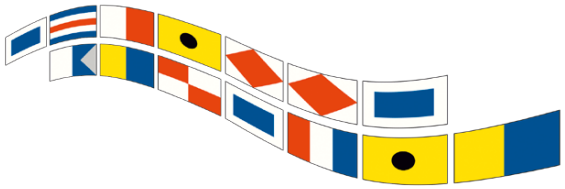
MÜLLER-BBM

Yachten · Fahrgastschiffe · Handelsschiffe · Forschungsschiffe · Marine

Schiffsakustik

www.mbbm-ind.com

Akustische Optimierung – ein unverzichtbarer Aspekt beim Bau moderner Schiffe



Sicher und komfortabel

Im modernen Schiffbau sind akustische Optimierungsmaßnahmen mehr als nur kosmetische Korrekturen oder übertriebener Luxus. In vielen Fällen verbessern sie die Nutzungsmöglichkeiten des Schiffs und erhöhen nachhaltig dessen Wertschätzung bei Eignern und Passagieren. So gehört es heute beispielsweise zum erwarteten Komfort auf einem Kreuzfahrtschiff, dass der Erholungseffekt nicht durch störende Geräusche gemindert wird. Im Bereich der Kabinen einer Mega-Yacht müssen die zahlreich verbauten Systeme und Aggregate für den Passagier nahezu unmerklich arbeiten. Bei Forschungs- oder Marineschiffen ist die akustische Optimierung oft sogar eine Voraussetzung für den Einsatz auf See. Und schließlich muss schon aus Sicherheitsgründen das Wahrnehmen von Warnsignalen und die Sprachverständlichkeit überall an Bord gewährleistet sein.

Komplexe Anforderungen

Die akustischen Verhältnisse bei einem Schiff sind äußerst komplex: An Bord finden sich meist starke Geräusch- und Schwingungserzeuger, wie Dieselmotoren, Kühlkompressoren, Pumpen oder Antriebsanlagen. Dabei bieten die typischen Schiffsstrukturen sowie Leitungs- und Kanalsysteme Schall und Schwingungen geradezu ideale Ausbreitungsbedingungen. Zudem ist meist schon aus Platz- und Gewichtsgründen das Portfolio technischer Gegenmaßnahmen begrenzt.

In diesem Spannungsfeld sind deshalb umfassende Erfahrungen und ein ganzheitlicher Lösungsansatz gefragt – beides bietet Müller-BBM in allen Fragen der Schiffsakustik seit über 50 Jahren. Know-how, auf das Sie vertrauen können – für das Plus an Komfort und Sicherheit auf Ihren Schiffen.

Titelseite:
Beratung und Messung für Werften, Reedereien, Konstruktionsbüros und Zulieferer von schiffstechnischen Anlagen

Vielfalt ist unsere Stärke

Individuelle Lösungen für Ihren Erfolg

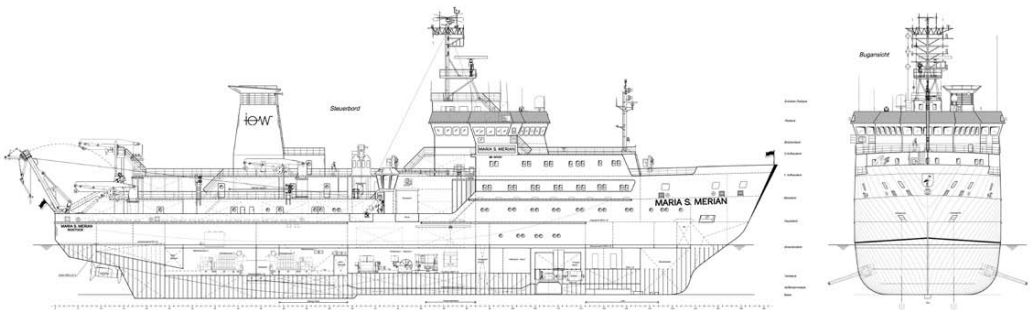
Unser Leistungsangebot ist so vielfältig wie die Schifffahrt. Unser Arbeitsgebiet umfasst Yachten, Fahrgast-, Handels- und Forschungsschiffe sowie Fahrzeuge der Marine. Bereits in der Konzeptphase beraten wir Werften, Reedereien, Konstruktionsbüros und Zulieferer von schiffstechnischen Anlagen zu akustischen Zielen und Spezifikationen. Wir unterstützen auch in der Konstruktions- und Bauphase durch Planung und Prüfung des gesamten Schallschutzes.

