Plan durchzuführen. Man spricht hierbei von Condition Based Maintenance, einer Entwicklung die in letzter Zeit enorm an Bedeutung gewonnen hat.

Noch weiter als Condition Based Monitoring geht die sogenannte Predictive Maintenance. Die Idee besteht hier darin, nicht bloss auf den aktuellen Zustand eines technischen Systems zu reagieren, sondern dessen Entwicklung im Lauf der Zeit zu verfolgen und eine Prognose über den weiteren Verlauf zu erstellen. So lässt sich ein effektiver und kostenoptimierender Wartungsplan mit festgelegten Zeitpunkten für Eingriffe bereits im Voraus erstellen. Solche Strategien zum Management technischer Systeme haben sich in den letzten Jahren stark verbreitet und an Popularität gewonnen. Sie werden heute in verschiedenen Industriesektoren angewandt, beispielsweise in der Produktion, rund um die Infrastruktur und im Transport, um nur einige wenige zu nennen. In diesem Artikel stellen wir ein System zur Predictive Maintenance vor, welches als Software zum energieeffizienten Betrieb von Hochsee-Schiffen vertrieben wird.

FORSCHUNGSPROJEKT: OPTIMIERTE INSTANDHALTUNG VON HOCHSEE-SCHIFFEN

Der Transport von Konsumgütern und Rohstoffen über die Weltmeere verbraucht enorme Mengen an Energie. Ein grosses Containerschiff verbraucht pro Tag rund 150 Tonnen Schweröl mit Kosten von zirka

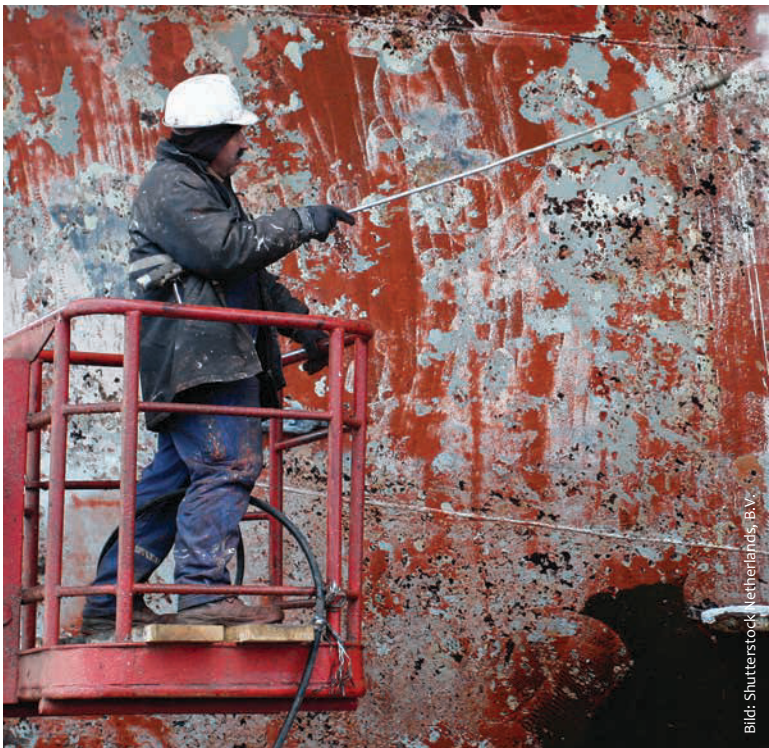


Bild: Shutterstock/letherfands, B.V.

