

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Dettmann, Thorsten

Technische Diagnose an Binnenschiffsantrieben

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Binnenschifffahrt

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105582>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Dettmann, Thorsten (1987): Technische Diagnose an Binnenschiffsantrieben. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Binnenschifffahrt 1. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 60-77.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



5) Dk 629.122.03 Binnenschiffe. Antriebe

Technische Diagnose an Binnenschiffsantrieben

Dipl.-Ing. T. Dettmann

Der ständig steigende Bedarf an Energie und Rohstoffen in der Industrie und die gleichzeitige Abnahme der Rohstoffressourcen führt zu höheren Kosten für die Rohstoffe, da die Abbau- und Förderbedingungen immer komplizierter und der Transport aus immer entlegeneren Gebieten notwendig werden.

Die zielgerichtete Einsparung von Energie und Material ist eine Aufgabe für die gesamte Volkswirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik. Sie gilt es überall zu erreichen.

Für das Verkehrswesen bedeutet das, den Güter- und Personentransport mit einem möglichst geringen Energieverbrauch durchzuführen. Damit gewinnen die energetisch günstigen Verkehrsträger, wie die Eisenbahn und die Binnenschifffahrt, immer mehr an Bedeutung. Um den zunehmenden Anforderungen gerecht zu werden, muß für Binnenschiffe, bei konsequenter Durchsetzung einer optimalen Fahrweise, eine hohe Betriebszuverlässigkeit bei geringstmöglichem Kraftstoffverbrauch der Antriebsanlagen gewährleistet werden. Ob wirklich der geringstmögliche Kraftstoffverbrauch bei den Schiffsmotoren zum jetzigen Zeitpunkt erreicht ist, läßt sich schwer einschätzen, da dazu neben dem momentanen Kraftstoffverbrauch und der Motordrehzahl auch die abgegebene Leistung der Maschine bekannt sein muß. Die Leistungsmessung bereitet z. Z. jedoch noch Schwierigkeiten. Hinsichtlich der Betriebszuverlässigkeit kann festgestellt werden, daß hier noch erhebliche Reserven zu ihrer Verbesserung vorhanden sind. Eine genaue Analyse der Schadenshäufigkeiten bei allen Stromschubschiffen sowie die Verteilung der Schäden auf einzelne Baugruppen der Antriebsanlage ist in /1/ zusammengestellt.

Um Reserven bei der Betriebszuverlässigkeit auszuschöpfen, müssen Möglichkeiten geschaffen werden, die es gestatten, zu jedem Zeitpunkt die Gebrauchseigenschaften der Dieselmotore, Aggregate und Propulsionsanlagen an Hand von Beurteilungskriterien zu bestimmen, ohne das zeit- und kostenaufwendige Demontagen erforderlich sind. Damit soll erreicht werden, daß sich entwickelnde Schäden bereits in ihrem Anfangsstadium erkannt und behoben werden können,

so daß deren Ausweitung und die Entstehung von Folgeschäden vermieden werden. Die zur Zeit günstigste Form solch einer Möglichkeit ist eine Diagnosestation. Das ist eine Einrichtung, in der durch eine Zentralisierung von Meßvorrichtungen eine umfangreiche technische Diagnose an den Antriebsanlagen und Aggregaten auf einem Binnenschiff ermöglicht wird. Nach einer festgelegten Meßtechnologie erfolgt die technische Diagnose demontagefrei. Im Ergebnis entsteht ein Meßprotokoll, aus dem hervorgeht, welche Wartungs- und Reparaturarbeiten notwendig sind. Sollten sich nur Wartungsarbeiten als notwendig erweisen, so müßten sie vom diagnostizierenden Personal gleich durchgeführt werden. Durch eine solche regelmäßige und gründliche Wartung sowie Reparaturvorbereitung erhöht sich nicht nur die Wirksamkeit der planmäßigen, vorbeugenden Instandsetzung, sondern kann auch der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden. Gleichzeitig wird garantiert, daß die Maschinen durch eine optimale Einstellung mit dem maximalen Wirkungsgrad arbeiten. Internationale Erfahrungen belegen, daß nur bei einer vollständigen Durchsetzung der technischen Diagnose in der Stromschubschifflotte mit einer Senkung des DK-Verbrauches um 1,5 % und einer Senkung der Ausfalltage, infolge außerplanmäßiger Reparaturen, um 20 % gerechnet werden kann. Die genannten Fakten lassen erkennen, welche bedeutende Stellung die technische Diagnostik im Maschinenbau einnimmt und wie notwendig die Einführung von technischen Diagnosestationen auch auf den Reparaturwerften ist.

Die technische Diagnose soll in der Ersten Ausbaustufe folgende Komplexe umfassen:

- Haupt- und Hilfsmaschinen mit den Teilkomplexen,
 - . Kolben/Zylinderkomplex,
 - . Einspritzsystem,
 - . Abgasturbolader;
- Propulsionsanlage.

Zu diesen Komplexen wird zur Zeit auf einer Schiffsreparaturwerft eine erste Diagnosestation aufgebaut, die ab Januar 1988 in Betrieb genommen werden soll. Bei dieser Station sind für die zu untersuchenden Antriebskomplexe folgende Diagnoseverfahren vorgesehen:
Kolben/Zylinderkomplex.

Die Untersuchung der allgemein verwendeten Diagnoseverfahren für Schadensermittlungen am Kolben/Zylinderkomplex ergab, daß sie auf Grund zu geringer Zuverlässigkeit bezüglich der Zustandseinschätzung der Maschine oder einem zu großen meßtechnischen Aufwand abgelehnt werden mußten.