Dabei gilt: Je eher wir einbezogen werden, desto eher können wir für Ihr Schiff erste Prognosen über Luftschall und Schwingungen erstellen. Und desto eher können wir gemeinsam die erforderlichen Minderungsmaßnahmen abschätzen und das für Sie kostengünstigste Gesamtkonzept finden.

Umfassende Beratung in allen Phasen

In der Bauphase des Schiffs stehen wir Ihnen durch kompetente Beratung und qualifizierte Messungen zur Seite, damit aus der Planung akustische Realität wird. Die Erfassung von Luft- und Körperschalldaten beim Lieferanten von Anlagen oder am Rohbau des Schiffs sind Bestandteil der kontinuierlichen Qualitätskontrolle, sie ermöglicht aber auch den Abgleich mit den Eingangsdaten der akustischen Prognosen.

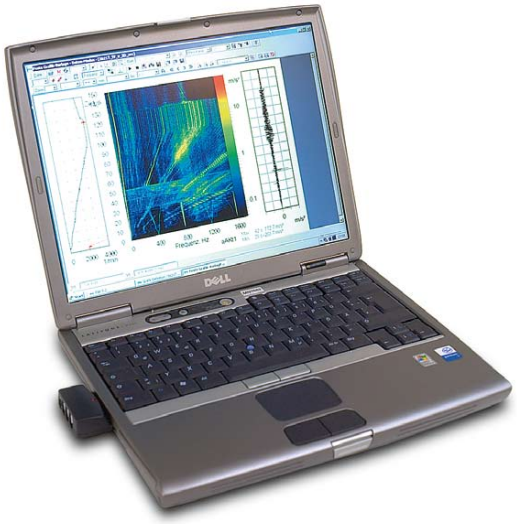
Zur schalltechnischen Gesamtbewertung eines Wasserfahrzeugs oder Einzelaggregats nutzen wir nicht nur unsere langjährige Erfahrung in der Bewertung von Messdaten, sondern auch hochspezialisierte Analysetools, die wir zum Teil selbst entwickelt haben. So stehen uns beispielsweise zur Bewertung von Konstruktionsständen moderne numerische Verfahren wie die Finite-Elemente-Methode FEM sowie die Statistische Energieanalyse SEA zur Verfügung.



Messen, Prüfen und Beraten

Fundierte Messungen im Betriebseinsatz

Die Grundlage unserer Arbeit ist die Fähigkeit, Akustik- und Schwingungsphänomene durch Messungen im Betrieb in all ihren Dimensionen erfassen und beurteilen zu können. Die Aufzeichnung und Interpretation von Luft-, Wasser- und Körperschalldaten ist damit eine der Kernaufgaben von Müller-BBM.



Mehr Transparenz für Ihre Entscheidungen

Fundierte Entscheidungen erfordern in vielen Bereichen der Entwicklung, Optimierung, Bewertung und Überwachung von Schiffen, Maschinen und Bauteilen eine präzise Kenntnis des dynamischen Systemverhaltens. Je nach Aufgabenstellung erfassen wir dabei einen regulären Betriebszustand oder die Systemantwort auf ein definiertes Anregungssignal (z. B. Impulshammer, Shaker). Bei Bedarf besteht die Möglichkeit, die relevanten Luft-, Wasser- oder Körperschalldaten durch die gleichzeitige Aufzeichnung von Betriebsparametern (Drehzahlen, Temperaturen, Drücke etc.) zu ergänzen. Damit können wir feststellen, ob störende Schallereignisse permanent oder nur in bestimmten Betriebssituationen auftreten. Entsprechend unserer Analyse können Sie die Wichtigkeit etwaiger Minderungsmaßnahmen einschätzen.

Mit Brief und Siegel

Ob einfache Erfassung von Schalldruckpegeln oder aufwändige Untersuchungen mit einer Vielzahl von Messpositionen – wir verfügen über langjährige Erfahrungen im Bereich Messtechnik und führen unsere Messungen und Berechnungen objektiv und unabhängig durch. Neben vielen anderen Arbeitsgebieten ist Müller-BBM auch für den Bereich Schall und Schwingungen akkreditiertes Prüflaboratorium nach DIN EN ISO/IEC 17025.

