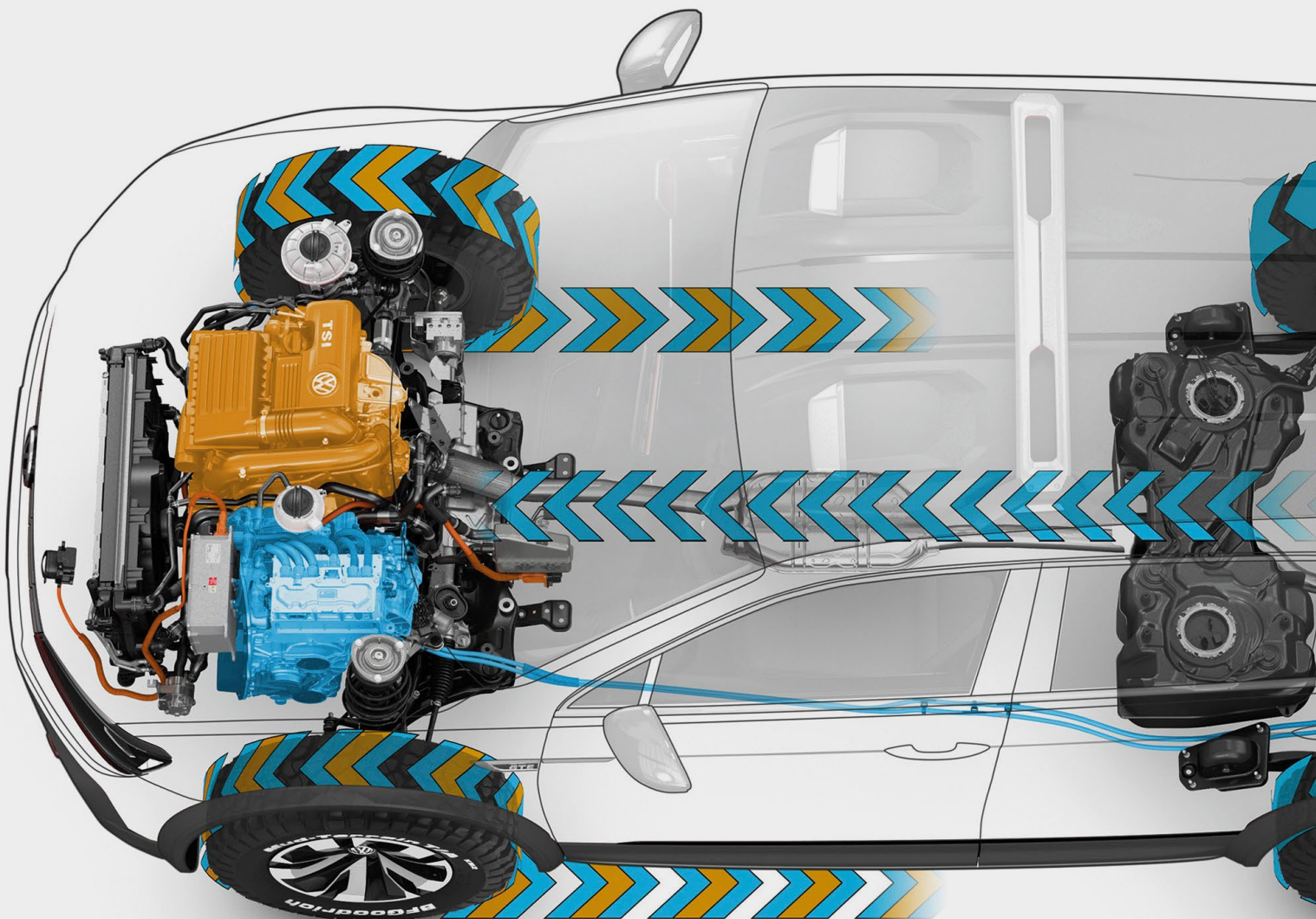


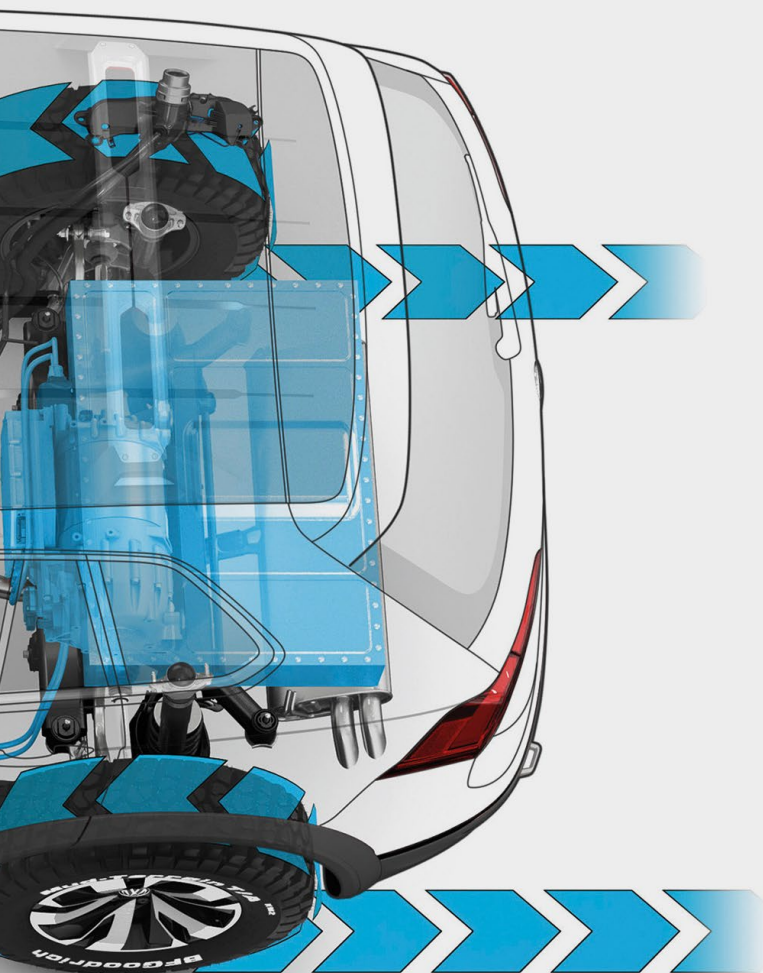
■ Komplexität beherrschen – Vorwettbewerbliche Gemeinschafts- forschung an Hybridantrieben

Die Elektrifizierung verbrennungsmotorischer Antriebe ermöglicht eine deutliche Absenkung des Emissionsniveaus sowohl bei Treibhausgasen als auch bei Abgasschadstoffen. Die mit der Hybridisierung steigende Komplexität stellt jedoch neue Anforderungen an den Entwicklungsprozess und die verwendeten Simulationstools. Durch mehrere Vorhaben will die FVV Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. ihren Mitgliedern solche Werkzeuge bereitstellen und weitere Grundlagen für eine wettbewerbsfähige mittelständische Industrie schaffen.



1 HYBRIDISIERUNG

Auf dem Weg in eine CO₂-neutrale Mobilität hat die Elektrifizierung konventioneller Antriebsstränge aus mehreren Gründen eine Schlüsselrolle inne. Dank des höheren Antriebswirkungsgrads lassen sich die Treibhausgasemissionen auch dort verringern, wo benötigte Reichweiten rein elektrisch nicht abgedeckt werden können – sei es aufgrund noch nicht realisierter flächendeckender Ladeinfrastruktur oder aufgrund von Mobilitätsformen, für die es keine ausreichenden elektrischen Energiespeicher gibt. Hybridantriebe reduzieren die Emission von Abgasschadstoffen nicht nur im elektrischen Fahrmodus, sie vermeiden auch durch Lastpunktverschiebung diejenigen Betriebsbereiche des Verbrennungsmotors, in denen besonders hohe Rohemissionen entstehen. Bei ausreichend hoher elektrischer Reichweite können moderne Hybridantriebe unmittelbar einen signifikanten Beitrag zur Immissionssenkung in belasteten Ballungsräumen leisten. Auch bei Anwendungen, wie beispielsweise bei Baumaschinen, in denen der Motorbe-



