



Foto: CCN

Die Yacht „Vanadis“, gebaut von der italienischen Werft CCN, ist mit Twin Propellern und einem Hybrid-Kontrollsystem von Schottel ausgestattet

# Moderne Automationssysteme für die Schiffspropulsion

**SCHIFFSBETRIEBSOPTIMIERUNG** Moderne Automationssysteme für die Schiffspropulsion übernehmen heutzutage eine Vielzahl komplexer Aufgaben und bieten damit zahlreiche Möglichkeiten zur Optimierung des Schiffsbetriebs. Sie sind Bestandteil eines Gesamtsystems an Bord und mit anderen Subsystemen verbunden. Welchen Anforderungen Automationssysteme entsprechen müssen, beispielsweise im Hinblick auf Funktionalität oder Sicherheit, thematisieren die Unternehmen Schottel und Bachmann electronic.

Christian Böttinger, Jacob Bryja, Jan Glas, Burkhard Staudacker

**S**chiffe werden mehr und mehr als Ökosysteme, komplexe Konstrukte aus einer Vielzahl von Subsystemen, verstanden. Das optimale Zusammenspiel dieser einzelnen Bausteine ist essenziell für den erfolgreichen und wirtschaftlichen Schiffsbetrieb. Dies stellt hohe Anforderungen an Schnittstellenanbindung, Kommunikation, Steuerung und ggfs. Regelung der sich gegenseitig beeinflussenden Komponenten. Insbesondere gilt das im Hinblick auf die hohe Varianz der Einsatzzwecke und die Zusammenstellung der Komponenten. Beinahe jedes Schiff muss hierbei als Unikat betrachtet werden.

Für das Kontrollsystem der Haupt- und Hilfsantriebe bedeutet das, dass Flexibilität in Bezug auf Fahrmodi, also auch die Konfiguration des Antriebsstrangs und somit die Ansteuerung von optional vorhandenen Schaltkupplungen, Zwischengetrieben, Hydraulikaggregaten oder Frequenzumrichtern, gefragt ist.

## Komplexe Schiffe und Systeme

Ein Beispiel für ein solch komplexes Schiff ist die Motoryacht „Vanadis“. Die 31 m lange Yacht, die mit azimutierenden Dop-

pelpropellersystemen ausgestattet ist, wird von einem hybriden Antriebssystem bestehend aus traditionellen Diesel- sowie Elektromotoren angetrieben. Letztere sind direkt integriert, indem der Rotor als Element der Wellenleitung ausgeführt ist. Damit kann er sowohl zum Vortrieb als auch im generatorischen Betrieb zur Stromerzeugung genutzt werden. Durch die Kenntnis der hydrodynamischen Eigenschaften des Doppelpropellersystems mit fester Steigung kann die verfügbare Differenz aus Leistungsreserve des Dieselmotors und Propellerlast optimal genutzt werden.

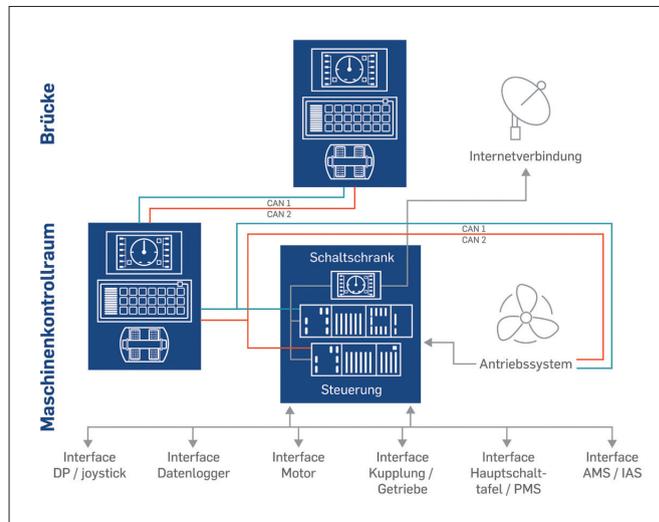
Bei hybrid getriebenen Antriebssträngen, wie im Falle der „Vanadis“, ist die effiziente Abbildung von komplexen Regelsystemen erforderlich. Beide wirken mechanisch gekoppelt auf denselben Antriebsstrang – entweder sequenziell oder zeitgleich. Je nach Zielsetzung, optimiert hinsichtlich Kraftstoffverbrauch oder geringstmöglicher Schallemissionen, können dabei in unterschiedlichen Operationspunkten entweder der Elektro- oder der Verbrennungsmotor zum Vortrieb genutzt werden. Im kombinierten Betrieb müssen Drehzahl und Drehmoment beider Antriebsaggregate aufeinander abgestimmt werden. Über