Seit Anfang der achtziger Jahre wird in der Literatur ein neues Diagnoseverfahren, die Messung der Drehbeschleunigung an der Kurbelwelle des Motors, immer häufiger beschrieben. Das neue Diagnoseverfahren ist im Vergleich zu anderen Verfahren meßtechnisch relativ einfach zu realisieren, wenn für die Messung ein Mikrorechner zur Verfügung steht /2/. Es beruht auf folgender Idee: Bei einer niedrigen Drehzahl wird der "unrunde" Lauf der Kurbelwelle einer Verbrennungsmaschine gemessen. Dabei kann man die Winkelbeschleunigung infolge der Arbeitstakte der einzelnen Zylinder messen und beim Einsatz eines Mikrorechners sie auf dem Bildschirm als Funktion des Kurbelwinkels abbilden. Somit ergibt sich die Möglichkeit, die Beschleunigung durch die einzelnen Zylinder zu vergleichen. Anhand der Zündfolge des Motors können die einzelnen Beschleunigungen dem jeweiligen Zylinder zugeordnet werden. Da die Winkelbeschleunigung ein Maß der Leistungsabgabe ist, läßt ein Vergleich untereinander diagnostische Schlußfolgerungen zu. Zeigen alle Beschleunigungskurven den gleichen Verlauf und die gleiche Beschleunigungsgröße, entsprechend einer vorgegebenen Sollkurve, dann geben alle Zylinder die geforderte Leistung ab.

Einspritzsystem

Am Einspritzsystem werden zwei Messungen vorgenommen; der momentane Kraftstoffverbrauch der Maschine bei einer ausgewählten Drehzahl und der Einspritzdruckverlauf in der Einspritzleitung vor jeder Düse. Durch das Messen unmittelbar vor der Düse lassen sich allein aus dem qualitativen Druckverlauf Rückschlüsse auf die Funktionstüchtigkeit der Einspritzdüse ziehen. Man kann eindeutig defekte von funktionstüchtigen Düsen unterscheiden. Zum Teil ist noch eine genauere Fehlerortung möglich, ohne daß die Einspritzdüsen ausgebaut werden müssen. Die Messung des Einspritzdruckverlaufes erfolgt außerdem noch kurbelwinkelbezogen, so daß zusätzliche Informationen gewonnen werden können. So werden Beginn und Ende der Einspritzung meßbar.

Abgasturbolader

Auf Stromschubschiffen sind die aufgeladenen Motore mit Abgasturboladern vom Typ N 3 oder H 3 ausgestattet. Diese kleinen Typen von Abgasturboladern werden serienmäßig ohne Drehzahlanzeige ausgeliefert. Dieser Mangel soll auch mit der Diagnosestation behoben werden, in dem sie berührungslose Drehzahlmessungen gestattet. Da es aus baulichen Gründen nicht möglich ist, für die Messung einen unmittelbaren Kontakt zur Abgasturboladerwelle herzustellen, muß auf andere Meßverfahren ausgewichen werden.

Eine Möglichkeit ist die Körperschwingungsmessung, bei der die Frequenzen gemessen werden, die der Abgasturbolader durch die Drehbewegung von Welle, Verdichter und Turbine abgibt. Ist diese Frequenz bestimmt, läßt sich leicht die gesuchte Drehzahl errechnen. Parallel dazu wird ein induktives Meßverfahren erprobt. Werden die aus einer Eisenlegierung bestehenden Verdichterschaufeln in ein Magnetfeld gebracht, kann auf induktivem Wege die Frequenz ermittelt werden, mit der sich die Schaufeln am Aufnehmer vorbeibewegen. Mit Kenntnis der Anzahl der Verdichterschaufeln kann die Abgasturboladerdrehzahl bestimmt werden. An dieser Stelle soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß die Drehzahlmessung keine ausreichende Diagnose für einen Turbolader darstellt. Sie ist mehr als ein erster Schritt für eine künftige Diagnosearbeit zu verstehen.

Propulsionsanlage

Der Wirkungsgrad eines Propellers wird generell durch eine veränderte Rauigkeit der Propelleroberfläche bzw. durch Deformation der Propellerblattkontur beeinflusst. Ziel der Diagnose von Propulsionsanlagen ist die Einschätzung der Funktionstüchtigkeit des Propellers, ohne daß das Schiff aus dem Wasser genommen werden muß. Um hier für eine wirkungsvolle Methode entwickeln zu können, sind unbedingt Kenntnisse über den Zusammenhang von Beschädigungen am Propulsionsorgan und den daraus resultierenden Beeinflussungen des Schub- und Momentenverhaltens des Propellers notwendig.

Eine Untersuchung ergab, daß bei den Stromschubschiffen fast ausschließlich mechanische Beschädigungen an der Blattkontur des Propellers bzw. seiner Steigungsgeometrie entstehen /3/. Recherchen haben ergeben, daß derartige Beschädigungen an Propellern bisher noch in keinem anderen Land untersucht worden sind. Aus diesem Grund wurden für ausgewählte und definierte Deformationen experimentell (am hydraulischen Modell) die Beziehungen

