

Schiffbauliche Anwendungen einer aktiven Lagerung

Rolf Schirmacher

Müller-BBM 82152 Planegg b. München, Deutschland, Email: RSchirmacher@MuellerBBM.de

Einleitung

Schiffe stellen große, schwach bedämpfte Strukturen mit einer Vielzahl sehr verschiedener Schallquellen auf engstem Raum dar. Gleichzeitig sind sie Lebens- und Aufenthaltsraum von Menschen und die Schallabstrahlung in die Umwelt soll möglichst minimal sein.

Höchste Anforderungen ergeben sich dabei nicht nur im Marineschiffbau (wie bei U-Booten), sondern beispielsweise auch bei Forschungs- und Passagierschiffen und besonders im Yachtbau. Während es bei Marine- und Forschungsschiffen mehr um die akustischen Eignung einer seegängigen Arbeitsplattform zur Erfüllung spezifischer Aufgaben geht, steht in der anderen Gruppe der Komfort der Passagiere im Vordergrund.

Klassische Ansätze zur Erfüllung der akustischen Anforderungen stellen unter anderem die Verwendung geräuscharmer Aggregate (Reduktion an der Quelle), die Schall- und Schwingungsisolierung in der Ausbreitung (beispielsweise elastische Maschinenlagerungen) und die Erhöhung der Dämpfung dar. Diese Maßnahmen stoßen jedoch bei aktuellen Anforderungen häufig an ihre Grenzen, besonders, wenn zusätzlich Bauraum-, Gewichts- und Kostenrestriktionen zu beachten sind. Somit stellen aktive Lagerungen eine willkommene Ergänzung der einsetzbaren akustischen Maßnahmen dar.

Das Konzept der aktiven Lagerung

Die Grundidee einer aktiven Lagerung besteht in der aktiv verminderten Anregung der Fundamentstruktur unter dem zu lagernden Aggregat. Dadurch wird der Körperschall in der Schiffsstruktur selbst und damit sowohl die Luft- als auch Wasserschallabstrahlung der Struktur gemindert.

Betrachtet man die praktische Umsetzung dieses Konzeptes, so ergeben sich für eine als Starrkörper modellierte Geräuschquelle 6 Freiheitsgrade. Allerdings ist eine solche Modellierung im relevanten Frequenzbereich oft nicht mehr zulässig. Bestenfalls ist eine Punkt-Modellierung für einzelne Lager zulässig, jedoch erreichen auch Lager- und Fundamentabmessungen mitunter die Größenordnung relevanter Wellenlängen.

In der Praxis besitzt jedes Aggregat typisch 4 bis 8 Lager, an denen zumindest die 3 translatorischen Freiheitsgrade zu berücksichtigen sind. Die Quellenanregung ist oft periodisch und es treten ausgeprägte Harmonische einer bekannten Grundfrequenz auf. Dies ergibt die für eine Realisierung notwendige Kanalzahl wie auch den Rechenleistungsbedarf. Bei praktischen Anwendungen ist darüber hinaus die sogenannte Nebenwegausbreitung, beispielsweise über angekoppelte Rohrleitungen oder den vom Aggregat abgestrahlten Luftschall, zu beachten. Diese ist häufig der limitierende Faktor für die erreichbaren Verbesserungen.

Anwendungsbeispiel Einzel-Aggregat

Betrachtet man ein schiffstypisches Einzel-Aggregat wie Pumpe, Verdichter oder Ventilator, so findet man meist eine rotierende Maschine mit einer Drehfrequenz von 1200 – 2400 1/min entsprechend 20 – 40 Hz und ausgeprägten höheren Harmonischen. Für akustisch hochwertige Aggregate ergeben sich bei dominierenden Einzeltönen meist Quellpegel bis 80 dB re $5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Zur Lagerung werden oft Elastomerfedern verwendet, wobei die Abstimmung auf eine Resonanzfrequenz im Bereich von 5 – 10 Hz erfolgt.

In der Praxis weisen Federn jedoch deutliche Abweichungen vom idealen Modellverhalten auf. Genannt seien beispielsweise die dynamische Versteifung, ausgeprägte Federeigenresonanzen und die ihnen zugrundeliegenden Wellenleiter-eigenschaften sowie die Richtungsabhängigkeit der Steife, einschließlich der nicht vernachlässigbaren Quersteife.

