

EQUIP - Konstruktions-Beratungssystem für die Entwicklung lärmarmen Produkte

Gummersbach, F.; Haje, D.

Für die Entwicklung lärmarmen Produkte benötigt der Konstrukteur einfachen Zugriff auf maschinenakustisches Wissen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes auf europäischer Ebene wird zu diesem Zweck ein wissensbasiertes Beratungssystem für die Entwicklung lärmarmen Produkte erstellt. Das Projekt "EQUIP" (Work Methodology for Development of Quiet Products) wird im Rahmen des BRITE-EURAM II-Programmes durchgeführt und durch die Generaldirektion XII der Kommission der Europäischen Union gefördert. Die Projektpartner sind TPD TNO (NL), BeSB GmbH (D), CETIM (F), IMW (D), Caterpillar Belgium S. A. (B), FAUN Umwelttechnik GmbH (D) und CIAT (F).

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick der im Rahmen des EQUIP-Projektes erarbeiteten Ergebnisse kurz vor Ende des Projektes (Dez. 1996).

To develop low-noise products, designers need easy access to acoustic knowledge. Under the European research project "EQUIP" a knowledge based consulting system for low-noise design is being developed. The "EQUIP" project (Work Methodology for Development of Quiet Products) is funded by the Commission of the European Union, DG XII, under the BRITE-EURAM II Programme. Partners are TPD TNO (NL), BeSB GmbH (D), CETIM (F), IMW (D), Caterpillar Belgium S. A. (B), FAUN Umwelttechnik GmbH (D), and CIAT (F).

This report gives a overview of some EQUIP results towards the end of the project (Dec. 1996).

1. Ziel der Systementwicklung

Bei der Entwicklung von Produkten muß der Konstrukteur ständig Entscheidungen mit dem Ziel treffen, die gegebenen Produkt-Anforderungen zu erfüllen. Dabei sind stets Kompromisse zwischen unterschiedlichen, teilweise konträren Gesichtspunkten zu finden. Maschinenakustische Aspekte bleiben dabei, wie die Praxis zeigt, oft unbeachtet, da der Konstrukteur keinen einfachen Zugriff auf das relativ komplexe maschinenakustische Wissen hat. Die Minimierung

der Geräuschentwicklung stellt in der Regel auch keine Hauptforderung dar, die eine hohe Aufmerksamkeit erfährt, sondern ist eine – wenngleich immer bedeutendere – Nebenforderung.

Dies hat zur Folge, daß eine mögliche Lärmproblematik erst in späten Phasen des Konstruktionsprozesses zutage tritt. Stellt sich beispielsweise in der Prototypenphase heraus, daß ein Produkt die maschinenakustischen Anforderungen von Seiten des Gesetzgebers oder des Marktes nicht erfüllt, so sind zeit- und kostenintensive Nachbesserungen nicht zu vermeiden. Oft sind dann nur noch Isolations- und Kapselungsmaßnahmen möglich, obwohl die Wahl einer anderen Funktionsweise oder auch nur die Auslegung auf einen anderen Betriebspunkt hin wesentlich effektivere und einfachere Maßnahmen zur Geräuschminderung darstellen können.

Das Ziel des Projektes EQUIP ist die Entwicklung eines Beratungssystems, das dem Konstrukteur in allen Phasen der Konstruktion auf einfache Weise maschinenakustisches Wissen zur Verfügung stellt, vgl. /1/. Hierzu werden die Vorgehensweise des Konstrukteurs sowie die benötigten maschinenakustischen Informationen detailliert beschrieben. Darüber hinaus wird das relevante maschinenakustische Wissen gesammelt, aufbereitet und so strukturiert, daß es dem Konstrukteur durch ein rechnergestütztes System bereitgestellt werden kann.

2. Systemanforderungen der Anwender

Zur Bestimmung der Systemanforderungen wurde 1992 eine Umfrage unter 27 europäischen Unternehmen durchgeführt, vgl. /2, 3/.