Individuelle Untersuchungen

Eigene Prüfstände und Labors

Nicht immer ist eine Messung im Betrieb möglich oder erwünscht. Sollen z. B. akustische Bauteil- oder Aggregat-Eigenschaften ohne den Einfluss der Umgebung oder unter bestimmten Randbedingungen erfasst werden, stehen Ihnen bei Müller-BBM modernste Prüfstände und Messgeräte zur Verfügung. Damit können wir schon im Vorfeld die Geräuschemission eines Bauteils objektiv beurteilen und in die Gesamtbetrachtung integrieren.

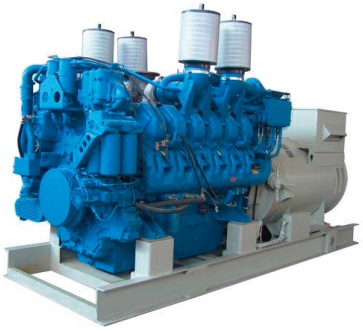
Zur akustischen Bewertung einer Komponente, Maschine oder Anlage wird meist der Schallleistungspegel herangezogen, da dieser eine produktspezifische Kenngröße ist, die nicht von den akustischen Eigenschaften des Aufstellorts abhängt. Solche Messungen führen wir in Übereinstimmung mit internationalen Normen in reflexionsarmen Räumen mit einem besonders geringen Fremdgeräusch oder im diffusen Schallfeld eines Hallraums durch.

Mehr Leistung im Verbund

Durch unsere jahrzehntelange Beratungs- und Messtätigkeit im Bereich der Bauakustik verfügen wir über eigene Prüfräume zur Ermittlung der Luftschalldämmung von Wand- und Deckenelementen sowie Fenstern und Türen. Die Trittschalleigenschaften von Fußbodenkonstruktionen und Decksbelägen können wir in einem eigenen Deckenprüfstand bestimmen.

Oft sind auch die akustischen Eigenschaften von Kanalauskleidungen, Luftein- bzw. auslasssystemen oder Rohrleitungselementen für das Gesamtbild wichtig. In einer eigens dafür eingerichteten Prüfstrecke können wir diese ohne den Einfluss von Lüftergeräuschen bei nahezu beliebigen Strömungsgeschwindigkeiten erfassen. Eine Bestimmung der Einfügungsdämpfung von Schalldämpfern ist hier ebenfalls möglich.

Konkrete bauliche Fragestellungen



Auslegung elastischer Lagerungen

Die Reduzierung von Körperschall-Einträgen in die Schiffsstruktur ist eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Einhaltung akustischer Vorgaben. Schon in der Planungsphase konzentrieren wir uns deshalb darauf, die schwingungsisolierte Aufstellung von Maschinen und Geräten korrekt auszulegen.

Mit modernsten Software-Tools bestimmen wir unter Berücksichtigung von Gewicht und Abmessungen bzw. Trägheitsmomenten der Aggregate sowie der dynamischen Federeigenschaften der dafür vorgesehenen Lagerelemente die Eigenschwingungen (Koppelschwingungen) des Systems.

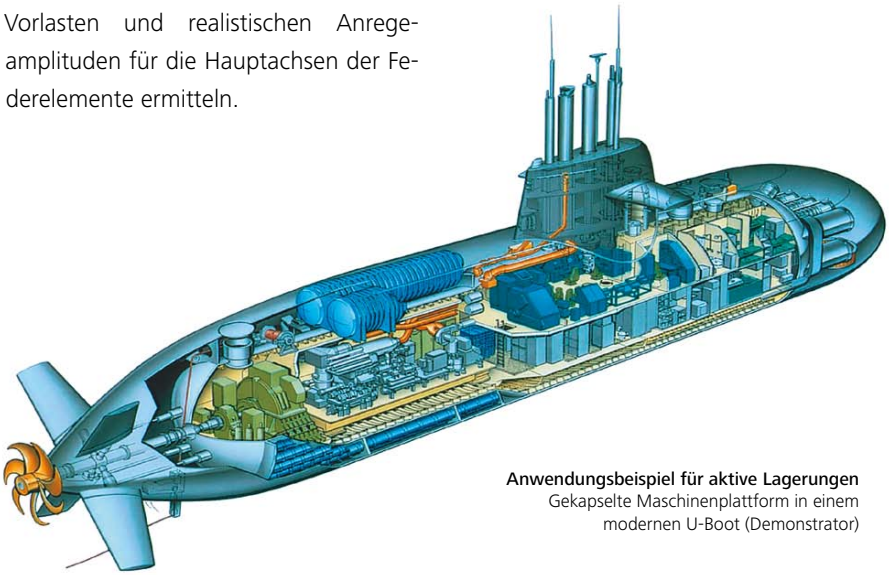
Parallel dazu ermitteln wir die Dämmeigenschaften der geplanten elastischen Lagerung sowie die statischen Einsenkungen, ggf. unter Beachtung des Abtriebsmoments oder vorgegebener Trimm- und Krängungswerte zur Simulation von Seegang.