© Volkswagen

STIMMEN AUS DER FVV



© FVV

Martin Nitsche ist Stellvertretender Geschäftsführer der FVV e. V. in Frankfurt am Main. In dieser Funktion koordiniert er das Forschungsprogramm und ist für den Schwerpunkt „Hybridantriebe“ verantwortlich.

„Für künftige Generationen an Hybridantrieben stellen sich aufgrund der Technologievielfalt grundlegende technische Fragen, die wissenschaftlich beantwortet werden müssen.“



© IAV

Marc Sens leitet die Vorentwicklung für Antriebe und Nachhaltigkeit bei der IAV GmbH in Berlin. Er ist Mitglied im Ausschuss Forschung der FVV und koordiniert mehrere Forschungsvorhaben.

„Der Entwurfsmethodik kommt angesichts der hohen Komplexität hybrider Antriebsstränge zunehmende Bedeutung zu. Vor allem mittelständische Unternehmen profitieren daher von generischen Methoden.“

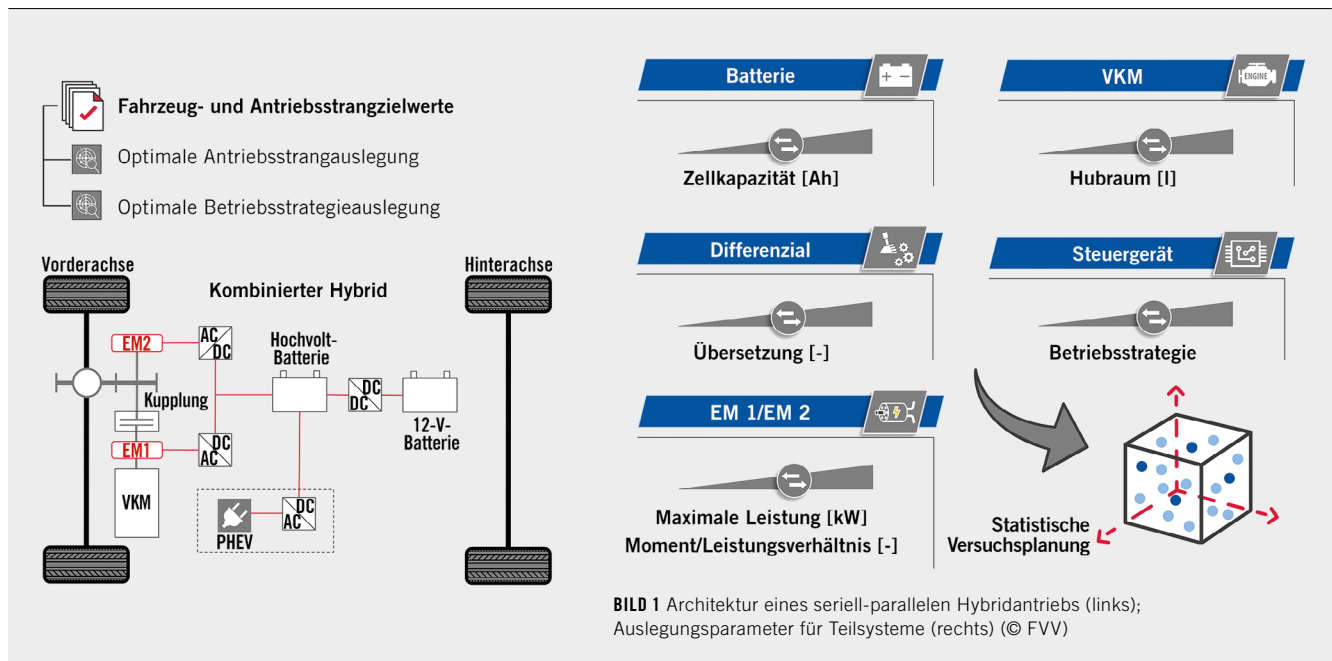


© TUHH

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz leitet die Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau an der Technischen Universität Hamburg (TUHH). Er ist für die FVV als Forschungspartner aktiv.

„Eine Elektrifizierung von Schiffsantrieben, die mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden, kann nicht nur das Emissionsniveau senken, sondern auch die Manövrierbarkeit verbessern.“





trieb häufig zwischen Vollast und Leerlauf wechselt, kann der Kraftstoffverbrauch über elektrische Energierekupera-tion deutlich gesenkt werden. Schiffe können in küstennahen Bereichen schadstofffrei betrieben werden, dank der Elek-trifizierung verbessert sich zudem ihre Manövrierbarkeit.

Aktuelle Hybridantriebe weisen eine hohe Bandbreite technologischer Ansätze auf, die zum Teil auch legislative Anforder-ungen in einzelnen Weltregionen spie-geln. Es ist explizit nicht Aufgabe der industriellen Gemeinschaftsforschung, in den funktionierenden Wettbewerb der Fahrzeug- und Motorenhersteller um das beste technische Konzept einzugreifen. Für zukünftige Hybridantriebe stellen sich aufgrund der Technologievielfalt dennoch grundlegende Fragen, die wis-senschaftlich beantwortet werden müs-sen. Die FVV hat dabei unter anderem folgende Schwerpunkte identifiziert:

- Zahlreiche technische Lösungen, die steigende Anzahl an Komponen-ten und hohe Freiheitsgrade in der Applikation führen zu mehr Kom-plexität im Entwicklungsprozess, der nur durch neue softwarebasierte Me-thoden beherrschbar wird.
- Für eine akustische Optimierung bei abgeschaltetem Verbrennungsmo-tor müssen die Übertragungswege von antriebsunabhängigen sowie von elektrischen Komponenten erzeugten

Geräuschen bekannt und durch Simulation abzubilden sein.

- Betriebsstrategien müssen die vollständige Wirksamkeit der Abgasreinigung auch dann aufrecht-erhalten, wenn Motor und Abgas-anlage durch längere elektrische Fahrten auskühlen.

2 ENTWICKLUNGSMETHODIK UND BETRIEBSSTRATEGIE

Durch die Kombination einer Verbren-nungskraftmaschine (VKM) mit einer oder mehreren elektrischen Maschinen (EM) entstehen Antriebssysteme für die Mobilität, die zahlreiche Betriebsstrateg-ien ermöglichen, die wiederum maß-geblich von den gewählten Komponenten bestimmt werden. Um auch in Wechsel-wirkung stehende Anforderungen von Klientel und Gesetzgebern in den Welt-regionen abzubilden, muss die jeweilige Betriebsstrategie auch in sich flexibel sein und bestmöglich funktionieren. Dafür ist eine ganzheitliche Entwick-lungsmethodik notwendig, die es bereits in einem frühen Entwurfsstadium ermöglicht, die im realen Verkehr rele-vanten Antriebseigenschaften zu mod-ellieren. Hier setzt das seit März 2021 laufende Forschungsprojekt „Hochflexi-ble Verbrennungsmotoren für Hybrid-antriebe“ [1] an, für das der Lehrstuhl für Thermodynamik mobiler Energie-

wandlungssysteme (TME) an der RWTH Aachen University als Forschungspartner gewonnen wurde.