Desweiteren wurden die bei den einzelnen am Projekt beteiligten Industriepartnern durchlaufenen Konstruktionsprozesse zur Abstimmung des Beratungssystems auf deren Belange detailliert untersucht. Anhand der hier gewonnenen Ergebnisse wurde die dem Beratungssystem zugrundeliegende Methodik zur Konstruktion lärmarmen Produkte entwickelt, opti-

miert und bewertet. /2/

Das wissensbasierte System soll in weiten Bereichen anwendbar sein und dem Konstrukteur kontextorientierte Informationen liefern. Hierfür ist es erforderlich, daß es der Arbeitsweise des Konstrukteurs angepaßt ist und flexibel in seiner Anwendung ist. Weiterhin muß die bereitgestellte Information in Beziehung zu der gerade durchlaufenen Konstruktionsphase stehen. In der Konzeptphase müssen also erst allgemeine, tendenzielle Hinweise gegeben werden, die mit Fortschreiten des Konstruktionsprozesses immer detaillierter und exakter werden. /4/

3. Beschreibung der Konstruktionsmethodik

Die Methodik zur Entwicklung lärmarmen Maschinen wurde im Rahmen des Projektes mit Hilfe der SADT-Methode beschrieben. SADT steht für "Structured Analysis and Design Technique" und ist eine in der Software-Entwicklung weit verbreitete Beschreibungssprache für Arbeitsabläufe.

Die im Rahmen des Projektes entwickelte Konstruktionsmethodik läßt sich anhand von **Bild 1** zusammenfassend beschreiben. Das Bild beschreibt die

Konstruktion eines lärmarmen Produktes, ausgehend von der Konstruktionsaufgabe und gesteuert durch maschinenakustisches Wissen. Das Ergebnis der Konstruktionstätigkeit ist ein fertig entwickeltes lärmarmes Produkt, oder, falls die Konstruktionsaufgabe nicht lösbar ist (z.B. wegen zu starker Einschränkungen), eine Liste von Vorschlägen zur Modifikation der Konstruktionsaufgabe.

Die Methodik umfaßt fünf Hauptaktivitäten, und zwar die Klärung der Produkthanforderungen (A1), die Erarbeitung eines Produktkonzepts (A2), die Beschreibung des akustischen Verhaltens des Produktes (A3), die Analyse des akustischen Verhaltens (A4) sowie die Produktoptimierung (A5).

Die Klärung der Aufgabenstellung beinhaltet die Auswahl anzuwendender Dokumente (Gesetze, Vorschriften, Normen, Richtlinien usw.) und die Bestimmung der maschinenakustischen Produkthanforderungen. Sie erfolgt unter Berücksichtigung der Art des Produktes (z.B. Fahrzeug, Baumaschine) und des angestrebten Marktes.

Die Erarbeitung eines Produktkonzepts basiert auf maschinenakustischen Konstruktionsregeln, einfa-