die Propellerkurve hinweg wechselt dabei sowohl die Lastverteilung als auch das führende System. Frequenzumrichter bzw. Motorsteuergerät müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass sie den Leistungsbedarf des Propellers decken, ohne sich gegenseitig negativ zu beeinflussen. Bei anderen Anwendungsfällen, wie sie etwa bei Arbeitsschiffen auftreten, lassen sich weitere Zusatzfunktionen, z.B. das Betreiben von Feuerlöschpumpen über die Dieselmotoren bei gleichzeitig vollelektrischer Propulsion, als funktionale Bausteine in das Kontrollsystem integrieren. Im Falle von Propellern mit veränderbarer Blattsteigung ist außerdem ein hydrodynamisch optimierter Kombinatorbetrieb umsetzbar. Durch die unabhängige Vorgabe von Drehzahl und Steigung des Propellers lässt sich in jedem Betriebspunkt ein wirkungsgradoptimierter und verschleißarmer Betriebszustand erreichen.

### Redundante Kontrollsysteme

Diese Varianz impliziert auf der Hardware-Ebene eine Vielzahl von unterstützender Kommunikationsprotokolle. Das Kontrollsystem muss daher parametrierbar gestaltet sein, mit dem Ziel, die Auslegung der Steuerung und Regelung für das jeweilige Schiff optimal darzustellen. Zugleich ist die Systemzuverlässigkeit Voraussetzung für einen sicheren Schiffsbetrieb. Das Versagen der Antriebsanlage oder der Manövrierrorgane wäre in vielen Situationen fatal. Um den Ausfall des Propulsionskontrollsystems durch einen einzelnen Fehler („single failure“) auszuschließen, wird von den Klassifikationsgesellschaften vorgeschrieben, dass die einzelnen Freiheitsgrade der Antriebe durch ein Back-Up-System steuerbar bleiben müssen.

Dies wurde in der Vergangenheit klassisch durch eine direkte Ventil- oder Aktuatoransteuerung gelöst („NFU“, „non-follow up“). Ein modernes Propulsionskontrollsystem sollte voll redundant ausgeführt sein, d.h. die im Hauptrechner umgesetzte Regelung der Sollgrößen ist auch im Backup-Rechner vorhanden („FFU“, „full-follow up“). Darüber hinaus sollte ein stoßfreier Übergang („bumpless transfer“) zwischen den Systemen gegeben sein.



Systemarchitektur des redundanten Propulsionskontrollsystems mit Fahrständen  
 Grafik: Schottel

### Modulare Softwarearchitektur

Kern des Propulsionskontrollsystems bildet eine modulare Softwarearchitektur. Diese ermöglicht ein Höchstmaß an Anpassungsfähigkeit und Flexibilität, um die Vielzahl der zu integrierenden Komponenten optimal einzubinden. Gleichzeitig werden komplexe Anforderungen an Echtzeitfähigkeit, Redundanz und Cybersecurity erfüllt.

Im konkreten Fall wird dies durch eine redundante Anordnung der Hardwaremodule unterstützt. So ist beispielsweise die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), das Kernelement des Systems, doppelt vorhanden. Im Regelfall übernehmen beide Recheneinheiten die ihnen zugewiesenen Aufgaben. Kommt es zu einem Ausfall, übernimmt das verbliebene aktive System automatisch die vitalen Funktionen der fehlerhaften Komponente. Genauso wichtig ist die fehlerfreie Funktion der ausgeführten Software an sich. Voraussetzung hierfür ist eine prozesssiche-

# Perform better, perform now

The Performance Reporting System for engines and fleets, taking care of precise, comprehensive monitoring and effective fuel reduction: Start to create individually designed reports fitting your needs and connect to all other systems in use.

Analyze, optimize, report and operate efficiently.