Umfassende Beurteilung

Für die Auslegung elastischer Lagerungen im Hinblick auf deren schwingungstechnische und akustische Dämmungseigenschaften ist die Kenntnis der dynamischen Federeigenschaften unabdingbar.

Mit dem im Hause Müller-BBM verfügbaren Prüfstand können wir die dynamischen Federeigenschaften einer Lagerung bei nahezu beliebigen statischen Vorlasten und realistischen Anregeamplituden für die Hauptachsen der Federelemente ermitteln.

Grundlage dieser Untersuchungen ist das in der internationalen Norm ISO 10846 beschriebene Laborverfahren zur Messung der vibroakustischen Transfereigenschaften elastischer Elemente. Mit den ermittelten Kennwerten können wir unter Berücksichtigung der Fundamentstruktur präzise Vorhersagen zur Schwingungsentkopplung in den relevanten Frequenzbereichen treffen.



Anwendungsbeispiel für aktive Lagerungen
Gekapselte Maschinenplattform in einem modernen U-Boot (Demonstrator)

Je eher, desto günstiger

Raumschall-Berechnungen

Oft sind Geräuschbelästigungen an Bord die Folge unzureichender oder mangelhafter Schalldämm-Maßnahmen. Durch eine schalltechnische Beratung können wir Ihnen bereits in der Planungsphase helfen, das akustische Konzept Ihres Schiffs zu optimieren, um spätere Überraschungen und kostspielige Gegenmaßnahmen zu vermeiden.

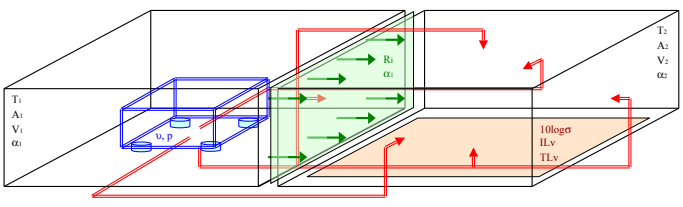
Kennzeichen unserer ganzheitlichen Analyse ist die Einbeziehung sämtlicher Übertragungswege für eine zuverlässige Prognose der Schallausbreitung in Räumen. In unmittelbarer Nähe zur Schallquelle spielt die Luftschall-Übertragung eine wesentliche Rolle, in größerer Entfernung dominiert meist der Beitrag des Körperschalls. Dabei entscheidet eine Vielzahl von Einzelfaktoren über den Schallpegel im jeweiligen Raum.

So erfolgt die Reduzierung der Schnellepegel in Abhängigkeit der elastischen Lagerung der Maschine, der Länge des Ausbreitungswegs, der schiffbaulichen Struktur sowie der Eigenschaften der umgesetzten Isoliermaßnahmen.

Zudem beeinflussen die Absorptionseigenschaften der Räume selbst den resultierenden Schallpegel. Je nach Größe des Raums, Wandaufbau und Möblierung kann der einfallende Schall durch Reflexionen verstärkt oder durch Absorption verringert werden.

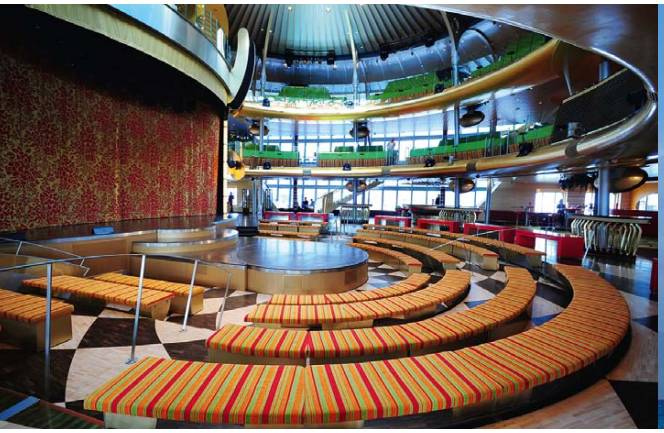
Durch Kenntnis der Quellpegel, Materialeigenschaften der Isoliermaßnahmen und baulichen Verhältnisse im Schiff kann der Schalleintrag in den Empfängerraum für jeden Übertragungspfad berechnet werden. Die energetische Addition aller Übertragungswege ergibt schließlich den Schallpegel im Raum.