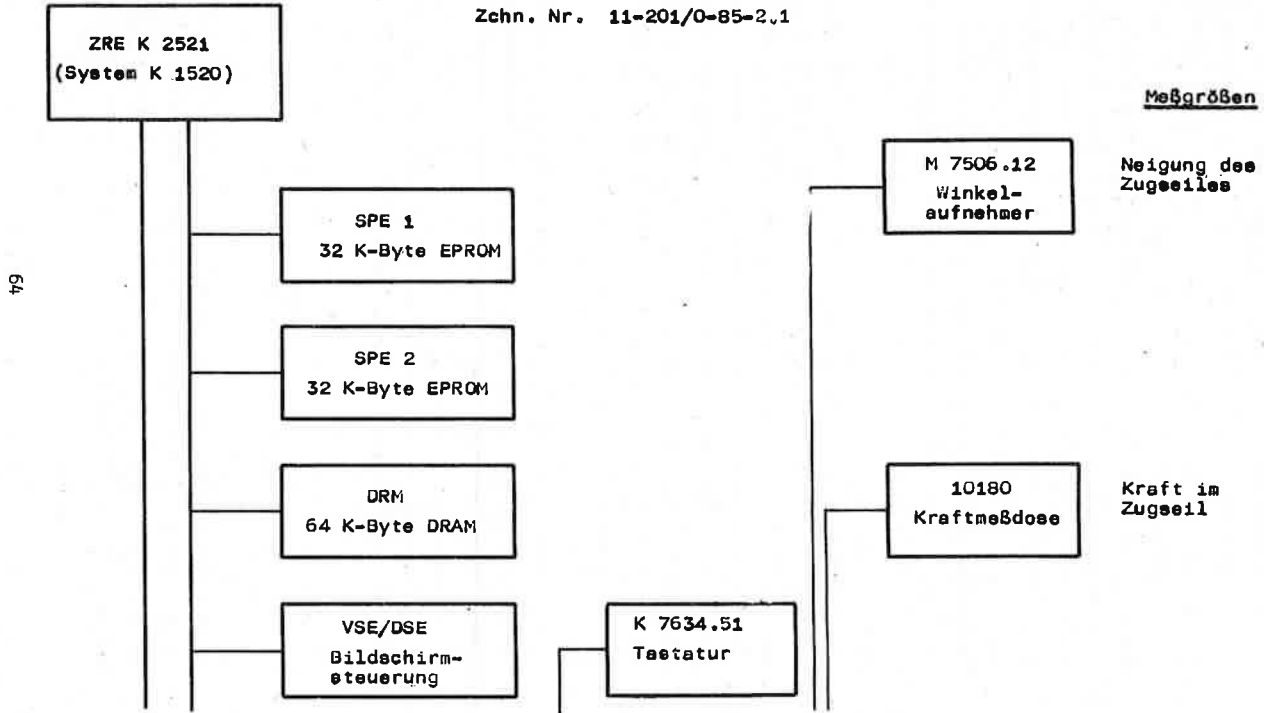
$$K_T = f(\lambda)$$

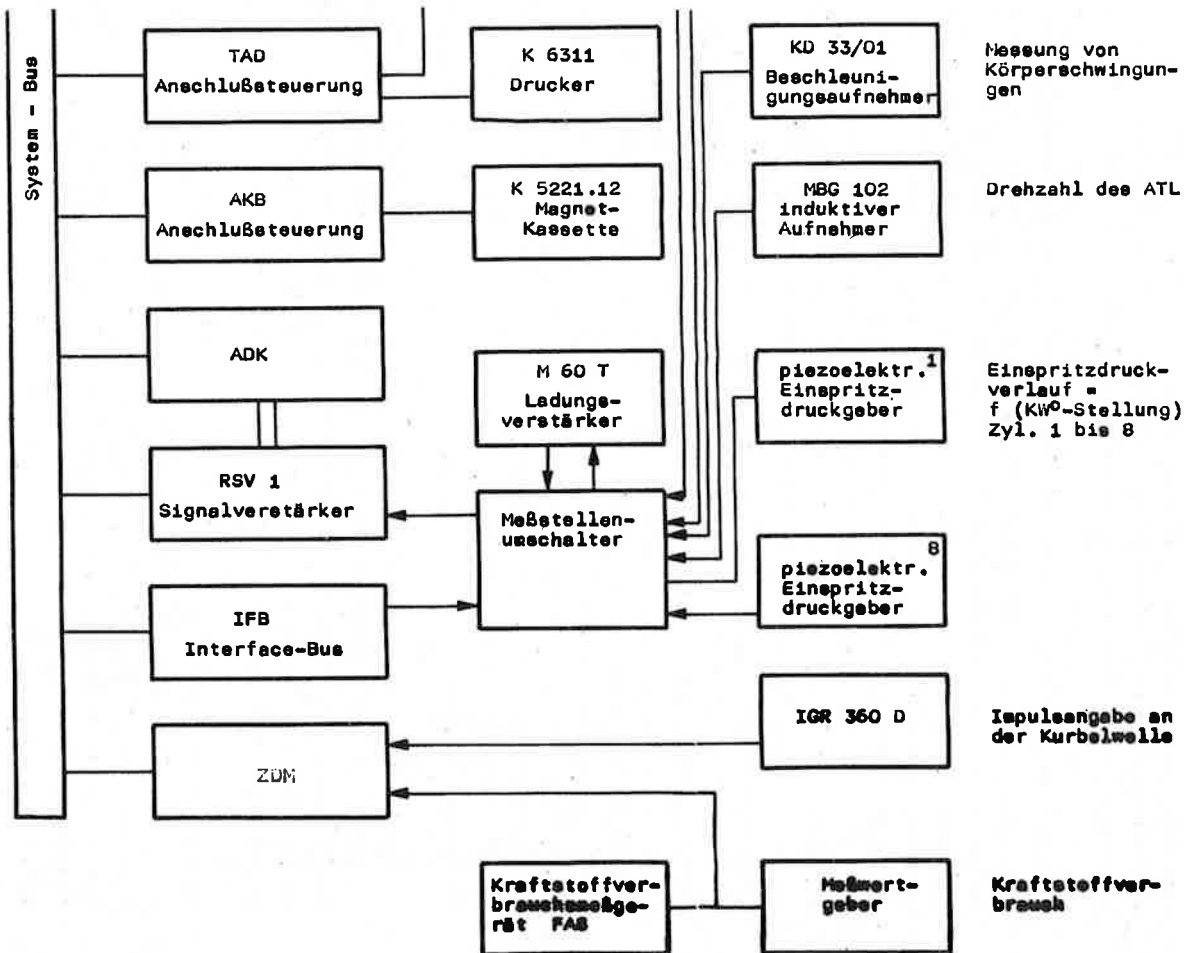
$$K_Q = f(\lambda)$$

in Form von Freifahrt diagrammen erarbeitet, die gegenüber einem nicht deformierten Propeller, die veränderte Leistungsaufnahme ausweisen. Parallel zu diesen experimentellen Untersuchungen wurden durch das Institut für Mechanik der Akademie der Wissenschaften der DDR bestehende theoretische Modelle