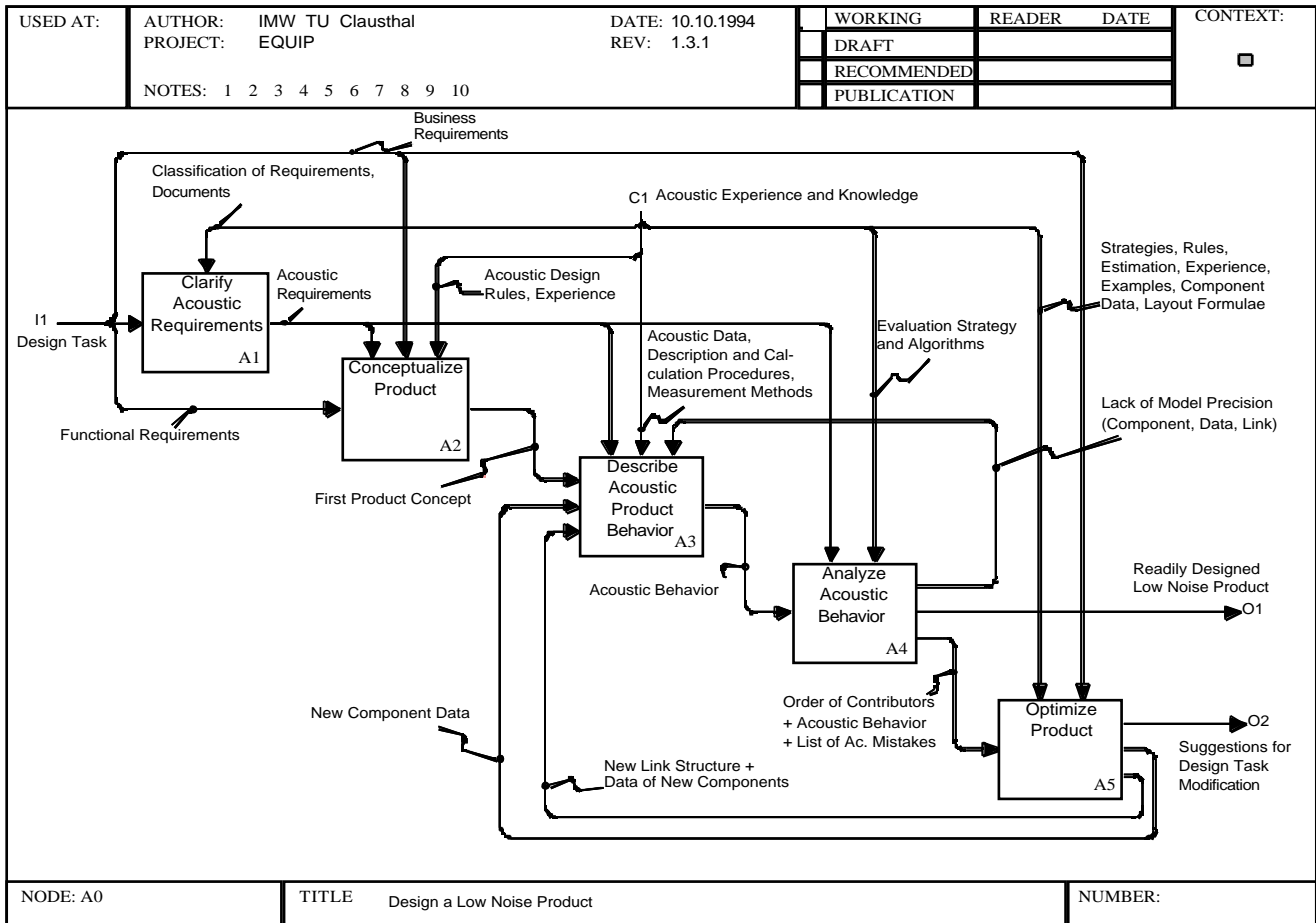


Bild 1 Methodik zur Konstruktion lärmarmen Produkte /4/

chen Formeln und grundlegenden Zusammenhängen. Hier bietet das System dem Konstrukteur Hilfe bei der Entwicklung eines ersten Produktkonzeptes, welches in den folgenden Aktivitäten detailliert und gegebenenfalls optimiert wird.

Zur Beschreibung des akustischen Produktverhaltens wird ein maschinenakustisches Modell (Noise Path Model) des Produktes erstellt, das sowohl die Schallerzeugung als auch die Weiterleitung und die Abstrahlung des Schalls abbildet. Zur Modellerstellung ist die Konzentration auf die wichtigsten Quellen ausreichend. Das Geräuschverhalten der einzelnen akustisch relevanten Komponenten kann mit Fortschreiten des Konstruktionsprozesses immer genauer beschrieben werden. Damit steigen auch Aussagekraft und Zuverlässigkeit des maschinenakustischen Modells.

Während der Analyse des akustischen Verhaltens wird das zuvor erstellte Modell ausgewertet. Erfüllt das Produkt die maschinenakustischen Anforderungen, so ist das Produkt in akustischer Hinsicht fertig konstruiert. Andernfalls wird das Modell in Hinblick auf die wichtigsten Schallquellen und mögliche maschinenakustische Konstruktionsfehler geprüft.