Aufgrund der langjährigen Tätigkeit auf diesem Gebiet und dank einer umfassenden Datenbank zu Geräuscherzeugern und Isolier-Material können wir zuverlässig und schnell Prognosen zur Schallausbreitung in den Räumen Ihres Schiffs erstellen.



Übertragungswege zwischen Sende- und Empfängerraum.
Zuverlässige Prognose der Schallausbreitung

Fundierte Aussagen zum Komfort und zur Sicherheit



Berechnungen zur Schallausbreitung

Nicht nur im Inneren der Schiffe spielt die Akustik eine entscheidende Rolle für den Komfort und die Sicherheit von Passagieren und Besatzung – auch in den Außenbereichen ist das Geräuschniveau ein wichtiges Kriterium. Neben der erholsamen Ruhe gibt es dabei auch Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen. So müssen z. B. an Bord gesprochene Anweisungen oder Warnsignale zu jedem Zeitpunkt wahrnehmbar und verständlich sein.

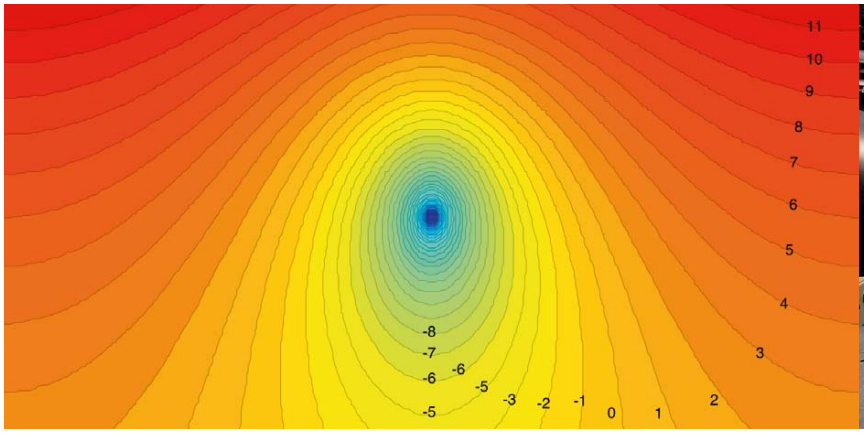
Simulieren und Berechnen

Numerische Ausbreitungsmodelle ermöglichen es uns, aus den gegebenen Schalldaten von Lüftungsöffnungen, Abgaskaminen oder im Außenbereich aufgestellten Aggregaten detaillierte Schallkarten für einzelne Abschnitte oder ganze Decks zu generieren. Diese Schallkarten bieten Ihnen einen entscheidenden Vorteil: Sie erkennen auf einen Blick kritische Bereiche und den Erfolg von Änderungsmaßnahmen.

Die eingesetzten Verfahren zur Berechnung von Schallabstrahlung und -ausbreitung sind in aktuellen Richtlinien und Normen festgeschrieben. Durch eine dreidimensionale Modellierung der Decksabschnitte und die Zuordnung der Reflexions- und Absorptionseigenschaften der verwendeten Elemente entsteht ein exaktes Abbild der akustischen Verhältnisse. Die an Bord vorherrschenden Abschirmungen, Reflexionen sowie Überlagerungs- und Beugungseffekte werden in die Betrachtung einbezogen, somit lassen sich die schalltechnischen Maßnahmen bereits in der Planungsphase optimieren, noch ehe der erste Bauabschnitt gestartet ist.

Ergebnis einer Schallausbreitungs-Rechnung
Decksbereich eines Kreuzfahrtschiffes
mit Tender-Booten (Draufsicht)

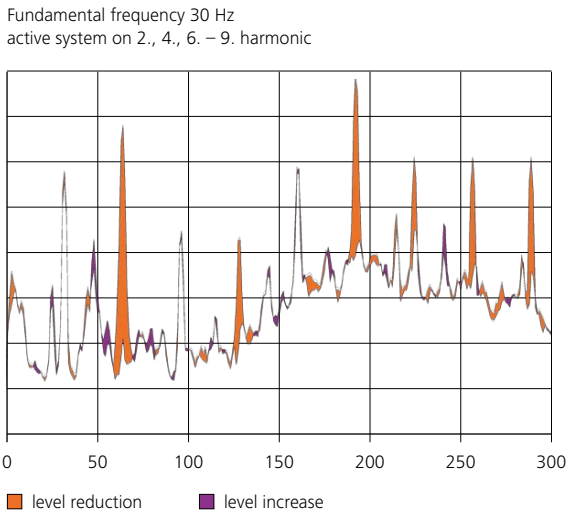
Forschung und Entwicklung bei Müller-BBM