Bild 1 Meßtechnisches Konzept einer Diagnosestation

Meßtechnisches Projekt für die
Diagnosestation Genthin
Zchn. Nr. 11-201/0-85-2.1





(Flächentheorie-Modelle) soweit modifiziert, daß eine Darstellung der Deformationseinflüsse über Rechenprogramme möglich ist. Die Ergebnisse beider Untersuchungen sind ausführlich in /4/ dargestellt. Auf ihrer Grundlage soll ein Verfahren zur Propellerdiagnose erarbeitet werden. Gegenwärtig laufen noch zusätzliche Untersuchungen, um den Flachwassereinfluß zu bestimmen.

Die rechte Spalte in Bild 1 enthält sämtliche Meßgeber, die für die Meßwertgewinnung der beschriebenen Meßverfahren benötigt werden. Auf der linken Seite ist der für den Diagnoseeinsatz vorgesehene Rechner MFA 106 mit seinen Modulen aufgeführt. Bei diesem Rechner handelt es sich um ein einkanaliges modulares Fourier-Analysesystem vom VEB Meßelektronik Berlin. Nicht zum System MFA 106 gehören die Anschlußsteuerung AKB für ein Kassettenmagnetbandgerät sowie das Modul ZDM. Zu diesem Modul ist folgendes zu erklären. Zur Messung des "unrundten" Laufs bzw. der Drehschwingungen einer Welle sind gegenwärtig im DDR-Handel keine analogen Geber erhältlich. Der Meßcomputer MFA 106 hat für Messungen einen analogen Eingang. Diese Umstände zwangen dazu, auf ein digitales Meßverfahren auszuweichen. Deshalb wird ein inkrementaler Geber IGR 360 D, ein Geber, der pro Umdrehung 360 Impulse ausgibt, axial mit der Kurbelwelle verbunden. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Impulsen stellt die zu messende Größe dar. Aus diesen Zeiten kann die kurbelwinkelbezogene Winkelgeschwindigkeit ω errechnet werden, mit der sich die Kurbelwelle jeweils von Grad zu Grad weiterbewegt. Die so gewonnene Meßkurve erlaubt eine Einschätzung der Leistungsabgabe von den einzelnen Zylinderstationen. Die Meßfunktion der Zeitabstände wird durch das ZDM Modul gewährleistet. Zum Rechner gehört weiter die Tastatur K 7634.51.

Das Kraftstoffverbrauchsmeßgerät sowie der zugehörige Meßwertgeber sind nicht Bestandteil der Diagnosestation, sondern gehören künftig zur Ausrüstung der Schiffe. Dabei werden die digitalen Signale des Gebers ebenfalls im ZDM-Modul ausgewertet, so daß bei Abruf der momentante Kraftstoffverbrauch auf dem Display angezeigt wird.

Auf einer Digitalkassette als Massenspeicher werden die spezielle Software für die Diagnoseverfahren sowie die Normwerte für die verschiedenen Schiffstypen abgespeichert. Je nach Bedarf und des zu diagnostizierenden Schiffes werden sie über das Kassettenmagnetbandgerät W 5221.12 in den RAM-Speicher des Rechners eingelesen. Die benötigten Meßgeber werden anschließend an der Maschine angebaut.