Bei der Produktoptimierung werden schließlich mögliche Schallminderungsmaßnahmen vom System vorgeschlagen, aus denen der Konstrukteur unter Abwägung aller Gegebenheiten (z. B. Kosten, konstruktive Randbedingungen) geeignete Maßnahmen auswählen kann. Nach der Durchführung der Optimierungsschritte wird das akustische Verhalten des geänderten Produktes beschrieben, so daß der Analyse- und Optimierungsvorgang erneut durchlaufen werden kann. /4/

4. Informationsmodellierung

Die im SADT-Modell beschriebene Konstruktionsmethodik benötigt während der Ausführung der Aktivitäten maschinenakustische Informationen. Für diese Informationen wurde ein Informationsmodell erstellt, in dem Daten so abgelegt werden können, daß sie semantisch eindeutig, formal und objektorientiert beschrieben sind. Somit ist ein schneller und eindeutiger Zugriff auf die benötigten Daten gewährleistet.

Verwendet wurde die Beschreibungssprache EXPRESS (entwickelt für den Produktdatenaustausch im Rahmen von STEP, beschrieben in der internatio-

nen Norm ISO 10303-11).

Das Informationsmodell beinhaltet alle maschinenakustisch relevanten Komponenten und Schallentstehungsmechanismen, maschinenakustische Produktanforderungen mit den dazugehörigen Dokumenten, maschinenakustische Konstruktionsregeln usw.

Die alleinige Betrachtung der Komponenten ist oft für die Beschreibung der Schallentstehung nicht ausreichend; in vielen Fällen muß zur eingehenden Klärung der Schallsituation auch eine Betrachtung der Schallentstehungsmechanismen vorgenommen werden. Unter einem Schallentstehungsmechanismus ist das physikalische Prinzip der Schallentstehung innerhalb einer Maschine oder einer Struktur zu verstehen. Für den Konstrukteur ist die Bereitstellung von Informationen darüber, welche Schallentstehungsmechanismen für seine Konstruktion wichtig sind und in welcher Komponente diese auftreten, ausgesprochen nützlich.

Die Schallentstehungsmechanismen können in Körperschallquellen und in Fluidschallquellen (Flüssigkeit und Gas) untergliedert werden. /5/ Im Rahmen des EQUIP-Projekts wurden 12 grundlegende Körperschallquellen und 16 grundlegende Fluidschallquellen, die für das Gebiet der Maschinenakustik relevant sind, ausführlich beschrieben.

Somit hat der Konstrukteur die Möglichkeit, seine Maschine oder Anlage aus Komponenten und Schallentstehungsmechanismen aufzubauen. Ferner kann so jede Komponente in ihre einzelnen Mechanismen zerlegt werden, welches wiederum eine genauere Vorhersage über die Art des Geräusches (Spektrum) und somit eine exaktere Berechnung des akustischen Produktverhaltens ermöglicht. /4/

5 Softwaretechnische Realisierung

Die softwaretechnische Realisierung vollzog sich projektbegleitend mittels einfacher Prototypen, um durch die direkte Umsetzung der Projektergebnisse deren Anwendbarkeit der zu überprüfen.

Im Rahmen der Konstruktionsmethodik wurde auch eine Vorgehensweise entwickelt, mit der der Konstrukteur seine maschinenakustische Problemstellung auf dem Rechner abbilden und auf weitere maschinenakustische Informationen gezielt zugreifen kann. Hierfür wurden softwaretechnische Module erstellt, die den Konstrukteur im Rahmen der unter Kapi-

tel 3 beschriebenen Konstruktionsmethodik unterstützen.

5.1 Der EQUIP-Modeller

Der Modeller stellt das zentrale Werkzeug dar, mit dem alle notwendigen Module zur Informations-Ein- und -Ausgabe aufgerufen werden können und ein maschinenakustisches Modell erstellt wird.

Um eine Konstruktion maschinenakustisch beurteilen zu können ist eine Abbildung des Konstruktionsobjektes auf dem Rechner notwendig, die eine Interpretation durch den Rechner erlaubt. Hierfür wird eine Modellierungsmethode benötigt, die für den Konstrukteur leicht verständlich anzuwenden ist und gleichzeitig durch den Rechner weiter verarbeitet werden kann. Die im Projekt verwendete Methode unterstützt sowohl die Denkweise des Konstrukteurs, die Berücksichtigung der physikalischen Schallentstehungskette (mit Quelle, Übertragung und Abstrahlung), sowie den Zugriff auf qualitative maschinenakustische und systemspezifische Informationen und Auswertungen in quantitativer Hinsicht.