Methoden zur aktiven Geräuschminderung

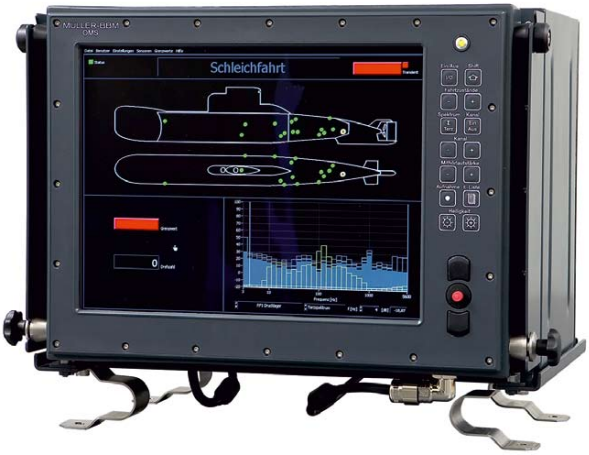
Nicht immer lassen sich anspruchsvolle akustische Aufgabenstellungen mit dem aktuellen Stand der Technik lösen. Deshalb erforschen und entwickeln wir bei Müller-BBM neue Mess- und Rechenverfahren sowie schiffbauliche Lösungen. Ein aktuelles Beispiel sind Methoden zur aktiven Geräuschminderung.

Luft- und Körperschall im Schiff sind letztlich Schwingungen der Schiffsstruktur im akustischen Frequenzbereich und lassen sich als Wellen beschreiben. Unabhängige Wellen überlagern sich, und wenn bei zwei ansonsten gleichen Wellen immer genau Berg und Tal übereinander liegen, bleibt in der Summe nichts übrig. Diese einfache Grundidee steckt hinter den Methoden zur aktiven Geräuschminderung, die häufig salopp als »Antischall« bezeichnet werden. Die praktische Umsetzung dieser Ideen ist hingegen nicht ganz so einfach. Schließlich gilt es, das störende Geräusch in allen gewünschten Punkten stets mit hoher Genauigkeit mit einem um 180° phasenversetzten Gegenschall zu überlagern. Die Grafik zeigt den relativ schmalen Bereich, innerhalb dessen die Phasenauslöschung die besten Ergebnisse liefert. Aufgrund der relativ eng tolerierten Einsatzbedingungen beschränken sich praktische Lösungen meist auf »akustisch einfache« Aufgabenstellungen. Hierzu zählen z. B. tonale Körperschallanregungen drehender Maschinen, die, einmal über die Maschinenlager übertragen, oft im gesamten Schiff hörbar sind. Aktive Systeme können hier die passiven Lagerungen bei den störenden Tönen gezielt verbessern. Die Vorteile der aktiven Lagerung konnten wir bereits in unterschiedlichen Demonstrationsanlagen unter Beweis stellen.



Aktive Lagerung im Einsatz
Körperschallpegel mit und ohne aktive Lagerung zur Minderung ausgewählter Harmonischen eines Motors in einem großen schiffbaulichen Demonstrator

Akustische Zustands- und Signaturüberwachung



In kritischen Fällen ist eine dauerhafte Überwachung und Bewertung des akustischen Zustands eines Wasserfahrzeugs oder Einzelaggregats sinnvoll oder notwendig. Müller-BBM entwickelt und implementiert Verfahren und Systeme, bei denen mit Hilfe von erfassten Luft- und Körperschalldaten einzelne Geräte oder ganze Schiffe im laufenden Betrieb überwacht werden.