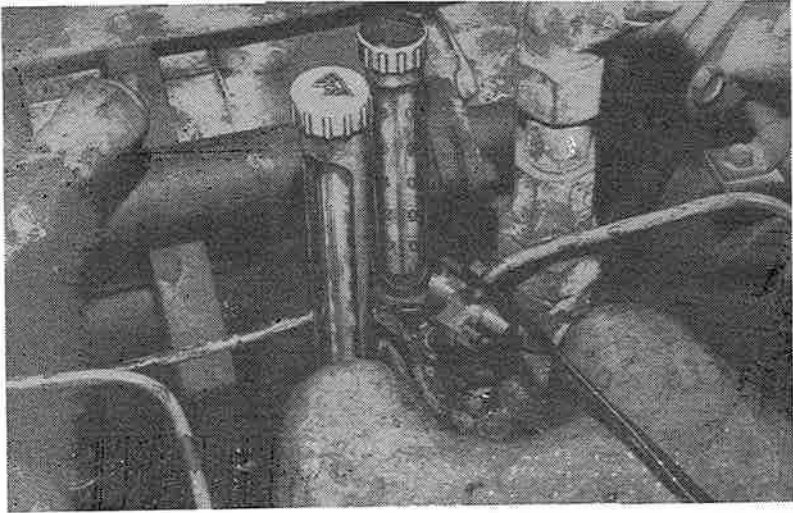


Bild 2 Montierter Einspritzdruckgeber

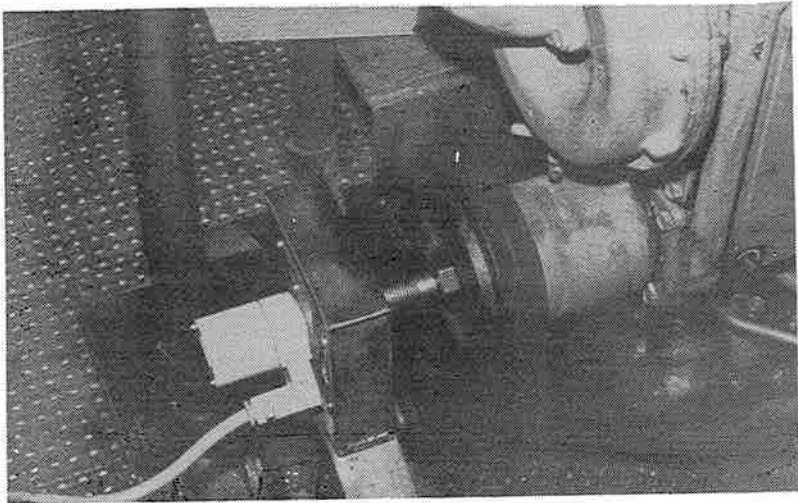


Bild 3 IGR 360 D im montierten Zustand an einem Motor 6 NVD 26

Die Verbindung der Meßstellen zum Rechmereingang übernimmt ein Meßstellenumschalter, der über einen Interface-Bus vom Rechner aus geschaltet werden kann. Gleichzeitig ist gewährleistet, daß die Signale der piezoelektrischen Geber über den Ladungsverstärker M 60 T geleitet werden, bevor sie in den Rechner gelangen.

Nach einer technischen Diagnose ist es notwendig, die Ergebnisse in einem Protokoll festzuhalten. Um keine Verluste an Informationen der Diagnoseergebnisse zu erleiden, sollten auch die graphischen Meßergebnisse in dieses Protokoll eingehen. Damit wäre ein Vergleich von Diagnoseergebnissen mit denen vorangegangener Diagnosen (am gleichen Schiff) möglich. Da eine Fertigung solcher Protokolle von Hand nicht möglich ist, übernimmt das ein Graphikdrucker vom Typ K 6311.

Mit dieser Meßtechnik ist es möglich, in kürzester Zeit die beschriebenen Tests durchzuführen. Bei der Auswahl der Meßgeber wurde streng darauf geachtet, daß das Anbringen schnell vonstatten gehen kann und an der Maschine möglichst keine Demontage notwendig ist. Mit Ausnahme des IGR 360 D ist diese Forderung bei allen anderen Gebern erfüllt. So ist die Kraftmeßdose für die Messung des Propellerschubs ständig eingebaut und mit dem Festmachen des Schubschiffes meßbereit. Entstehende Neigungen im Zugseil gehen in die Kraftmessung mit ein. Der Rechner korrigiert sie eigenständig, so daß eine Justierung der Festmacherseile entfällt. Der Beschleunigungsaufnehmer KD 33/01 kann bei notwendigen Schwingungsmessungen mit einem Magneten angeheftet werden. Analog dazu ist der induktive Geber MBG 102 mittels einer Steckverbindung anzubringen. Bei der Messung der Einspritzdurchverläufe wird im Interesse eines geringen Montageaufwandes statt der Druckmessung in der Leitung, die Umfangsdehnung der Leitung gemessen. Die Umfangsdehnung folgt völlig analog dem Druckverlauf. Bei dieser Meßmethode ist allerdings eine quantitative Druckbestimmung nicht möglich. Die Toleranzen der Rohrwandung der Einspritzleitungen tragen einen so großen Meßfehler ein, daß ein sinnvolles Messen nicht möglich ist. Da der qualitative Verlauf für eine Diagnose ausreichend ist, wird dieser Nachteil im Interesse einer schnellen Montage der Geber akzeptiert. Die Geber werden wie eine Schelle um die Leitung herumgelegt und verschraubt (Bild 2). Wie erwähnt, bildet der inkrementale Geber eine Ausnahme bezüglich seiner schnellen Montage, denn er muß axial mit der Kurbelwelle verbunden werden und mittels einer Halterung in entsprechender Stellung befestigt werden.

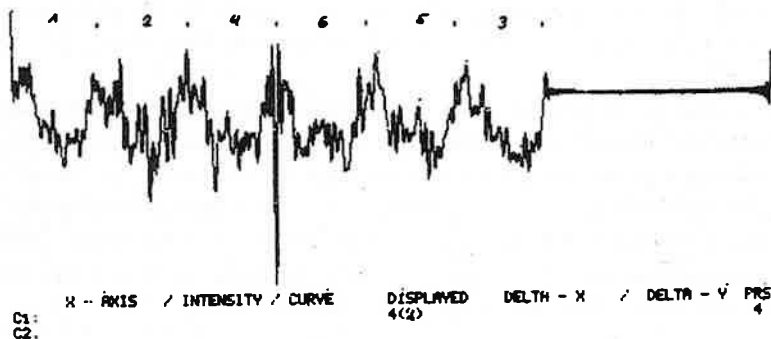
Weiterhin muß dafür gesorgt werden, daß er weitestgehend schwingungsarm gelagert ist. Der Demontageaufwand, z. B. bei den Motoren 6 NVD 26, erstreckt sich auf den Abbau des Schutzbleches an der Pumpenseite des Motors (Bild 3).

Die vielfältigen Meßfunktionen, die dieser Geber zu erfüllen hat, lassen diesen Kompromiß zu. So wird mit ihm neben der Drehschwingungsmessung die Maschinen-drehzahlmessung und auch der Kurbelwinkelbezug bei der Messung der Einspritz-durchverläufe realisiert. Mit dieser Meßeinrichtung erfolgten über mehrere Wochen, auf einem Stromschubschiff der Serie SSS 26, Versuchsmessungen. Dabei stellte sich heraus, daß die Meßgeräte trotz der rauen Bordbedingungen und der störenden Werfteinflüsse zuverlässig arbeiten.