Zunächst werden anhand von Markt-studien, Datenbanken und einer umfas-senden Interessensgruppenanalyse die Anforderungen an einen Pkw mit Plug-in-Hybridantrieb (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) definiert. Auf Basis des gewonnenen Kriterienkatalogs wird eine Referenzarchitektur abgeleitet. Der de-dizierte Hybridantrieb lässt mithilfe zweier EM und einer zwischengeschal-tenen Kupplung sowohl einen seriellen als auch einen parallelen Antrieb zu, **BILD 1** (links). Die Auslegungsparameter sind für alle wesentlichen Hardware-komponenten definiert, **BILD 1** (rechts). Zur exemplarischen Bewertung des Antriebs werden existierende und weiter-entwickelte Simulationsmodelle heran-gezogen, die als Werkzeuge ersetzbar gehalten sind. Für die optimale Auslegung des Antriebsstrangs werden Anfor-derungen wie geringer CO₂-Ausstoß, akzeptable Kosten und Annehmbarkeit von Noise Vibration Harshness (NVH) berücksichtigt. Die Limitierungen der Referenzarchitektur werden anschlie-ßend durch Simulationen von vier bes-onders fordernden Szenarien identifi-ziert – zum Beispiel eine Winterfahrt in Schweden oder eine Sommerfahrt auf deutschen Autobahnen. Dabei fließen auch individuelle Fahrweisen und Um-

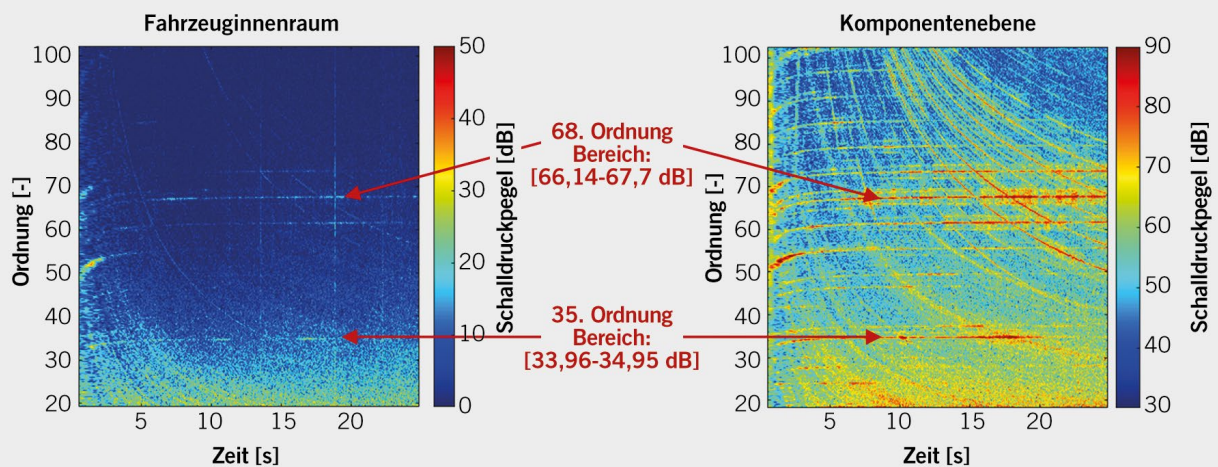


BILD 2 Automatisierte Analyse einzelner Geräuschkomponenten aus dem Fahrzeuginnenengeräusch am Beispiel einer elektrischen Asynchronmaschine (© FVV)

gebungsbedingungen wie die Außentemperatur mit ein. Das Optimierungspotenzial des Fahrzeugbetriebs wird mit einem prädiktiven Reisemanager untersucht, der auf Basis des Navigationsziels eine routenspezifische Betriebsstrategie ermöglichen soll. Zudem werden die Potenziale von Einzeltechnologien sowie Kombinationen von Technologiemaßnahmen bewertet. Abschließend soll die Übertragbarkeit der ganzheitlichen und herstellerneutralen Entwicklungsmethodik auf andere Hybridtopologien und Fahrzeugklassen demonstriert werden.