Die Aufgaben bei der Umsetzung eines Überwachungssystems sind dabei vielfältig:

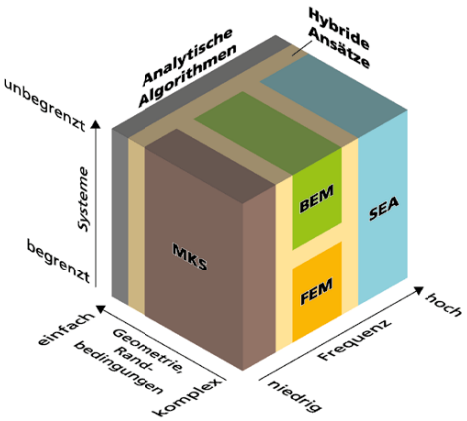
- Auswahl und Positionierung der Sensorik,
- Definition und Anpassung der für die jeweilige Fragestellung erforderlichen Signalanalyse,
- Erstellung der Überwachungssoftware mit individuellem Benutzerinterface,
- Definition von Warn- und Eingriffsgrenzen,
- Einrichtung von benutzerorientierten Funktionen wie der Datenaufzeichnung und -darstellung, der Möglichkeit des Mithörens des aktuellen Zustandes und der Datenablage.

Der Vorteil für Sie liegt auf der Hand: Durch eine individuelle Anpassung der Hard- und Software an die unterschiedlichen Anforderungen erzielen Sie das optimale Ergebnis für maximale Sicherheit. Anlagen zur Überwachung der Kavitation von Schiffspropellern, der Radqualität bei Straßenbahnen oder von Schwingungen im Inneren eines Wärmetauschers sind Beispiele für Systeme aus dem Hause Müller-BBM.

Dabei werden neueste Methoden zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Überwachungsanlagen eingesetzt. Ein Beispiel ist die Beschreibung der Schallausbreitung in komplexen technischen Systemen durch die Transferpfadanalyse (TPA) mit Nebenwegskompensation.

Diese wird auch in Anlagen eingesetzt, die eine Abschätzung der akustischen Abstrahlung von Marineschiffen erlauben. Aus Körperschallmessdaten wird eine Prognose des Wasserschalls im Fernfeld, also der akustischen Signatur, erstellt. Das Verfahren wurde echtzeitfähig in eine Körperschall-Überwachungsanlage integriert, die bereits erfolgreich eingesetzt wird.

Numerische Simulation: FEM, BEM und SEA



Bestimmte Fragestellungen erfordern den Einsatz numerischer Methoden zur Ermittlung der schwingungstechnischen Eigenschaften lokaler oder globaler Strukturen. Dazu zählt beispielsweise die Berechnung propellererregter Druckschwankungen an der Außenhaut eines Schiffs oder die Auslegung der Zwischenmasse einer elastischen Lagerung.

Müller-BBM setzt die Finite-Elemente-Methode (FEM) und die Randelemente-Methode (BEM) zur Simulation vielfältiger technischer Aufgabenstellungen ein. In der Strukturdynamik und Akustik sind die beiden Verfahren vor allem im unteren Frequenzbereich von Bedeutung. Problemstellungen bei höheren Frequenzen werden mit Hilfe statistischer Verfahren wie der statistischen Energieanalyse (SEA) gelöst.

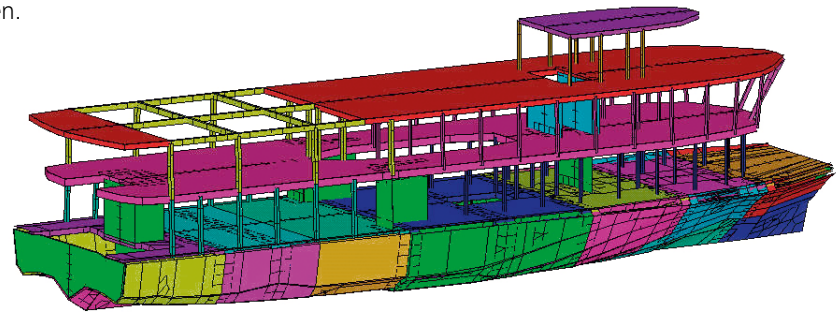
Grundlage einer korrekten Berechnung ist bei der FEM stets die exakte Definition der Strukturelemente hinsichtlich Material, Geometrie und Randbedingungen. Anhand von Stahlbauplänen des Schiffs oder Detailzeichnungen von Bauteilen erfolgt der Aufbau eines Simulationsmodells.

Mit Hilfe der Untersuchungen können zeitnah und kostensparend Verbesserungen an der untersuchten Struktur nach Kriterien wie z.B. Übertragungsverhalten, Eigenfrequenzen, abgestrahlter Schallleistung, Masse oder Festigkeit vorgenommen werden. Änderungsmaßnahmen können so schnell bewertet und optimale Auslegungen gefunden werden.