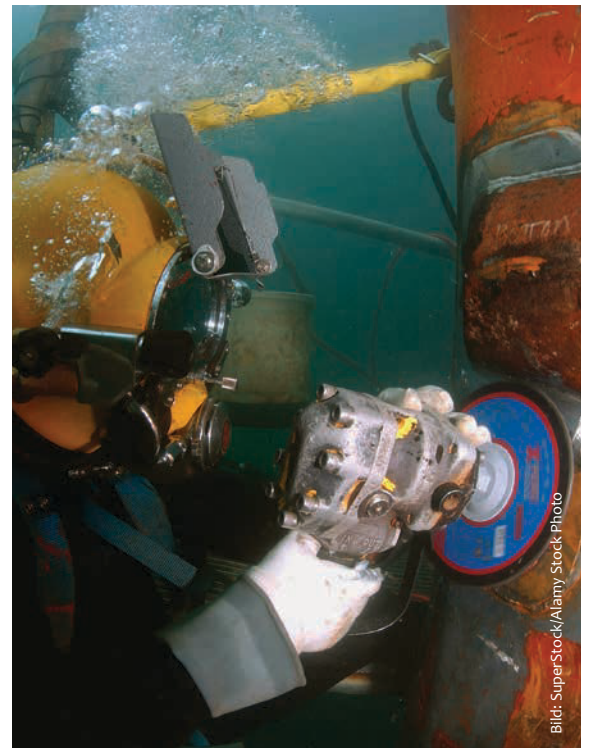


Bild: SuperStock/Alamy Stock Photo

Schematischer Ablauf der neu entwickelten Software für Predictive Maintenance bei Hochseeschiffen.

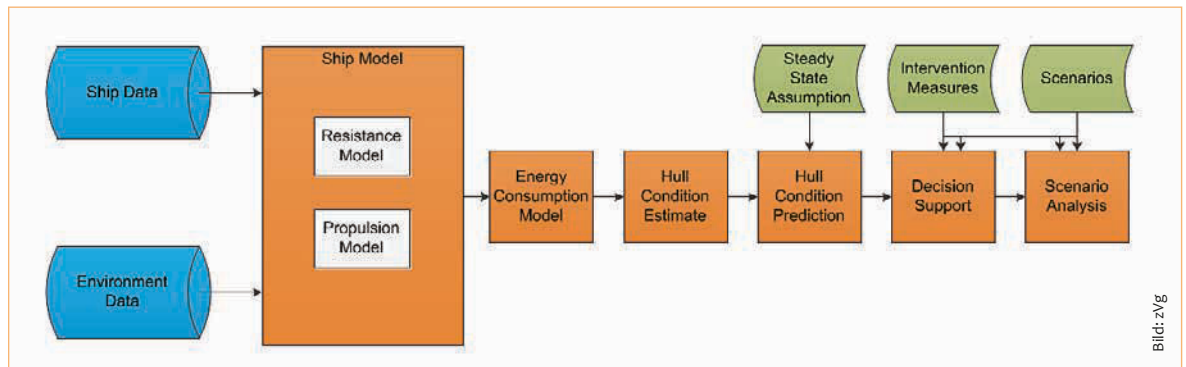


Bild: zvg

50 000 Schweizer Franken. Die jährliche Treibstoffrechnung bewegt sich also in der Grössenordnung von 15 bis 20 Millionen Franken, daneben werden selbstverständlich auch riesige Mengen an teilweise hochtoxischen Emissionen mit negativen Folgen für die Umwelt produziert. Ein wesentlicher Teil davon ist völlig unnötig und durch geschickt geplante Wartungsmassnahmen vermeidbar.



Dr. Lilach Goren Huber
Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Datenanalyse und Prozessdesign, School of Engineering, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)

Während die Hülle eines neuen Schiffs glatt ist und für relativ verbrauchsarmen Betrieb sorgt, lagern sich im Lauf der Zeit (unter ungünstigen Bedingungen innerhalb von Wochen, sonst Monaten bis Jahren) an Rumpf und Schraube mehr und mehr pflanzliche und tierische Organismen an. Diesen Prozess bezeichnet man als *Hull- oder Propeller-Fouling*. Dies erhöht den Widerstand bei der Bewegung durch Wasser und vermindert die Effizienz des Schiffs. Wie wissenschaftliche Untersuchungen gezeigt haben, kann der Treibstoffverbrauch durch Fouling an Hülle und Schraube um bis zu 40 Prozent zunehmen. Und das sind Kosten und Emissionen, welche völlig unnötig und absolut nutzlos sind.

Somit versteht sich das Ziel von selbst, durch geeignete und zeitlich ideal geplante Wartungsmassnahmen stets für eine saubere Schiffshülle und damit einen kosteneffizienten Betrieb zu sorgen. Die Hauptschwierigkeit besteht jedoch darin, den aktuellen Hüllenzustand zu bestimmen und den deswegen zusätzlich verbrauchten Treibstoff zu quantifizieren. Dazu muss auch noch die zukünftige Entwicklung im Auge behalten werden, sowie der verbessernde Effekt von Wartungsmassnahmen bestimmt werden.