3 AKUSTIK

Im elektrischen Fahrmodus sind neben den Schallemissionen elektrischer Antriebskomponenten auch Geräuschkomponenten hörbar, die bei der Fahrt mit Verbrennungsmotor maskiert werden. Für den verbrennungsmotorischen Betrieb ist gut bekannt, welche Geräusche als angenehm oder unangenehm empfunden werden; die Kundenerwartung an den Klang elektrischer Fahrzeugantriebe ist bislang unzureichend beschrieben. Zudem kann aus dem Klangbild im Innenraum aufgrund mangelnder Kenntnis der Übertragungswege nicht unmittelbar auf einzelne Antriebskomponenten zurückgeschlossen werden. Daher werden in einem laufenden Forschungsvorhaben Kenngrößen für die

subjektiv empfundene Lästigkeit eruiert und automatisierte Zuordnungsmethoden einzelner Geräuschanteile zu verursachenden Antriebskomponenten entwickelt [2]. So können diese psychoakustischen Untersuchungen der industriellen Gemeinschaftsforschung kleine und mittelständische Unternehmen, die diese Komponenten oftmals liefern, in ihrer Wettbewerbsfähigkeit stärken.

Im ersten Schritt bauen die Abteilung für Experimentelle Audiologie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und der Lehrstuhl für Thermodynamik mobiler Energiewandlungssysteme (TME) an der RWTH Aachen eine für heutige Hybridfahrzeuge repräsentative Geräuschdatenbank auf. Für verschiedene Lastfälle werden neben dem Innengeräusch auch Körper- und Luftschallsignale aus dem Nahfeld der Schallquellen aufgezeichnet. Parallel werden Hörversuche mit synthetisch veränderten Geräuschbeispielen aus Vorgängerprojekten durchgeführt, um die Störwirkung von teilmaskierten Geräuschkomponenten quantifizieren zu können. Anschließend werden neuartige, auf Bildverarbeitungsmethoden basierende Algorithmen zur Geräuschtrennung entwickelt, sodass die zum Klangbild beitragenden Komponenten eindeutig identifiziert werden können. Die extrahierten Geräuschkomponenten werden in einem Klassifizierungsverfahren nach Signalcharakteristik geordnet

und den einzelnen Antriebskomponenten zugeordnet. In ausführlichen Hörversuchen sollen Testpersonen anschließend die Gesamtgeräusche sowie die Wirkung einzelner Geräuschkomponenten auf das Gesamtgeräusch bewerten. Die Hörbarkeit einzelner Geräuschkomponenten kann dabei durch die Simulation eines psychoakustischen Laborversuchs mit einem virtuellen Probanden ermittelt werden. Aus den Ergebnissen der Geräuschanalyse sowie der Hörversuche werden Zielgeräusche definiert sowie eine Software programmiert, die eine automatisierte Zuordnung gemessener Geräuschkomponenten, **BILD 2**, sowie eine Geräuschprädiktion für technische Varianten ermöglicht. Eine Erweiterung der Software ist für die Schallabstrahlung einer Asynchronmaschine geplant.

4 SCHIFFSANTRIEBE

Eine vollständige Elektrifizierung des maritimen Verkehrs ist nicht in Sicht. Als Beitrag zur Klimaneutralität wird daher im bereits beantragten IGF-Forschungsvorhaben „Hybridantriebe für alternative Kraftstoffe“ der Einsatz regenerativ erzeugter Kraftstoffe wie Ammoniak oder Methanol diskutiert. Im ottomotorischen Brennverfahren verschlechtert sich jedoch durch diese das Instationärverhalten. Zum Manövrieren im Hafen können EM diese Leistungs-

