

Vermessung eines pneumatischen Umsteuermanövers am Zweitaktmotor

NOTSTOPP Mit dem Ziel, das Notstoppverhalten von Schiffen mit langsamlaufenden Zweitaktmotoren zu verkürzen, ist in der TU Hamburg-Harburg im Rahmen eines Forschungsvorhabens ein Simulationsprogramm entwickelt worden, das den zeitlichen Verlauf des Umsteuervorganges berechnet. Die Funktion der Simulationsmethode wurde durch eine Messung an einem Hauptantrieb eines Autotransporters unter Verwendung des portablen Multikanal-Messgerätes „The Doctor DM-8-32“ verifiziert.

Friedrich Wirz

Schiffe mit einer Antriebsanlage, die aus einem langsamlaufenden Zweitakt Dieselmotor und Festpropeller besteht, weisen im Notfall sehr lange Stoppwege auf. Der Grund dafür liegt im Umsteuerverhalten der Motoren, bei dem zwischen dem Abstellen der Kraftstoffeinspritzung und der pneumatischen Umsteuerung lange Wartezeiten verstreichen müssen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Technischen Universität Hamburg-Harburg werden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um die physikalischen Vorgänge während des pneumatischen Umsteuervorganges im Motor zu analysieren und zu optimieren. Ziel des Projektes ist die Identifizierung von Möglichkeiten, das Notstoppmanöver von Schiffen mit den genannten Antriebsanlagen zu verkürzen [1]. Aus den Untersuchungen ist ein Simulationsprogramm hervorgegangen, mit dessen Hilfe der zeitliche Verlauf des Umsteuervorganges berechnet werden kann. Um die Funktion der Simulationsmethode qualitativ und quantitativ nachzuweisen, sollte eine Messung herangezogen werden. Für die Wahl des

Messgerätes bestanden zwei Randbedingungen:

- Aufgrund der Belastung, der ein Motor während des Notstopp-Manövers ausgesetzt ist, wird das Manöver nur einmal während der Wertprobefahrt eines Schiffes durchgeführt. Die Messanlage musste demnach tragbar sein, um die Messung bei Gelegenheit auf einem beliebigen Schiff während der Probefahrt durchführen zu können.

- Da der Umsteuervorgang während weniger als einer Kurbelwellenumdrehung erfolgt, sind nicht alle Zylinder daran beteiligt. Um die beteiligten Zylinder, die sich aus dem zufälligen Kurbelwinkel zu Beginn des pneumatischen Umsteuervorganges ergeben, in der Messung zu erfassen, war ein System erforderlich, das die Druckverläufe sämtlicher Zylinder simultan aufnehmen kann.

Ein System, das beide Bedingungen erfüllt, ist „The Doctor“ der Fuchs Technology International GmbH mit Sitz in Stansstad, Schweiz. Es besteht aus einer robusten tragbaren Einheit, die über einen Touchscreen und eine maßgeschneiderte Bedienungs-Software verfügt. Für



Abb. 1: „The Doctor“, installiert auf dem mittleren Deck der vermessenen Motorenanlage

die wissenschaftliche Untersuchung standen 24 Messkanäle für Strom- oder Spannungsgeführte Sensoren zur Verfügung, deren Daten von der Software verarbeitet, angezeigt und gespeichert werden können. Im Gegensatz zum Kabelbaum für

kommerzielle Anwendungen erfolgte die Verbindung über individuelle Signalkabel. Somit war es möglich, das Messgerät am Motor oder in dessen Nähe zu platzieren und die Sensoren an allen erforderlichen Stellen am Motor zu in-



SP
SHIPPIPE BREMEN GMBH
www.shippipe.de

Ihr Partner für alle Rohrleitungssysteme. Planung, Konstruktion, Fertigung bis hin zur Lieferung des einbaufertigen Produktes. Korrosionsfreie Glasfaserverstärkte Epoxy Rohre als Systemlösung incl. Halterungen, Verbindungstechnik, Passrohrbau.