Dr. math. ETH Marcel Dettling
Dozent am Institut für Datenanalyse und Prozessdesign, School of Engineering, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)

Möglichkeiten zur Intervention bestehen durch sogenanntes *Propeller Polishing*. Hierbei wird einzig die Schraube von potenzieller Verschmutzung gereinigt. Dies ist relativ einfach durchzuführen, die Kosten bewegen sich mit ungefähr 10 000 CHF in einem überschaubaren Rahmen. Allerdings mag es auch nicht erstaunen, dass der Effekt dieser Massnahme von limitiertem Ausmass ist, da die Hülle an sich unverändert bleibt.

Eine weitere Wartungsmöglichkeit ist das *Hull Cleaning*. Hier wird durch Taucher oder Tauchroboter nicht nur die Schraube, sondern auch die Schiffshülle gereinigt. Zeitaufwand und Kosten sind deutlich höher, letztere liegen bei zirka 100 000 Schweizer Franken. Natürlich zeigt sich dadurch auch ein grösserer Einsparungseffekt. Dieser ist jedoch von zeitlich beschränkter Dauer, weil das Abkratzen des Belags oft die Beschichtung der Schiffshülle beschädigt, was oft für relativ baldigen Wiederbefall sorgt. Schliesslich besteht die Möglichkeit einer Grundüberholung des Schiffs im Trockendock (Dry Dock). Dabei werden Hülle und Schraube sandgestrahlt, und es wird neue Farbe mit einem toxischen Anti-Fouling-Schutz aufgetragen. Eine Trockendock-Wartung nimmt zirka zwei Wochen Zeit in Anspruch, verursacht Kosten in Grössenordnung von einer Million Schweizer Franken und kann nur in wenigen Häfen auf frühzeitige Anmeldung hin durchgeführt werden.

Die Frage, die sich nun stellt, ist einfach: *welche Wartungsmassnahme zu welcher Zeit, so dass die Kosten für den Betrieb auf mittel- bis langfristigen Horizont minimiert werden?* Die Antwort darauf ist jedoch komplex. Erst gilt es, den aktuellen Zustand zu ermitteln. Dann muss die zukünftige Entwicklung vorhergesagt werden und es gilt, die durch Wartung entstehende Verbesserung des Verbrauchs zu schätzen. Sind diese Grössen, die zukünftigen Treibstoffpreise und die Kosten für die Wartungsmassnahmen erst einmal bekannt, so kann ein optimaler Wartungsplan identifiziert werden, welcher idealerweise auch noch die wartungsbedingten Opportunitätskosten mit berücksichtigt. Aufgrund der Komplexität dieses Problems erstaunt es nicht, dass viele Reeder sich in der Vergangenheit einfach auf das regulatorisch festgelegte Trockendock in Fünf-Jahres-Intervallen als einzige Massnahme beschränkt haben. Das Ziel des durch die KTI mitfinanzierten, gemeinsamen Forschungsprojekts zwischen MESPAS AG und der ZHAW liegt darin, Methodik und Software zu entwickeln, welche den kosteneffizienten und emissionsarmen Betrieb von Hochseeschiffen durch zeitlich ideal geplante Wartungsmassnahmen ermöglicht.

ANFORDERUNGEN AN DIE SOFTWARE

Die neue, im Rahmen der Kooperation entwickelte Software erfüllt zwei zentrale Aufgaben:

1. Sie liefert einerseits eindeutig und präzise den aktuellen Zustand von Hülle und Schraube eines Schiffs und kann auch die Entwicklung in die nahe und mittelfristige Zukunft vorhersagen. Der Begriff Zustand bezieht sich hier auf den zusätzlichen Verbrauch eines verschmutzten Schiffs gegenüber dem gereinigten oder Neuzustand.
2. Sie bietet ein System zur Entscheidungsunterstützung in Bezug auf die Planung von Wartungsmassnahmen. Dieses berücksichtigt den aktuellen Zustand, die zukünftige Entwicklung, die Verbesserung durch Wartung und die Opportunitätskosten mit ein und schlägt eine kostenoptimale Lösung vor.

DATENGETRIEBENE SCHÄTZUNG DES HÜLLENZUSTANDS

Die neue Software zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass der aktuelle Zustand von Hülle und Schraube nicht mittels direkter Beobachtungen der Hülle oder optischer Sensorik bestimmt wird. Dies wäre teuer, ineffizient und wenig erfolgsversprechend. Stattdessen wurde ein datengetriebener Ansatz gewählt, wo der zusätzliche Treibstoffverbrauch mit einem auf Betriebsdaten basierenden, statistisch-physikalischen Hybrid-Modell ermittelt wird. Eingang in dieses Modell finden Größen wie tagesaktueller Verbrauch, Geschwindigkeit, Tiefgang, Wind, Wellen und Umgebungstemperaturen. Um das Vorgehen zu robustifizieren und auch bei dünner oder schlechter Datenlage zuverlässig zu gestalten, wurde ein Bayes-Ansatz verwendet, welche die Verwendung von a-priori-Verteilungen ermöglicht.