schwäche kompensieren und hier sowie auch in Küstennähe zu einem geringeren Ausstoß an Abgasschadstoffen beitragen. Eine hohe Regelgüte des hybridisierten Antriebsstrangs kann insbesondere für oft nur einmalig gebaute Spezialschiffe durch abgesicherte Simulationsmodelle erreicht werden, die deren Komplexität anstelle eines Prototyps ausreichend abbilden können, **BILD 3**. Daher sollen in zwei Teilprojekten, die die FVV gemeinsam mit der Forschungsvereinigung Schiffbau und Meerestechnik (FSM) initiiert, ein Simulationsmodell für beliebige Manöver sowie das hierfür notwendige Motormodell entwickelt werden. Forschungspartner sind die Arbeitsgruppe Schiffsmaschinenbau (ASM) und das Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffsicherheit (SSI) der Technischen Universität Hamburg (TUHH) sowie das Institut für Verbrennungskraftmaschinen (IVB) der Technischen Universität Braunschweig.

Im ersten Teilprojekt „Entwurf und Manöversimulation von Schiffen mit hybriden Antriebsanlagen“ wird ein durchgängiges Simulationswerkzeug entwickelt, das das Verhalten der Antriebsanlage inklusive Propeller und Ruder sowie die Schiffsautomation abbildet. Im Fokus stehen dabei sicherheitsrelevante Manöver wie Kursänderungen bei schwerem Wetter oder An- und Ablegen. Wesentlich neu sind der Verzicht auf vorab festgelegte Zeitreihen für einzelne Manöver sowie eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Antriebskomponenten, insbesondere des Propellerverhaltens. Im zweiten Teilprojekt „Entwicklung von Motormodellen für alternative Kraftstoffe und übergeordnete Regelungsstrategien für eingebettete hybride Antriebsanlagen“ sollen vorliegende Erkenntnisse zur Motorprozessrechnung in ein generisches Modell für schnell- und mittelschnellaufende Schiffsmotoren überführt werden. Dieses soll echtzeitfähig sein und eine hinreichende Genauigkeit für das Einbetten in die Manöversimulation aufweisen. Parallel soll eine Regelungsstrategie für den gesamten hybriden Antriebsstrang erarbeitet werden, die ineffiziente Betriebsarten und Fehlfunktionen vermeidet. Auch der Ansatz ist neu, für unterschiedliche Manöversituationen (zum Beispiel Beschleunigung versus Notstopp) unterschiedliche Sätze an