Bisheriger Erarbeitungsstand der Diagnoseverfahren:

Theoretische Vorbetrachtungen zu der Drehschwingungsanalyse für die Kolben/Zylinderdiagnose ergaben, daß die Kurbelwelle sowohl durch die Gaskräfte der Zylinder als auch durch die Massenkräfte der sich bewegenden Teile der Maschine zum Schwingen angeregt wird. Für das beschriebene Diagnoseverfahren ist aber nur der Anteil der Gaskräfte entscheidend. Da der Anteil der Massenkräfte mit ω^2 wächst, ist es notwendig, im unteren Drehzahlbereich zu messen, damit die Arbeitstakte noch erkannt werden können. Das Ergebnis dieser Vorbetrachtungen wurde bei den Erprobungen voll bestätigt. Es mußte aber festgestellt werden, daß infolge von Unzulänglichkeiten bei der Ankopplung des inkrementalen Gebers an die Kurbelwelle starke Störschwingungen entstehen. Diese konnten weitgehend durch numerische Filterverfahren eliminiert werden, so daß die Drehimpulse infolge der Arbeitstakte sichtbar wurden (Bild 4). Zu diesem Bild muß bemerkt werden, daß nicht die Winkelgeschwindigkeit, sondern die Zeiten zwischen zwei Impulsen des IGR über den Kurbelwinkel aufgetragen sind. Bei der Messung wurden nur zwei Umdrehungen des Motors, also 720° KW erfaßt. Durch die Normierung des Bildschirms auf 1024 Bildpunkte wird ab Punkt 721 der Bildschirm mit einer Konstanten aufgefüllt. Oberhalb der Meßkurve ist die Nummer der jeweiligen Zylinderstation dem Arbeitstakt zugeordnet.

Aus dem Vergleich der Meßkurve mit dem parallel zur Messung gezogenen Indikatordiagramm wurde ersichtlich, daß eine optische Auswertung der Meßkurve für eine Diagnose nicht ausreichend ist. Aus diesem Grund ist es das Ziel der weiteren Bearbeitung, die Ankopplung zwischen dem IGR 360 und der Kurbel-



KW.-Drehschw. n = 395 1/min ohne Propeller nach der IFFT

Bild 4 Kurbelwellendrehbewegung bei einer Maschinendrehzahl von
 $n = 395 \text{ min}^{-1}$ nach der IFFT

welle so zu verändern, daß die Qualität der Meßergebnisse entscheidend verbessert wird. Darüberhinaus wird nach neuen Wegen für die Auswertung bzw. die Weiterverarbeitung der Meßkurve gesucht, um diagnostische Aussagen zu ermöglichen.

Zur Diagnose des Einspritzsystems soll, wie bereits beschrieben, kurbelwinkelbezogen der Einspritzdruckverlauf unmittelbar vor der Düse gemessen werden. Um den Kurbelwinkelbezug zu garantieren, werden die Impulse des IGR 360 D benutzt. Von diesem stehen grundsätzlich zwei Arten von Signalen zur Verfügung; ein Referenzimpuls, der pro Umdrehung einmal ausgegeben wird, und die Gradimpulse, die pro Umdrehung 360 mal ausgegeben werden. Der Referenzimpuls des Gebers kann als Triggerimpuls genutzt werden, um zu gewährleisten, daß die Messungen immer zum gleichen Kurbelwinkel gestartet werden.

Weiterhin wurde erprobt, die Winkelimpulse des inkrementalen Gebers als Taktfrequenz für den Analog-Digitalwandler zu nutzen. Das Ergebnis waren saubere Meßkurven, die exakt kurbelwinkelbezogen waren.

Mit dem Ziel, die Qualität der Meßkurven durch Eliminierung von Störschwingungen zu erhöhen, wurde die Akkumulationsfunktion des Rechners bei den Messungen zur Hilfe genommen. Diese Funktion wird im Systemhandbuch des MFA 106 folgendermaßen beschrieben:

"Für lineare Systeme kann auf Grund der Gültigkeit des Superpositionsprinzips das gemessene Signal $X /t/$ in einen unverrauschten Anteil $S /t/$ und in einen Rauschanteil $R /t/$ zerlegt werden. Es gilt $X /t/ = S /t/ + R /t/$. Eine Verringerung des unerwünschten Rauschanteils $R /t/$ kann nach dem Verfahren der Akkumulation erreicht werden, indem die Messung n -mal wiederholt wird und die Meßsignale $X /t/$ phasenrichtig bezüglich $S /t/$ aufaddiert werden. Da der Mittelwert statistisch verteilter Größen mit der Quadratwurzel von n wächst, während das unverrauschte Signal mit n zunimmt, läßt sich eine Signal-Rauschverbesserung um \sqrt{n} erreichen.

Eine derartige Signal-Rauschverbesserung besitzt den Vorteil, daß sie keinerlei Verzerrung der gesuchten Information $S /t/$ bedingt, erfordert jedoch Reproduzierbarkeit der Messung."

Die geforderte Reproduzierbarkeit wird durch die Triggerung mittels des IGR erreicht. Bei den Erprobungen stellte sich heraus, daß die Störungen nicht statistisch verteilt sind, sondern ständig mit dem Einspritzsignal reproduziert wurden, so daß keine Signal-Rauschverbesserung zu erzielen war. Es fiel auf, daß die einzeln gemessenen Einspritzdruckverläufe geringfügige Veränderungen zueinander aufweisen, die eine Auswertung erschweren. Durch die Akkumulation wird das unterdrückt. Untersuchungen ergaben, daß nach 20 Akkumulationen ein für die Einspritzdüse charakteristischer Einspritzdruckverlauf entsteht, der eine sichere Diagnose zuläßt. Nachdem von der meßtechnischen Seite her die optimale Meßvariante ermittelt worden war, wurde damit begonnen, das Diagnoseverfahren an sich zu testen. Dabei wurde festgestellt, daß eine Abhängigkeit zwischen der Maschinendrehzahl, der abgeforderten Leistung und der Form des Einspritzdruckverlaufes besteht. Das bedeutet für die künftige Diagnose, daß ein festes Regime vorgegeben werden muß, das vorschreibt, unter welchen Bedingungen die Messungen durchgeführt werden sollen.