Fotos:

© Ingrid Fiebak Fotografie, Leer
© Meyer Werft GmbH, Papenburg
© Briese Schifffahrt, Leer
© Isbir Elektrik, Ankara
© Lürssen Werft GmbH & Co.KG, Bremen
© Superyacht Creations, Egmond aan Zee
© Olaf Krull, Rostock
© Howaldtswerke – Deutsche Werft GmbH, Kiel
© Baird / Yacht-Images.com
© Institut für Meereskunde der Universität Hamburg
© MTU, Friedrichshafen
© Müller-BBM Archiv

Für die Genehmigung, Bildmaterial zu veröffentlichen, bedanken wir uns bei unseren Auftraggebern und den Fotografen.



FEM-Gesamtmodell eines Schiffskörpers

MÜLLER-BBM

Beraten und Begutachten

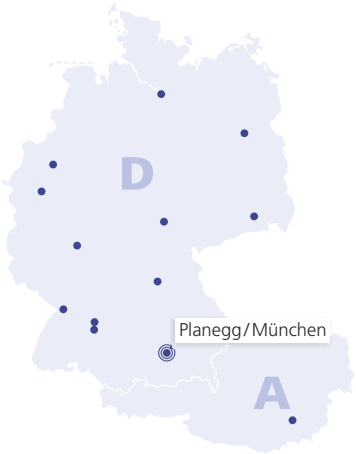
für Industrie, Infrastruktur und Gewerbe
Immissionsschutz Luft und Schall
Industrie- und Anlagenakustik
Lärmschutz für Infrastruktur und Gewerbe
Meteorologie – Klima
Umweltverträglichkeit

Messen und Prüfen

für Immissions- und Umweltschutz
Emissions-, Immissions-, Gefahrstoffmessungen
Funktionsprüfung und Kalibrierung
Laboranalytik
Olfaktometrie

Optimieren und Entwickeln

technische Kompetenz in Akustik und Strukturdynamik
Bahn- und Fahrzeugakustik
Baudynamik
Elektromagnetische Felder und Licht
Kalibrierlaboratorium für Beschleunigung und akustische Messgrößen
Produktprüfung
Schiffs- und Offshoreakustik
Schwingungen Bahn- und Fahrzeugakustik
Schwingungs- und Erschütterungsschutz
Strukturdynamik und Numerik
Verkehr – Technologie



Hauptsitz

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Helmut-A.-Müller-Straße 1–5
82152 Planegg/München
Telefon +49 89 85602-0
Telefax +49 89 85602-111

www.mbbm-ind.com

Umfassende Lösungen aus einer Hand

Beratung · Planung · Messung · Gutachten · Forschung

Die Müller-BBM Industry Solutions GmbH ist eine Tochtergesellschaft der Müller-BBM AG mit Hauptsitz in Planegg bei München. Seit 1962 berät Müller-BBM Kunden national und international und gehört heute zu den weltweit führenden Ingenieurbüros. Über 350 Mitarbeiter*innen bilden ein interdisziplinäres Team aus Naturwissenschaftler*innen und Ingenieur*innen der verschiedensten Fachrichtungen.
Das Unternehmen verfügt aktuell über 12 Standorte in Deutschland sowie ein Tochterunternehmen in Österreich.

Notifizierungen

Die Müller-BBM Industry Solutions GmbH ist gemäß § 29 b des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) als sachverständige Stelle bekannt gegeben.

Die Bekanntgabe umfasst
- die Ermittlung der Emissionen und Immissionen von Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen
- die Überprüfung des ordnungsgemäßen Einbaus und der Funktion sowie die Kalibrierung kontinuierlich arbeitender Emissionsmesseinrichtungen
- die Überprüfung von Verbrennungsbedingungen

Akkreditierungen

Unsere Prüf- und Kalibrierlaboratorien sind nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert:
- Prüflaboratorium für Schall und Schwingungen, elektromagnetische Felder und Licht, Immissionsschutz und Gefahrstoffe
- Kalibrierlaboratorium für Beschleunigung und akustische Messgrößen

Sachverständigentätigkeit

Die Müller-BBM Industry Solutions GmbH verfügt über eine Vielzahl von Mitarbeitenden mit personengebundenen Kompetenzbestätigungen. Dazu gehören öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige, staatlich anerkannte Sachverständige sowie anderweitig bestellte und bekanntgegebene Sachverständige.

Alle Informationen zu unseren Kompetenzbestätigungen finden Sie unter http://www.mbbm-ind.com/de/ueber-uns/qualitaet/.

© 02 | 2025

A MEMBER OF MBBM MÜLLER-BBM GROUP