5.2 Schallflußmodell

Die unter Kap. 5.1 gestellten Anforderungen sind durch die Verwendung eines graphisch orientierten Schallflußmodells zu erfüllen. Die graphische Benutzerschnittstelle benutzt der Konstrukteur um seine Konstruktion, im akustischen Sinn, mittels bestimmter Funktionsträger zu erstellen. Der Modeller benutzt die semantischen Beziehungen des Modells für einen eindeutigen Zugriff auf die Informationen der verwendeten Funktionsträger. Das Schallflußmodell ermöglicht somit einen Zugriff auf qualitative und quantitative Informationen (Wissen).

Quantitative Informationen werden hier als Daten und einer Berechnung zugängliche Teile des Schallflußmodells verstanden. Hierfür ist eine exakte Definition der direkten und indirekt bezogenen Formeln und Daten für jeden Funktionsträger notwendig. Durch die Definition der Verbindungen zwischen zwei Funktionsträgern werden die Eingangs- und Ausgangsinformationen automatisch festgelegt. Dies setzt voraus, daß Formeln und ihre übertragenen Attribute für die Berechnung der Schallübertragung und Abstrahlung definiert wurden.

Der Zugriff auf qualitative Informationen wird mittels der platzierten Funktionsträger des Schallflußmodells

realisiert. Somit ist ein Zugriff auf Konstruktionsregeln, Hinweise, leisere alternative Komponenten und Maßnahmen zur Lärmreduzierung möglich.

Für die akustische Modellierung des Konstruktionsobjektes stehen dem Benutzer "Funktionsträger" zur Verfügung, mit denen er das Schallflußmodell erstellen kann. Als Konsequenz daraus hat jedes graphische Element, das durch den Modeller repräsentiert wird, eine ganz bestimmte Funktionalität für den Modeller und dem Benutzer.

Als Funktionsträger fungieren Komponenten, Schallentstehungsmechanismen und Empfänger deren Eigenschaften mittels eines Informationsmodells beschrieben wurden (siehe Kap. 4).

Über die graphische Benutzerschnittstelle wird neben der reinen graphischen Repräsentation auch eine funktionale Beziehung zwischen den verwendeten Funktionsträgern (Komponenten, Schallentstehungsmechanismen und Empfänger) spezifiziert, **Bild 2** und **Bild 6**. Dazu werden zum Anfang die schallrelevanten Komponenten und Schallentstehungsmechanismen ausgewählt und auf der Benutzeroberfläche platziert. Als Hilfestellung kann hier ein im Hintergrund gelegtes Bild dienen. Im nächsten Schritt werden die Beziehungen zwischen den einzelnen Funktionsträgern mittels einer Verbindungsstruktur hergestellt.

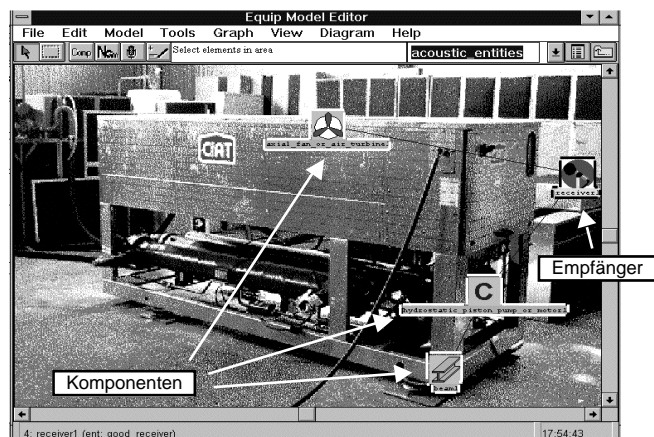


Bild 2 Erstellung eines Schallflußmodells

Die Aufstellung des Schallflußmodells erfolgt komponentenorientiert, welches der Sichtweise des Konstrukteurs entspricht und somit eine abstrahierte Darstellung seines Konstruktionsobjektes repräsentiert. Es enthält zunächst keine quantitativen maschinenakustischen Angaben. Die weitere Spezifizierung des maschinenakustischen Modells erfolgt über die weite-

re Angabe der funktionsträgerbezogenen Kenngrößen. Für nachfolgende Berechnungen können die notwendigen Daten über entsprechende Editoren eingegeben oder aus Datenbanken übernommen werden.