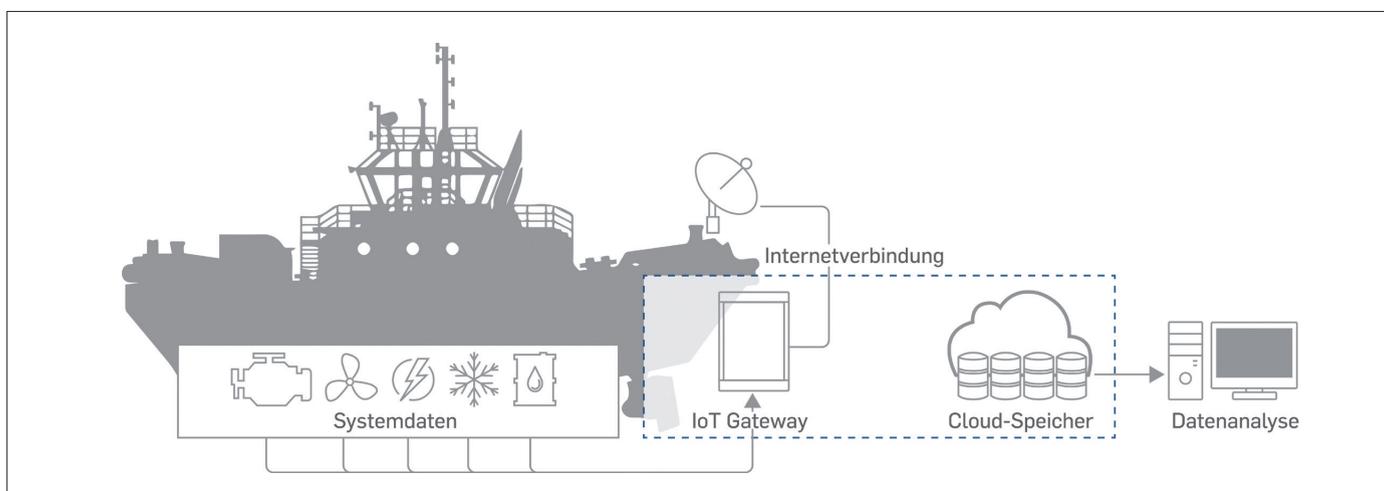
**MARPRIME INSTRUCT**

**MARPRIME ULTRA**

Additional device: user-friendly cylinder pressure indicator.

Parameter	Value	Unit	Status
Exh. temp. to out	180	°C	OK
TC speed	1500	rpm	OK
IFDC	High		OK
Pressure drop across COOLER	High		OK
Maximum pressure CYL 7	High		Very High
Maximum pressure CYL 6	High		High
Maximum pressure CYL 9	Low		OK

**MARIDIS**  
 MARITIME DIAGNOSIS & SERVICE



IoT-Topologie einer modernen Schiffsautomation, inklusive Datenerfassung, -übertragung und -interpretation

Grafik: Schottel

re Softwareentwicklung inklusive ausführlicher Tests. Letzteres erfordert einen hohen Grad an Standardisierung, während der oben beschriebene Bedarf an Flexibilität zu einem vermeintlichen Widerspruch führt. Um diesem zu begegnen, ist das System stark modularisiert ausgeführt. In der Vergangenheit wurde diese Modulphilosophie durch die Kombination von einzelnen, mit hardwarenaher Software ausgestatteten dezentralen Mikrocontrollermodulen realisiert. Diese führen jeweils eine ihnen zugewiesene Funktion aus.

Mit steigender Rechenleistung ist es heute möglich, die Aufgaben auf der CPU zu zentralisieren und die Flexibilität durch eine modulare Softwarearchitektur und Multitasking zu realisieren. Die Module selbst sind dabei hochstandardisiert, können aber durch ihre systematisch aufgebauten Schnittstellen in Bezug auf Ein- und Ausgangsparameter frei und anwendungsspezifisch kombiniert werden. Neben der Steigerung der Softwarequalität durch wiederholende Funktionsbausteine reduziert dieser Aufbau außerdem die Anzahl verbauter Komponenten. Das hat eine geringere Ausfallwahrscheinlichkeit und ein geringeres Fehlerrisiko zur Folge.

Eine zentrale I/O-Verwaltung hat das Potenzial, die Fertigungstätigkeiten im Schaltschrankbau zu reduzieren. Zudem bietet es zukünftig reduzierte Aufwände bei der Instandhaltung der Systeme.

### Entwicklungsumgebung und Hardwarekonfiguration

Während der Entwicklung der modularen Software kommt das Component-Manager-Framework zum Einsatz. Applikationen, wie beispielsweise Alarm und Monitoring oder Power Management, werden als einzelne Komponenten mit einer definierten Ein- und Ausgangsschnittstelle realisiert. Die Firmware, die die Basis bildet, lässt sich einfach um verschiedenste Systemfunktionen erweitern. Das Verschalten der Komponenten wird automatisiert per Script durchgeführt. Die Zuordnung erfolgt dabei anhand eines vordefinierten Namensschemas.