OPTIMIERUNG DES WARTUNGSPLANS

Sofern der aktuelle Zustand, die zukünftige Entwicklung, Treibstoffpreise, Opportunitätskosten sowie der Benefit der Massnahmen bekannt sind, kann mit einem Optimierungsalgorithmus der Wartungsplan ermittelt werden. Er liefert eine klare Antwort, zu welcher Zeit welche Massnahme vorgenommen werden soll, damit über einen fix bestimmten Zeithorizont die Betriebskosten minimiert werden. Hierbei können auch Nebenbedingungen gesetzt werden, beispielsweise bereits fix im Kalender eingetragene, regulatorisch bedingte Wartungen, zeitliche Mindestabstände zwischen aufeinander folgenden Massnahmen, ein begrenztes Budget, et cetera. Es versteht sich von selbst, dass die vorgeschlagene Lösung für die Gegebenheiten von jedem Schiff spezifisch und daher unterschiedlich ist.

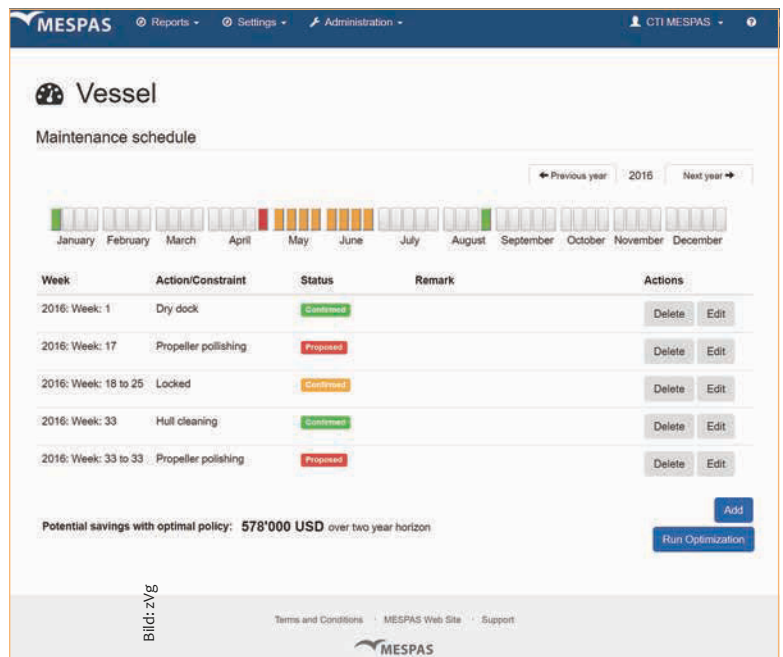


Bild: zVg

Die Software bietet Einstellmöglichkeiten in Bezug auf Planungshorizont, Wartungskosten, Reparaturzeit und ermöglicht es, planerische Restriktionen zu setzen. Im Screenshot wird als optimale Strategie im ersten Jahr nach dem Dry Dock ein Propeller Polishing nach 17 Wochen und ein Hull Cleaning nach 33 Wochen vorgeschlagen, was in einer Einsparung von 578 000 USD über den Planungshorizont von zwei Jahren zu Buche schlagen wird. Dieses Resultat ist typisch, hier gelingt es, durch den optimierten Wartungsplan rund 20 Prozent der durchs Fouling bedingten, zusätzlichen Treibstoffkosten einzusparen. <<

Screenshot der Decision Support Software.

LITERATUR

Mobley, R. K.. An introduction to predictive maintenance. Butterworth-Heinemann, (2002).

Kane, D., Hull and Propeller Performance Monitoring (Fuel Conservation and Emission Reduction). SNAME Climate Change and Ships (2010).

Hydrex White Paper No. 10. Ship Propeller Maintenance: Polish or Clean? Quarterly Journal of ship hull performance, Vol. 2, Issue 2, April 2012.



Simon Kunz
Head Architect,
MESPAS AG



Daniel Gspöner
Head of Product
Management &
Co-Founder,
MESPAS AG