Um eine Zuordnung des Einspritzdruckverlaufes zur Funktionstüchtigkeit der Einspritzdüse zu finden, wurden Einspritzdüsen vom Typ TA 725-155-3 bei zwei Drehzahlen getestet und dazu die Abspritzbilder gegenübergestellt. Zwei Beispiele

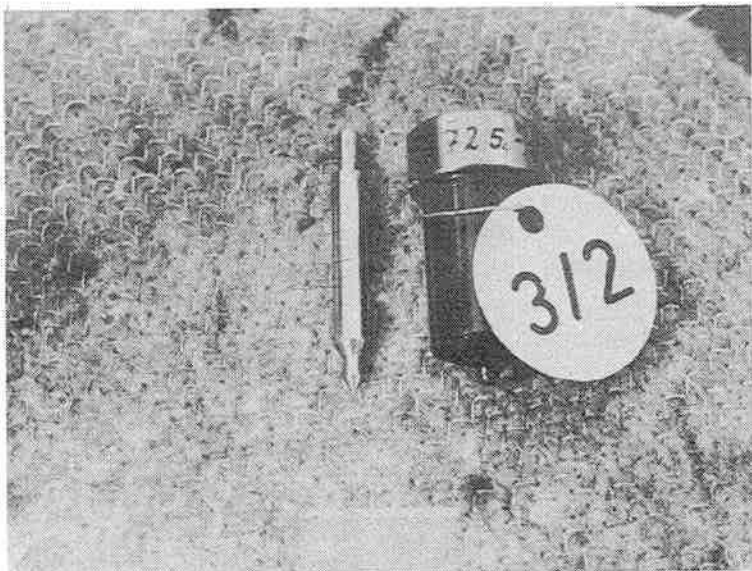


Bild 5. Düse mit Düsennadel nach den Messungen

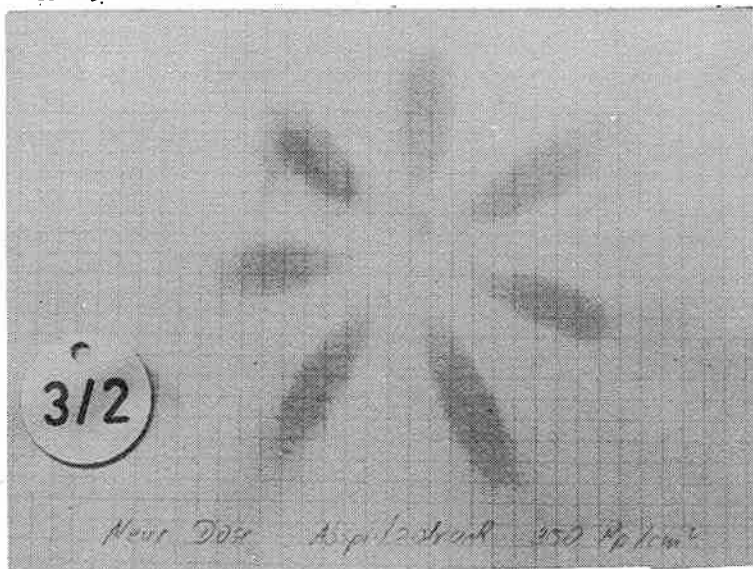


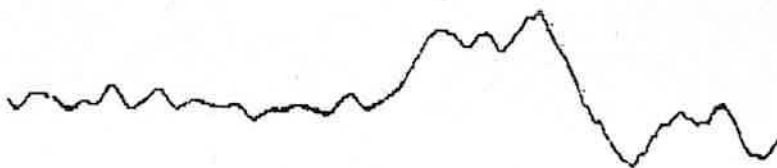
Bild 6 Spritzbild einer neuen Düse, Abspritzdruck 350 kp/cm²



C1: X - AXIS / INTENSITY / CURVE DISPLAYED DELTA - X / DELTA - Y PPS
 C2: 1(?) 1

Düse 3/2 n = 350 1/min ohne Propeller

Bild 7 Einspritzdruckverlauf der Düse 3/2 bei einer Maschinendrehzahl von 350 min⁻¹



C1: X - AXIS / INTENSITY / CURVE DISPLAYED DELTA - X / DELTA - Y PPS
 C2: 2(8) 2

Düse 3/2 n = 545 1/min mit Propeller

Bild 8 Einspritzdruckverlauf der Düse 3/2 bei einer Maschinendrehzahl von 545 min⁻¹

sollen die gewonnenen Ergebnisse veranschaulichen. Als erstes soll eine neue Düse betrachtet werden. In Bild 5 und in Bild 6 sind die Düse und die Düsen- nadel bzw. das Abspritzbild dargestellt. Die Bilder 7 und 8 zeigen die gemessenen Einspritzdruckverläufe. Deutlich ist die Veränderung des Druckver- laufs infolge der Drehzahl- und Laständerung des Motors zu erkennen. Dabei ist der Verlauf bei geringen Drehzahlen durch starke Druckschwankungen gekennzeich- net und auch nur in groben Zügen reproduzierbar. Im oberen Drehzahlbereich er-