Durch die flexible Zusammenstellung kann ein breites Anwendungsspektrum, vom Schlepper über eine Megayacht bis hin zur Floating Production Storage and Offloading (FPSO)-Unit, abgedeckt werden. Die Kommunikation zwischen den Komponenten erfolgt dabei über einen globalen Variablenservice. Durch die Auftrennung in unabhängige Komponenten erreicht man eine hohe

Testbarkeit und Wiederverwendbarkeit. Da die einzelnen Komponenten schon in kompilierter und getesteter Form vorliegen, kann die Gesamtapplikation über reine Konfiguration zusammengestellt und auch nachträglich einfach erweitert werden.

Um auch den Ansprüchen von „Continuous Delivery“, d.h. Techniken, die den Software-Auslieferungsprozess verbessern, gerecht zu werden, können kundenspezifische Gesamtapplikationen automatisiert auf einem Buildserver aus den aktuellsten Quellcode-Ständen der einzelnen Komponenten erzeugt werden. Als Hardware wird das Automatisierungssystem M1 eingesetzt, das die Softwarekompatibilität zwischen unterschiedlichen CPUs vereinfacht. Die Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle erfüllen alle aktuellen Standards in der Schiffbauindustrie. Diverse Funktionsmodule bieten die Möglichkeit, vielfältige Anwendungen wie Zustandsüberwachung oder Power Management als Stand-Alone-Lösung oder integriert im Kontrollsystem zu realisieren. Zum Beispiel steht mit den AIC206/214-Baugruppen ein Modul zur Erfassung hochfrequenter Signale in Zustandsüberwachungssystemen zur Verfügung. Ein universelles I/O-Modul (GIO212) deckt die wichtigsten Signalarten ab, die zur Erfassung von Druck, Drehzahl und Temperatur benötigt werden.

### Fernwartung und Überwachung

Die inzwischen weltweit verfügbare Kommunikationsinfrastruktur, die die Übertragung mit hohen Bandbreiten und geringen Latenzen sicherstellt, ermöglicht die optionale Überwachung und Fernwartung des Systems. War das datenbasierte Lifecycle-Management zunächst großen Schiffen, Flotten und Betreibern vorbehalten, so erlauben gerade die in küstennahen Gebieten verfügbaren Mobilfunkstandards eine verhältnismäßig kostengünstige Vernetzung. Dies bietet gerade für kleinere Einheiten, wie beispielsweise Schlepper, Arbeitsschiffe oder Fähren die Möglichkeit, ein zukunftsorientiertes datenbasiertes Lifecycle-Management einzuführen. Die Verbindung aus Erfassung, Verarbeitung, Übertragung und Interpretation der im Betrieb anfallenden Daten eröffnet neue Möglichkeiten.

### Datensammlung und Prozessdatenüberwachung

Durch den Einsatz weiterer Sensorik für Temperatur, Beschleunigung und Wassergehalt am Equipment, im konkreten Fall den

Antrieben, lässt sich der technische Zustand der Anlagen kontinuierlich überwachen. Mithilfe geeigneter Analyseverfahren können anschließend das Verschleißverhalten beobachtet und individuelle Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Anders als bei der Erfassung von Betriebs- und Zustandsdaten erfordert dies erweiterte Maßnahmen direkt an Bord. Die hochauflösenden Abstraten insbesondere der Beschleunigungssensoren würden die Kapazität und Datenvolumen der Internetverbindung zu stark belasten. Stattdessen geschieht das Weiterverarbeiten der Daten direkt an der Quelle. Das gemessene Signal, eine breitbandige Schwingung, wird dabei mathematisch in einzelne Frequenzbereiche und Raumrichtungen unterteilt. Dies lässt eine Aussage auf Komponentenebene des Antriebsstrangs zu. Ein weiterer Vorteil des „Postprocessing“ an Bord ist die direkte Verfügbarkeit der Informationen seitens der Besatzung, selbst im Offlinebetrieb.

Die entsprechende Rechenoperation nebst Signaldatenverarbeitung findet entweder parallel auf der CPU des Kontrollsystems oder auf einer Stand-Alone-Variante statt. Letztere ist in Form eines eigenständigen Schaltschranks mit leistungsfähigem Mensch-Maschinen-Interface ausgeführt. Entsprechend kann die Funktion eines Zustandsüberwachungs- und IoT-Gateways auch in Form einer Nachrüstung auf bestehenden Schiffen erfüllt werden.