CI CENTRAL INDUSTRY GROUP N.V.
www.centralindustrygroup.com

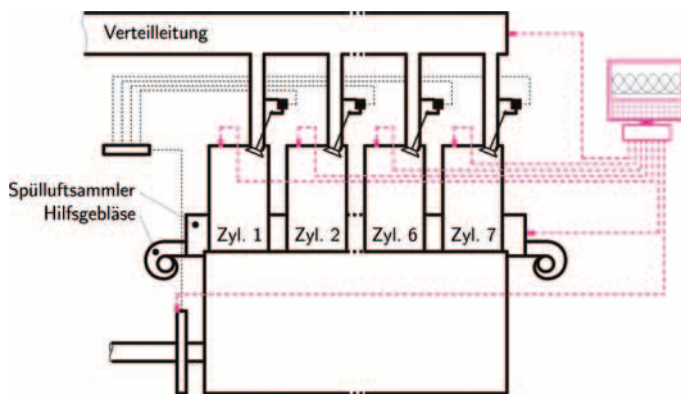


Abb. 2: Anordnung der Messstellen am Motor

stallieren (Abb. 1). Messgerät, Sensoren, Verbindungskabel und Installationszubehör finden in einem handlichen Koffer Platz und lassen sich somit mühelos an Bord bringen und handhaben.

Messvorgang

Für die Messung des Umsteuerungsvorganges stand ein Motor 3. Maj Wärsilä 7RT-flex50 zur Verfügung, der als Hauptantrieb eines Autotransporters dient. Als Messgrößen wurden die Drücke aller sieben Zylinder und der Anlassluft ausgewählt. Zusätzlich sollte der Wert des konstanten Ladeluftdruckes überprüft werden, der von großem Einfluss auf die Zylinderdruckverläufe ist. Als Messstellen dienten die Indizierhähne, eine Entwässerungsleitung an der Verteilleitung der Anlassluft sowie ein Manometeranschluss am Ladeluftsammler (Abb. 2). Um die im Zeitbereich gemessenen Verläufe dem Kurbelwinkel zuordnen zu können, wurden zusätzlich Sensoren für Drehwinkel und Markierung des oberen Totpunktes am Schwungrad installiert.

Die zeitliche Abtastrate kann frei gewählt werden. Zusätzlich kann zur Begrenzung der zu speichernden Datenmenge eine Durchschnittsbildung über eine wählbare Anzahl von Messpunkten vorgenommen werden. Im vorliegenden Fall wurden die Abtastrate zu 1 kHz und die Aufzeichnung mit einer Durchschnittsbreite von jeweils zehn Werten gewählt. Die Feinheit in der

Darstellung beträgt damit 100 Punkte je Sekunde.

Messergebnis

Das Ergebnis der Messung ist in Abb. 4 dargestellt. Im Gegensatz zu der üblichen Darstellung motorischer Messverläufe über dem Kurbelwinkel wird hier die Darstellung über der Zeit gewählt, weil die Änderungen und vor allem die Umkehr der Drehzahl eine eindeutige Kurbelwinkeldarstellung unmöglich machen.

Von Beginn der Darstellung an läuft der Motor für etwa vier Sekunden im Leerlauf. Die Drehzahl beträgt kurz vor dem Umsteuern 30 1/min, was etwa 24 % der Nenn Drehzahl von 124 1/min entspricht. Zu erkennen ist der Leerlauf daran, dass die Druckverläufe der Zylinder symmetrische Verdichtungs- und Entspannungsverläufe bezüglich des oberen Totpunktes aufweisen.

Der pneumatische Umsteuerungsvorgang beginnt in dem Moment, wo die Automation die Unterschreitung der Umsteuerdrehzahl erkennt. Er ist zunächst dadurch gekennzeichnet, dass der Druck in der Verteilleitung der Anlassluft sprunghaft auf etwa 28 bar ansteigt (Abb. 3).

Dieser Druck entspricht dem Systemdruck in den Anlassluftbehältern (B), der sich durch Öffnen des Hauptanlassventiles (HAV) rasch in der Verteilleitung (VL) einstellt. Gleichzeitig werden die in den Zylinderdeckeln angeordneten Anlassventile (AV) in Abhängigkeit des Kurbelwinkels der

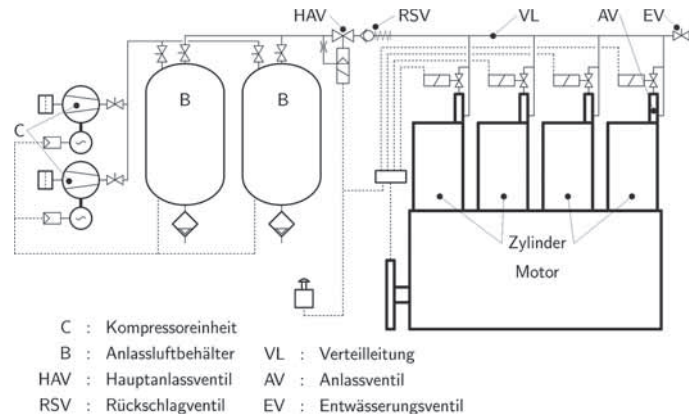


Abb. 3: Schema des Anlassluftsystems am Zweitaktmotor

einzelnen Zylinder betätigt. Die Anlassventile werden während eines definierten Winkelfensters geöffnet, und zwar zum Anhalten des Motors in der Verdichtungsbewegung sowie zum Beschleunigen in Gegenrichtung in der Entspannungs-bewegung. In beiden Fällen strömt Luft in die Zylinder und erhöht damit den Zylinderdruck, so dass in der Verdichtungsbewegung eine Bremswirkung und in der Entspannungs-bewegung eine