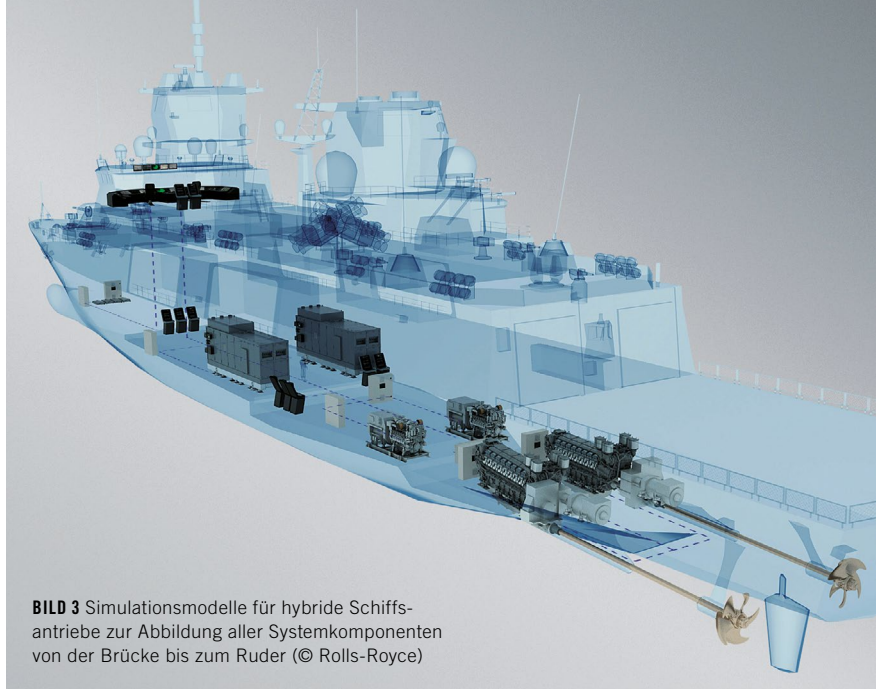


BILD 3 Simulationsmodelle für hybride Schiffsantriebe zur Abbildung aller Systemkomponenten von der Brücke bis zum Ruder (© Rolls-Royce)

Reglereinstellungen zu entwickeln, die von der Schiffsautomation in Abhängigkeit von der erkannten Situation eingesetzt werden können.

5 FAZIT UND AUSBLICK

Hybride Antriebsstränge sind ein wichtiger Baustein der Transformation hin zu einer klimaneutralen Mobilität – nicht nur für Straßenfahrzeuge, sondern auch für Arbeitsmaschinen und Schiffsanwendungen. Damit sie ihre volle Stärke ausspielen können, ist weitere Forschung insbesondere hinsichtlich Betriebsstrategie und Entwicklungsmethodik notwendig. Indem das gewonnene Wissen über die vorwettbewerbliche Plattform FVV zur Verfügung gestellt wird, leistet die Gemeinschaftsforschung einen wesentlichen Beitrag dazu, dass auch kleine und mittelständische Unternehmen in der Transformation wettbewerbsfähig bleiben.

Das aus FVV-Mitteln finanzierte Projekt „ICE2025+“ hat nachgewiesen, dass in der Kombination von Hybridisierung und synthetischen Kraftstoffen das Potenzial steckt, sehr hohe verbrennungsmotorische Wirkungsgrade zu erreichen [3]. Im bereits angelaufenen Nachfolgeprojekt „ICE 2030“ sollen weitere Potenziale zur Wirkungsgradsteigerung, unter anderem durch den Betrieb mit hohem Sauerstoffüberschuss, identifiziert werden [4]. Zu den Ergebnissen wird in dieser Zeitschrift berichtet werden.

LITERATURHINWEISE

[1] IGF-Forschungsvorhaben „Hochflexible Verbrennungsmotoren für Hybridfahrzeuge“.

Fördergeber: FVV (1433). Projektleitung: Marc Sens (IAV GmbH). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger (RWTH Aachen). (Unveröffentlicht)

[2] Fröhlingsdorf, K. et al.: Effiziente Analyse des Innengeräuschs von Elektrofahrzeugen. In Vorbereitung. In: ATZ 125 (2023), Nr. 1 (wird am 30. Dezember 2022 erscheinen)

[3] FVV (Hrsg.): Fremdgezündete Motoren – Grundlagenforschungen für eine nachhaltige individuelle Mobilität. In: MTZ 82 (2021), Nr. 3, S. 66-71

[4] IGF-Forschungsvorhaben „Grenzen der ottomotorischen Wirkungsgradsteigerung in hybridisierten Antriebssträngen“. Fördergeber: FVV (1434). Projektleitung: Dipl.-Ing. Arndt Döhler (Stellantis Opel Automobile GmbH). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende (Universität Stuttgart), Prof. Dr. techn. Christian Beidl (TU Darmstadt), Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts (TU Braunschweig), Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger (RWTH Aachen). (Unveröffentlicht)

DANKE

Die FVV e. V. dankt den öffentlichen Fördergebern und allen FVV-Mitgliedern für die großzügige Unterstützung der in diesem Beitrag genannten Forschungsvorhaben. Ihr besonderer Dank gilt den Forschungsstellen, Projektleitern und Mitgliedern der Arbeitskreise und projektbegleitenden Ausschüsse für die vertrauensvolle und gute Zusammenarbeit.



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
Test now for 30 days free of charge:
www.mtz-worldwide.com