## Datenauswertung

Die Verfügbarkeit von Betriebsdaten (z.B. Schiffsbewegung und Umweltbedingungen) in Kombination mit zeitlich korrespondierenden Zustandsdaten des Antriebs (z.B. Propellerdrehzahl, Blattstellung, Azimutwinkel) bietet Gelegenheit für eine detaillierte Klassifizierung der Schiffsoperationen. Dies bildet die Basis dafür, den Einsatz des eigenen Schiffs besser zu verstehen und Effizienzsteigerungspotenziale zu entdecken, umzusetzen und letztendlich sogar zu quantifizieren. Die wichtigsten Kennzahlen zu Kraftstoffverbrauch, Geschwindigkeit, Manöver der Antriebe oder Umwelteinflüsse können auf einen Blick in einem Online-Portal visualisiert werden.

## Sicherer Datentransfer

Um höchsten Sicherheitsstandards gerecht zu werden, ist die Systemarchitektur nach dem Security by Design-Prinzip entwickelt worden und in verschiedene Zonen aufgeteilt. Durch die Segmentierung der Netzwerke ist ein Zugriff nur von der inneren sicheren Zone in die äußere, tendenziell unsichere Zone, erlaubt. Ein Zugriff in die andere Richtung ist nicht möglich. Dies gewährleistet, dass die SPS zwar Informationen empfangen kann, jedoch kein Zugriff von außerhalb direkt auf die SPS gegeben ist. Die einzelnen Zonen sind jeweils durch eine Hardware-Firewall voneinander separiert.

Ein weiterer zentraler Sicherheitsaspekt ist das sogenannte HMI (Human Machine Interface). Dieses bildet mit einem eigens gehärteten Betriebssystem (Linux Yocto) das zentrale Element zwischen SPS und webbasierter Anwendung. Jede Kommunikation zwischen Daten sammelnden und Daten auswertenden Systemen läuft über das HMI. Über einen autorisierten Zugang stellt es die Bedienoberfläche für die Nutzer an Bord des Schiffs bereit.

Die Kommunikation zwischen den einzelnen Nutzern erfolgt mittels des IoT-Standard-Protokolls MQTT. Eine Datenkommunikation zum Cloud-Service geschieht auf Basis des Standards AMQP. Bei einem Dateitransfer wird die Sicherheit zusätzlich durch eine zertifikatsbasierte Signierung der Teilneh-

mer erhöht. Ergänzend wird bei der Internetkommunikation eine AES-256-Verschlüsselung der Daten eingesetzt. Durch die lokale Speicherung (Ringspeicher) wird ein Datenverlust, auch bei ausgefallener Internetverbindung, verhindert.

## Potenziale ausschöpfen

Die Anforderungen an moderne Kontrollsysteme sind extrem vielfältig: Sie sollen u.a. hybride Antriebssysteme ermöglichen, höchste Ausfallsicherheit bieten, internetfähig, möglichst flexibel und ökonomisch aufgebaut und auch in bestehenden Schiffen nachrüstbar sein. In Kombination mit der voranschreitenden Digitalisierung in der maritimen Branche ergeben sich daraus große Potenziale. Mit modernen Systemen, die hinsichtlich ihrer Schnittstellen aktuellste Industriestandards abbilden, können unterschiedlichste Anforderungen bezüglich der Anbindung diverser Subsysteme berücksichtigt werden. Entsprechend wird ein materialschonender, effizienter und umweltschonender Betrieb der Antriebssysteme ermöglicht, die als Herzstücke der Schiffe maßgeblichen Einfluss auf den Betrieb des Gesamtsystems Schiff nehmen.

Die Autoren:

Christian Böttinger (Team Manager Electrical Research & Development), Jacob Bryja (Product Manager Automation & Digital Solutions), Jan Glas (Sales Director Automation & Digital Products), Schottel GmbH, Spay, und Burkhard Staudacker (Key Account Manager Sales Maritim DACH), Bachmann electronic GmbH, Feldkirch

THE TIMEKEEPER  
ON THE SEVEN SEAS




WEMPE - the leading manufacture of  
master and slave clock systems  
for the marine industry



WEMPE

CHRONOMETERWERKE  
HAMBURG

GERHARD D. WEMPE KG  
DIVISION CHRONOMETERWERKE  
STEINSTR. 23 20095 HAMBURG GERMANY  
P: +49 40 33448 899 F: +49 40 33448 676 E: CHRONO@WEMPE.DE  
WWW.WEMPE-MARITIM.DE