5.3 Zugriff auf qualitative Informationen

Für die Erstellung eines akustisch verbesserten Produkts werden neben Berechnungsprogrammen auch qualitative Informationen benötigt. Der Zugriff auf diese erfolgt über eine implementierte Hilfsfunktionalität, mit der der Konstrukteur kontextsensitiv die geforderten Informationen abrufen kann. Hierüber erhält der Benutzer Zugriff auf qualitative maschinenakustische Informationen wie Maßnahmen zur Lärmreduzierung, Konstruktionsregeln zu bestimmten Komponenten, **Bild 3**, Schallentstehungsmechanismen, **Bild 4**, und systemspezifische Informationen wie Erläuterungen zur Software und akustischen Bezeichnungen. Gerade die qualitativen maschinenakustischen Informationen geben dem im Bereich der Maschinenakustik unerfahrenen Konstrukteur die Möglichkeit sich sukzessiv in das Problemgebiet einzuarbeiten.

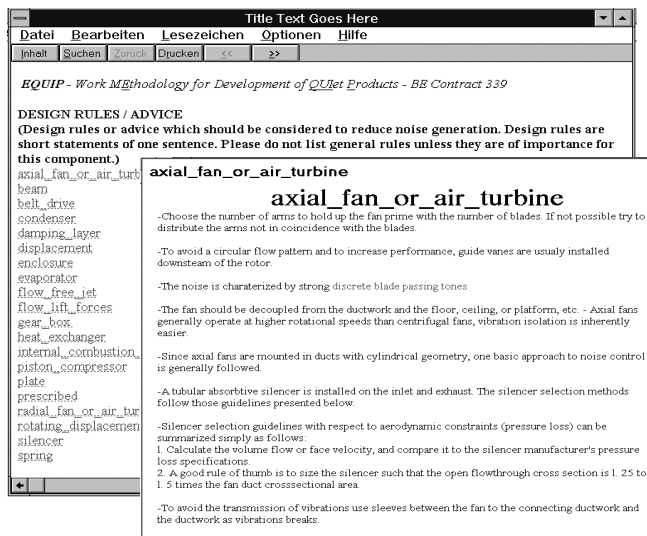


Bild 3 Konstruktionsregeln für den Axialventilator

5.4 Berechnungsfunktionalität

Das durch den Konstrukteur aufgebaute Schallflußmodell enthält durch die Angabe der Verbindungsstruktur auch eine funktionale Beziehung zwischen den Funktionsträgern, so daß nach der Eingabe aller notwendigen Daten ein Berechnungsmodell abgeleitet werden kann. Dieses wird durch ein Programm-Modul berechnet, und die Ergebnisse über Schnittstellen wieder an den EQUIP-Modeller übergeben.

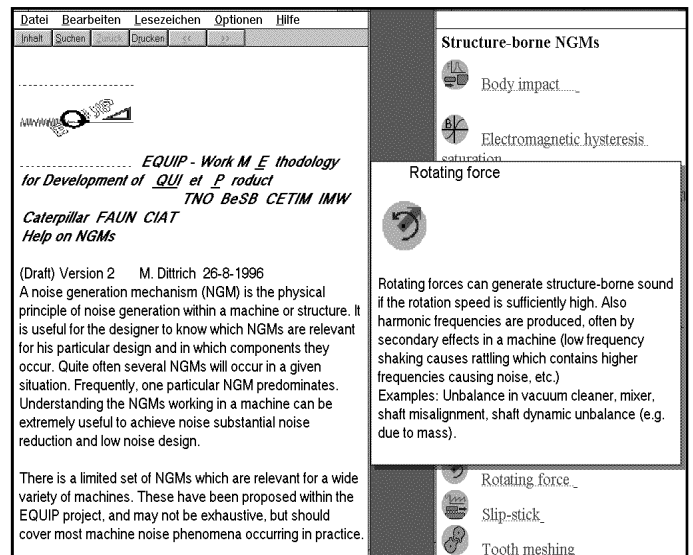


Bild 4 Erläuterungen zu den Schallentstehungsmechanismen

Die Ergebnisse können dann über den Modeller in einer geeigneten Form dargestellt werden. Eine Übersicht über die implementierten Berechnungsmöglichkeiten kann ebenfalls über die zur Verfügung gestellte Hilfsfunktionalität erhalten werden, **Bild 5**.