Als Fundamente stehen auf schiffbaulichen Strukturen meist Tragplatten mit Stegblechen auf Deckstrukturen zur Verfügung. Sie weisen bei tiefen Frequenzen steife-bestimmte Impedanzen auf, die dann in frequenz-unabhängige, plattenartige Impedanzen übergehen. Für gute, d.h. steife, Fundamente liegt diese Impedanz bei ca. 120 – 130 dB re 1 Ns/m, oftmals ist sie allerdings auch deutlich niedriger.

Damit ergibt die Abschätzung der benötigten dynamischen Kompensationskraft unterhalb der passiven Lagerung für dominante Harmonische meist einen Kraftbedarf von höchstens einigen 10 N je Fundament und Raumrichtung. Für solche Kräfte lassen sich elektrodynamische Aktoren in kompakter Bauweise aus Standard-Industriekomponenten verwenden; diese erreichen bis ca. 100 N dynamischer Kraft und benötigen dafür unter 50 W elektrischer Leistung.

Bei autonomen Systemen wie Schiffen spielt naturgemäß die Leistungsaufnahme für ein aktives System eine große Rolle. Ausgehend vom genannten maximalen Leistungsbedarf eines Aktors ergibt sich für ein Einzelaggregat mit 4 Lagerpunkten, also 12 Aktoren beim Einsatz schaltender Leistungsverstärker mit einem Wirkungsgrad von 80 % und einem vorgehaltenen Leistungsbedarf von bis zu 250 W für Signalkonditionierung und -verarbeitung eine System-Leistungsaufnahme von unter 1 kW.

Anwendungsbeispiel Plattform-Lagerung

Im Schiffbau spielen neben Einzelaggregaten auch Plattform-Konzepte eine wachsende Rolle. Dabei wird beispielsweise ein kompletter Maschinenraum auf einer Plattform außerhalb des Schiffskörpers aufgebaut und dieses Modul dann zu gegebener Zeit fertig in das entsprechende Rumpfsegment eingebaut. Abbildung 1 zeigt dies am Beispiel eines modernen U-Bootes.

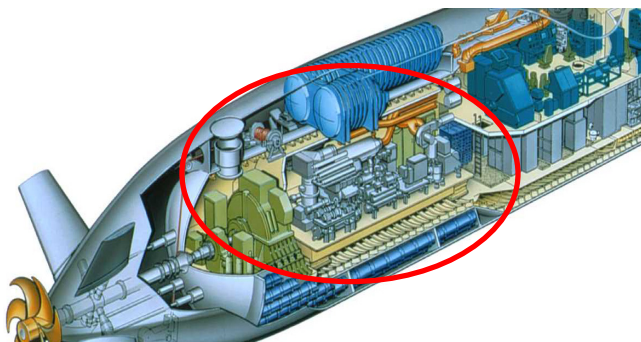


Abbildung 1: Modernes U-Boot (Ausschnitt) mit Maschinenraum als Plattform.

Die Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marine- waffen (WTD 71) verfügt beim Akustik-Zentrum (GF 340) über einen sogenannten Akustischen Prüfstand (APS), der eine Druckkörpersektion mit darin befindlicher Maschinen- raumplattform darstellt. Dabei handelt es sich um eine 60 t – Plattform, die auf 6 Federelementen gelagert ist und Ähnlichkeiten mit der gezeigten Plattform aufweist. An diesem APS wurde zu Demonstrations- und Erprobungs- zwecken eine aktive Lagerung aufgebaut. Besonderes Augenmerk war dabei auf die Einhaltung der marineschiff- baulichen Randbedingungen zu legen.

Das aufgebaute aktive Lagerungssystem verwendet 18 Aktorkanäle (triaxiale Aktoren an allen 6 Federpaketen) und 18 Fehlersensoren (beispielsweise triaxiale Beschleu- nigungsaufnehmer an den Federpaketen). Es wurden elektro- dynamische Aktoren verwendet, die maximal erreichbare Kompensationskraft liegt in den horizontalen Richtungen bei je über 80 N je Federpaket, in vertikaler Richtung bei über 150 N. Dabei wurden ausschließlich COTS-Komponenten verwendet. Zur Schwingungsminderung wurde eine drehzahlbezogene Signalverarbeitung für mehrere rotierende Quellen eingesetzt.

Abbildung 2 zeigt die mit diesem System erzielbare Pegelminderung für einen exemplarischen Fehlersignal- Messpunkt, Abbildung 3 stellt das über alle 6 Federpakete in jeweils alle 3 Raumrichtungen energetisch gemittelte Ergebnis dar. Beide zeigen die erreichte deutliche Pegelreduktion für die ausgewählten Quell-Harmonischen.