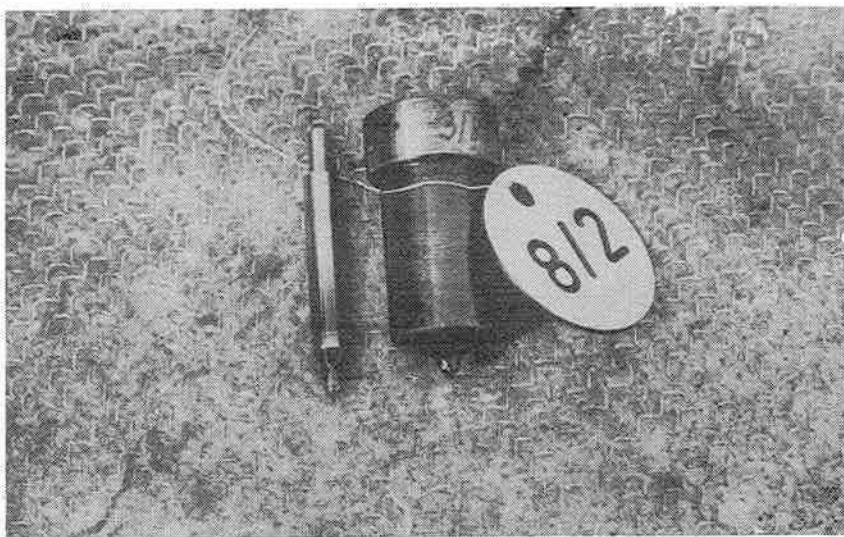


Bild 9 Düsenkörper mit Düsennadel einer defekten Düse

weist sich der Druckverlauf harmonisch und zu jeder Zeit nachweisbar. Dadurch bietet sich die Einspritzdiagnose im oberen Drehzahlbereich an, zumal der Arbeitspunkt im Schiffsbetrieb ohnehin in diesem Drehzahlbereich liegt.

Im zweiten Beispiel wird eine defekte Düse betrachtet. Von dieser Düse konnte kein Spritzbild hergestellt werden. Erst bei einem Druck von 400 kp/cm² erfolgte eine Tropfenbildung. Nach dem Abdrücken ergab eine Untersuchung, daß die Düsenöffnungen von Ölkoks und Rost zugesetzt waren. In diesem Zustand wurde die Düse bei einer Drehzahl von 350 U/min eingemessen (Bild 10). Ein erneutes Abdrücken vor der Messung bei einer Drehzahl von 545 U/min zeigte ein zufriedenstellendes Spritz-

bild. Offensichtlich ist durch das häufige Abdrücken ein reinigender Effekt erzielt worden. Der gemessene Druckverlauf bei der Drehzahl 545 U/min ist in Bild 11 dargestellt.

Der sehr hohe Druckanstieg in Bild 10; ohne daß ein oder mehrere kurzzeitige Druckabfälle infolge des Öffnens der Einspritzdüse erkennbar sind, deutet eindeutig darauf hin, daß die Düsennadel "hängt" und nur wenig Kraftstoff in den Verbrennungsraum gelangt. Das ist eines der wenigen Beispiele, wo sich an Hand der Meßkurve direkt der eigentliche Schaden an der Düse bestimmen läßt. In Bild 11 ist das schon wieder anders. Es ist zwar die gleiche defekte Düse, aber wie schon erwähnt, hat sich das Ausmaß des Defektes verringert. Die Unregelmäßigkeit des Druckverlaufes im Vergleich zu Bild 10 zeigt trotzdem einen Schaden an. Es ist aber nicht mehr möglich, zu erkennen, um welche Art von Schaden es sich handelt. Dieses Ergebnis stellt den Normalfall dar. Die Aussage, daß die Düse in ihrer Funktionstüchtigkeit beeinträchtigt ist, genügt aber auch. Denn, wenn bekannt ist, daß die Düse gewechselt werden muß, ist es überflüssig zu wissen, worin der Schaden besteht. Das wird bei der Demontage der Düse im Normalfall ohnehin sichtbar.

Auf die Diagnoseverfahren Kraftstoffverbrauchsmessung, Schubkraftmessung des Propellers bzw. Drehzahlmessung am Abgasturbolader soll in diesem Beitrag nicht vertiefend eingegangen werden, da zur Zeit noch keine Meßergebnisse vorliegen und die für den Einsatz geplante Meßtechnik an sich keine Neuentwicklung im Rahmen des Forschungsthemas darstellt.

Neue Ergebnisse bei der Entwicklung der technischen Diagnosestation sind erst 12/87 zu erwarten. Zu diesem Termin ist der Abschluß der Erprobung des ersten Funktionsmusters und die Übergabe der Station an eine Reparaturwerft vorge-
sehen.

Literaturverzeichnis

- /1/ DETTMANN, T.;
GERTH, L. Die technische Diagnose als notwendiger Beitrag zur Aufwandsenkung in der Binnenschifffahrt der DDR, Teil 1 der Studie "Technische Diagnose für Binnenschiffsantriebe"
VEB FAS, Berlin 1984
- /2/ KRAUSE, W. Labormeßeinrichtung zur Bestimmung der winkelbezogenen Drehbeschleunigung von Fahrzeugkleindieselmotoren,
VD IBI 7183
- /3/ DETTMANN, T. Analyse der Schäden an den Propulsionsorganen der Stromschubschiffe SSS 64; 67 und 70, Teil 4 der Studie "Technische Diagnose für Binnenschiffsantriebe"
VEB FAS, Berlin 1984
- /4/ PETERS, H.-E.;
FRIEDRICH, H.-J.;
SCHNICKKE, P. Teil 2 und Teil 3 des Berichtes "Technische Diagnose der Binnenschiffsantriebe"
VD FAS-FB /5/86
VEB FAS, Berlin 1986