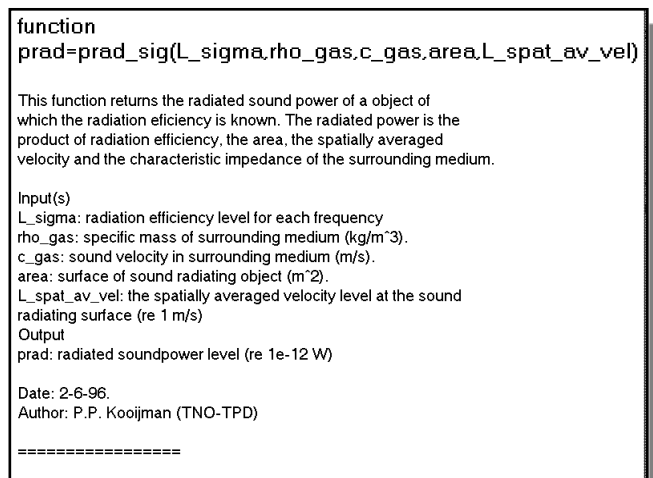


Bild 5 Auflistung und Erläuterung der implementierten Berechnungsfunktionen

5.5 Berechnungsbeispiel

Bild 6 zeigt ein berechnetes Schallflußmodell mit Schallentstehungsmechanismen, Komponenten und einem Empfänger. Berechnet wurde der gesamte A-bewertete Schalleistungspegel an der Empfängerposition. Die Berechnung basiert auf den Schalleistungsspektren der Hydraulikpumpe, des Schalldämpfers und der Kapsel.

Zum besseren Überblick zeigt das linke Diagramm (Figure No. 3) die Einzelspektren der im Schallfluß vor dem Empfänger stehenden Komponenten. Das Bal-

kendiagramm (rechts unten) gibt den A-bewerteten Gesamtpegel aller und der einzelnen Komponenten an. Mittels dieses "Level ranking" erhält man auf einfacher Weise die Möglichkeit, die Komponenten zu ermitteln, die wesentlichen Einfluß auf den gesamten Schalleistungspegel haben.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Artikel kann nur einen begrenzten Überblick über die Leistungsfähigkeit des im Rahmen des EQUIP-Projektes entwickelten Konstruktionsberatungssystems geben, zudem erarbeitete Projektergebnisse noch laufend in das System implementiert werden und damit die Leistungsfähigkeit erweitern.

Durch die Bereitstellung von aufgearbeitetem qualitativen und quantitativen maschinenakustischen Wissen erhält der Konstrukteur ein Werkzeug, mit dem er sein Konstruktionsobjekt in maschinenakustischer Hinsicht verbessern und optimieren kann. Gleichzeitig hat der maschinenakustisch unerfahrene Benutzer die Möglichkeit, über die implementierten Hilfsfunktionen sein akustisches Wissen zu erweitern.

Im Rahmen des kurz vor dem Abschluß stehenden EQUIP-Projektes wurde ein Konstruktions-Beratungssystem für die industrielle Nutzung entwickelt.

Das System wurde für die Unterstützung auch solcher Konstrukteure entwickelt, die kein maschinenakustisches Expertenwissen besitzen. Das System ist flexibel erweiterbar und kann auf branchen- und firmenspezifische Belange angepaßt werden.

Am entwickelten System werden nach Projektende von einigen Projektpartnern noch einige abschließende Arbeiten durchgeführt. Es soll mittelfristig kommerziell verfügbar werden.