Beschleunigungswirkung entsteht. Entscheidend ist dabei die Tatsache, dass beide Vorgänge (Anhalten und Beschleunigen in Gegenrichtung) direkt aneinander anschließen, wie der Verlauf der Drehzahl in Abb. 4. Noch während des Anhaltens, was nur etwa eine halbe Sekunde benötigt, übersteigen die Zylinderdrücke teilweise sogar den Druck der Anlassluft. Der Grund dafür liegt in der Trägheit des Motors und der ▶

MANOEUVRING SPECIALISTS

SMART MARITIME SOLUTIONS

- All types of (high)-lift Rudders:
 - Van der Velden ART™ Rudder
 - BARKE® Rudder
 - TIMON Rudder
 - Van der Velden® MASTER Rudder
 - Van der Velden® ATLANTIC Rudder
- Commander Ram and Rotary Vane Systems
- Manoeuvring Nozzles
- Worldwide 24/7 service
- EPS™ Thruster

Van der Velden Barkemeyer GmbH
 Wilhelm-Bergner-Str. 15 D 21509 Glinde Germany
 T +49 (0)40 7118020 F +49 (0)40 7110086
 seagoing@vdvelden.com www.vdvelden.com

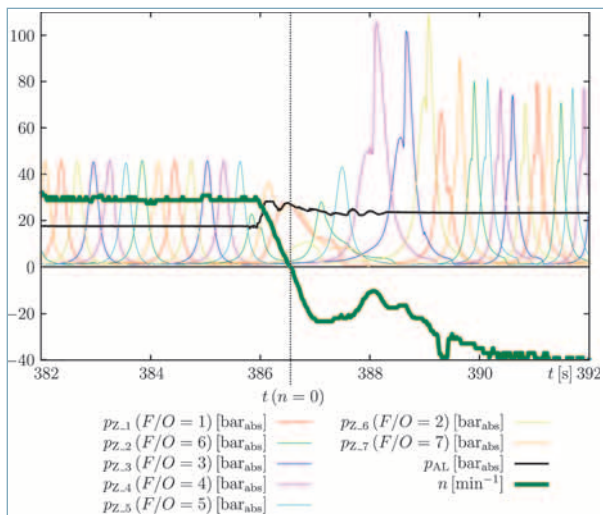


Abb. 4: Zeitliche Darstellung der Messergebnisse des pneumatischen Umsteuervorganges

erzwungenen Verdichtungsbewegung der Kolben. Folglich strömt währenddessen Luft aus den Zylindern in die Verteilleitung zurück, wodurch jedoch ein Teil der Energie der gespannten Luft an den Anlassventilen dissipiert. Ferner wird die Luft, die kurzzeitig rückwärtig in die Verteilleitung strömt, von benachbarten Zylindern aufgenommen. Somit steigt der Druck der Verteilleitung nicht merklich über den anfänglichen Wert. Vielmehr wird während des gesamten Vorganges Anlassluft verbraucht, in dem sie letztlich über die Auslassventile der Zylinder in die Abgasleitung entlassen wird. Der Druck des Anlassluftsystems beträgt zum Ende der Messung etwa 23 bar. Der gesamte Umsteuervorgang, bestehend aus dem Anhalten des Motors und dem Beschleunigen in Gegenrichtung, dauert nur

etwa eine Sekunde ($t=386...387$ s). Die Tatsache, dass daran nur vier Zylinder beteiligt sind (nämlich nach Zündfolge die Zylinder 2,7,1 und 6, die in der Zündfolge hintereinander liegen), bestätigt die Notwendigkeit der simultanen Vermessung aller Zylinder. Andernfalls, z.B. anhand eines einzelnen Druckverlaufes, wäre der Vorgang nicht zu bewerten gewesen.