Ergänzend zeigt Abbildung 4, wiederum für den gemittelten Fall, die Schnellepegel mit und ohne aktives System für den Betrieb mit 2 Aggregaten, wobei hier die Harmonischen eines Aggregats die des anderen Aggregats kreuzen. Für Plattformlagerungen stellt diese hier dokumentierte Fähig- keit der aktiven Minderung mehrerer unabhängiger Aggre- gate eine entscheidende Voraussetzung der Einsetzbarkeit dar, da auf der Plattform eine Vielzahl von Quellen installiert sind. Diese Fähigkeit ermöglicht weiterhin eine erhebliche Aufwandsreduktion, da so bei Bedarf der Körper- schall mehrerer störender Aggregate mit einem System gemindert werden kann.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Akustikzentrum der WTD 71 für die hervorragende Zusammenarbeit und Unterstützung.

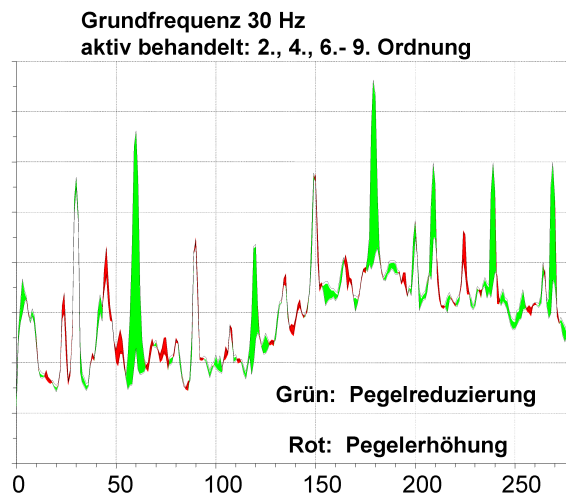


Abbildung 2: Aktive Lagerung einer Maschinenraumplatt- form: Ausgewählter Fußpunkt-Schnellepegel ohne und mit aktiver Funktion.

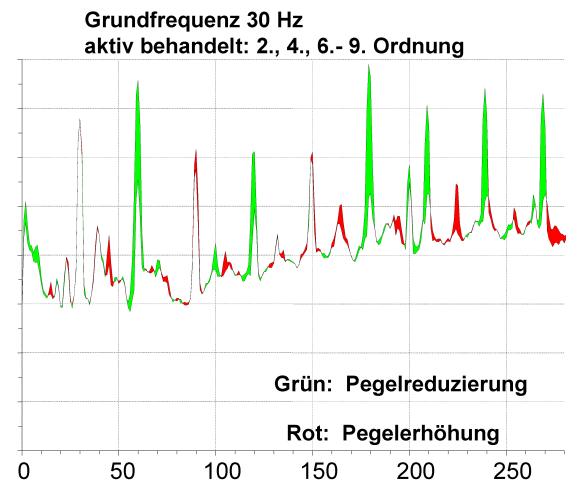


Abbildung 3: Aktive Lagerung einer Maschinenraumplatt- form: Energetisch gemittelter Schnellepegel aller 6 Fuß- punkte in 3 Raumrichtungen, ohne und mit aktiver Funktion (gleiche Messung wie Abbildung 2)

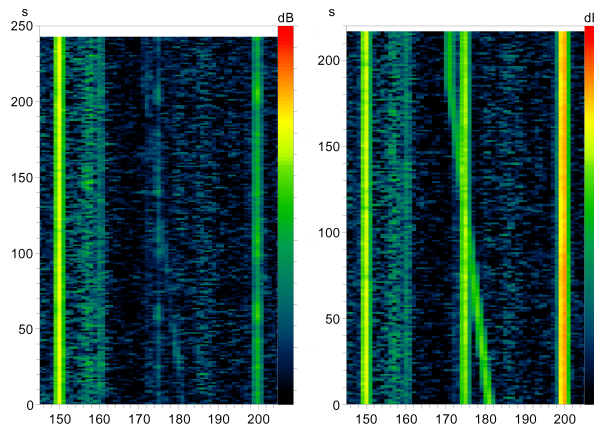


Abbildung 4: Gemittelte Fehlersensorpegel ohne (links) und mit (rechts) aktiver Lagerung einer Plattform mit zwei unabhängigen Quellen, stationär (Grundfrequenz 25 Hz, Harmonische bei 175 Hz und 200 Hz aktiv gemindert) und dynamisch eine Harmonische kreuzend.