Literatur

/1/ Dietz, P.; Engel, K.; Haje, D.: Institutsmitteilung Nr. 17, IMW Clausthal 1992

/2/ Dietz, P.; Haje, D.; Gummersbach, F.: Institutsmitteilung Nr. 18, IMW Clausthal 1993

/3/ Haje, D.; Gummersbach, F.; Schmidt, A.: Inquiry Results about Low Noise Design Clausthal, März 94, unveröffentlicht

/4/ Dietz, P.; Haje, D.; Gummersbach, F.: Institutsmitteilung Nr. 19, IMW Clausthal 1994

/5/ Dittrich, M.: Brief Description of EQUIP Noise Generation Mechanisms, EQUIP internal document TNO-TPD Delft, August 1996

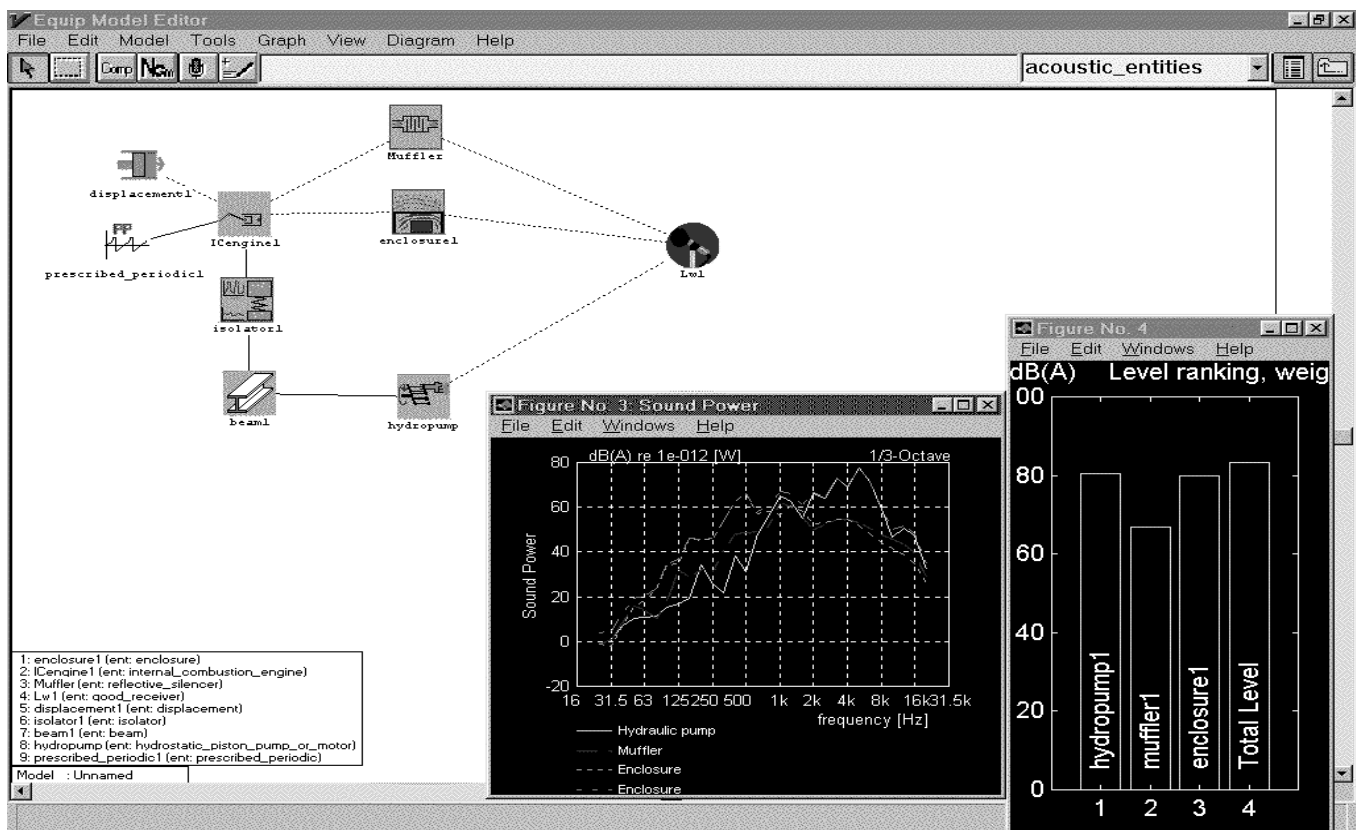


Bild 6 Beispiel eines berechneten Schallflußmodells