Der Umsteuervorgang wird durch die Automation beendet, sobald die Anlassdrehzahl der Anlage erreicht bzw. überschritten ist, was im Messverlauf an dem Drehzahlplateau bei $n=-25$ 1/min zu erkennen ist. Die Anlassdrehzahl ist diejenige Drehzahl, ab welcher der Motor unter Feuerung aus eigener Kraft zu beschleunigen vermag. Der Übergang vom pneumatischen in den gefeuerten Betrieb wird ausgeführt, in dem zunächst sämtliche momentan geöffneten Anlassventile sowie das Hauptanlassventil geschlossen werden. Im nächsten Schritt wird die Kraftstoffeinspritzung zugeschaltet, woraufhin die ersten Zündungen (ab $t=388$ s) den Motor weiter in rückwärtiger Richtung beschleunigen. Diese Zündungen weisen einen besonders hohen Zünddruckanstieg auf, denn aufgrund der langen Auskühlzeit, der Beaufschlagung mit kalter Anlassluft und der sehr niedrigen anfänglichen Drehzahl entstehen in den Zylindern sehr lange Verzögerungen zwischen der Einspritzung und der Entzündung des Kraftstoffes. Zylinder 1 weist sogar eine Fehlzündung auf. Dennoch gelingt es, den Motor tatsächlich zu beschleunigen, was einerseits am Verlauf der Drehzahl und andererseits an den geringer werdenden Abständen der einzelnen Zylinderdruckspitzen abgelesen werden kann. Der Motor wird anschließend auf die größtmögliche negative Drehzahl beschleunigt, die sich unter maximal zulässiger Kraftstoffeinspritzung aufgrund der Strömungsverhältnisse am Propeller einstellt. Dieser Zustand wird

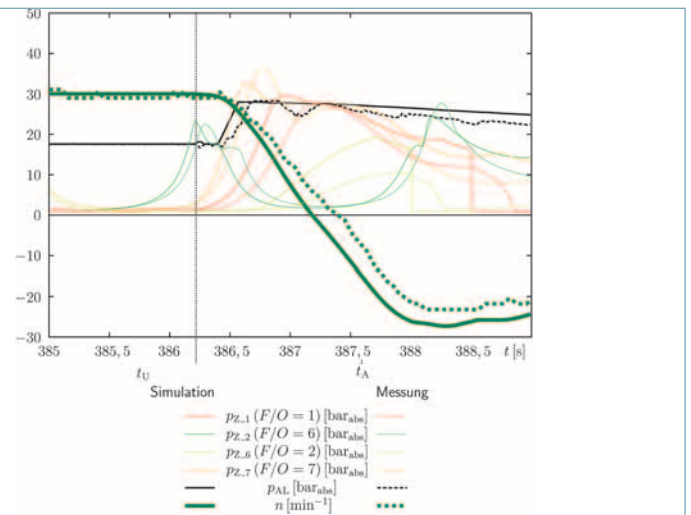


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse aus Messung und Simulation

beibehalten, bis der Bremsschub des Propellers das Schiff zum Stillstand gebracht hat.

Ergebnis

In Abb. 5 ist die Übereinstimmung zwischen dem gemessenen Verlauf und den Ergebnissen der Simulationenmethode dargestellt. Die Methode basiert auf einer zeitdiskreten, inkrementellen Berechnung der thermischen und mechanischen Dynamik in Zylindern und Motortriebwerk sowie der Propellerwellenanlage. Zudem liefern Ersatzfunktionen das hydrodynamische Propellermoment. Neben der guten qualitativen Übereinstimmung sämtlicher Verläufe ist auch die quantitative Übereinstimmung zufriedenstellend. Einzig die Auswirkung auf die Drehzahlabnahme fällt in der Simulation etwas zu stark aus, was auf geringe Fehlabschätzungen der mechanischen Anfangsbedingungen zurückzuführen ist.

Die beschriebene Messung des pneumatischen Umsteuervorganges mit „The Doctor“ hat wesentlich zum Verständnis des Vorganges und zum Gelingen der weiterführenden Untersuchungen zur Optimierung des Notstoppmanövers beigetragen.

Referenz

[1] F. Wirz, S. Krüger: „Simulation des Notstopp-Manövers von Schiffen mit langsamlaufenden Zweitaktmotoren“, Vortrag auf der 103. Hauptversammlung der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 2008.

Der Autor:

Dipl.-Ing. Friedrich Wirz, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am „Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit“, Technische Universität Hamburg-Harburg.



Tacke
Einspritztechnik · Injectionstechnik

Einspritztechnik
in Präzision



Ihr Service-Partner
Reparatur · Fertigung · Beratung

Diesel-Elektrik F. Tacke GmbH · Tiedemannstraße 7 · D-22525 Hamburg
Tel.: +49 - (0)40 - 89 06 77-0 · Fax: +49 - (0)40 - 850 30 00
service@tacke-hamburg.de · www.tacke-hamburg.de