

Entwicklung lärmarmer Produkte – Rechnergestützte Beratungshilfen für den Konstrukteur

Dietz, P.; Haje, D.

Die maschinenakustischen Eigenschaften eines Produkts werden weitgehend in der Konstruktion festgelegt, Konstrukteure besitzen aber im allgemeinen keine Ausbildung als Akustiker. Der Beitrag stellt eine rechnergestützte Methode zur Beurteilung und Beeinflussung des akustischen Verhaltens von Maschinenbaustrukturen dar, das auf dem Modell der Schallflußkette aufbaut und mit Konstruktionsregeln nach der Systematik der ISO/TR 11 688 den Konstrukteur während der frühen Phasen der Produktentwicklung unterstützt.

The acoustic behaviour of technical products has to be defined in the design stage, although designers mostly have no education as acousticians. In this contribution a computer aided method is described how to analyse and influence the acoustic characteristics of machine structures. This method bases on the concept of the „sound flowchart“ of structures, contents design rules after ISO/TR 11 688 and supports the designer in the early stages of the design process.

1 Einführung

Durch zunehmende Verschärfung maschinenakustischer Produkthanforderungen aus gesetzlichen Vorschriften oder Wettbewerb sehen sich viele Unternehmen bei der Produktentwicklung mit der Problematik der Lärminderung konfrontiert. Das akustische Verhalten wird, wie eine Vielzahl anderer Eigenschaften auch, in der Entwicklungsphase des Produktes festgelegt, die Entscheidungen der Konstrukteure zu Wirkprinzipien, Gestaltung und Werkstoffen sind damit auch entscheidend für die Lärmentwicklung des Produkts. Die daraus abzuleitende Forderung nach einer maschinenakustisch kompetenten Begleitung des Konstruktionsprozesses führt aber auf zwei entscheidende Schwierigkeiten

- Die Forderung nach Lärmarmut stellt nur eine der vielen, oft als Restriktionen bezeichneten Nebenforderungen dar und besitzt oft eine gegenüber anderen Kriterien wie Funktionssi-

cherheit, Ergonomie, Kosten usw. niedrigere Priorität.

- Wenn man den Energieumsatz der Lärmentwicklung mit dem Energieumsatz der Maschine vergleicht, so kommt man auf Verhältnisse von 10^{-4} bis 10^{-7} („Akustischer Wirkungsgrad“). Das heißt, daß der in Energieflüssen und Energiewirkungsgraden denkende Ingenieur die Auswirkung konstruktiver Maßnahmen auf die maschinenakustischen Eigenschaften praktisch nicht abschätzen kann. Zudem ist die Lärmentwicklung von vielen kaum beeinflussbaren Erscheinungen wie Werkstoffdämpfung oder Fügestellendämpfung bei verschieden stark angezogenen Schrauben oder unterschiedlich hergestellten Oberflächen, von Spalten infolge Fertigungsabweichungen oder Verschleiß usw. abhängig, die auch durch Zufälligkeiten bei Fertigung, Montage und Handhabung bestimmt sind und einem Konstruktionsmerkmal nicht zugeordnet werden können.
- Konstrukteure sind in der Regel im Bereich der Maschinenakustik unzulänglich ausgebildet. Die Akustik ist ein Fachgebiet der Physik, das sich bezüglich ihrer relevanten Wissensbereiche und des methodischen Vorgehens stark von den Inhalten der Ingenieurausbildung unterscheidet. Konstrukteure besitzen nach einer europaweiten Umfrage /1/ allenfalls akustisches Grundwissen, **Bild 1**.

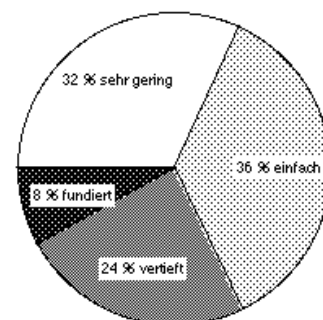


Bild 1. Maschinenakustischer Wissensstand von Konstrukteuren. Ergebnis einer europaweiten Befragung 1993 /1/

Die Konsequenz dieses Mangels einer genügenden Berücksichtigung maschinen-akustischer Erkenntnisse bei der Entwicklung von Produkten sind oft schalltechnisch unausgereifte Prototypen, an denen meist mit großem Aufwand sekundäre Maßnahmen in Form von kostenintensiven Kapselungen oder den Einsatz zusätzlicher Dämpfer nachträglich vorgenommen werden. Kostengünstigere Primärmaßnahmen, die an der Schallentstehung ansetzen, sind in dieser Phase kaum mehr möglich, da sie tiefgreifende Änderungen der bereits auskonstruierten Struktur bedeuten würden.

Gegenstand einer Reihe von Forschungsprojekten ist die Verbindung der beiden Fachgebiete Konstruktion und Akustik mit der Erarbeitung von Methoden zur Konstruktion lärmarmen Produkte. Ziel einer solchen methodischen Vorgehensweise bedeutet damit auch, den konstruktionsrelevanten Teil maschinenakustischen Wissens in eine für Konstrukteure verständliche Form aufzubereiten und einen kontextorientierten Zugriff zu gewährleisten /2,3/.

2 Konstruktionsmethodik und Maschinenaustik

Bild 2 zeigt die mögliche Einflußnahme maschinenakustischen Wissens auf den allgemeinen Konstruktionsprozeß nach /4/. Während die Klärung der Aufgabenstellung durch Anforderungen aus gesetzlichen Regelwerken, Wettbewerbsvergleichen usw. unterstützt werden kann, erfolgt in der Phase der Konzeption meist eine Konzentration auf die Hauptfunktionen – maschinenakustische Aspekte dienen hier meist nur als Bewertungskriterien bei überwiegend unscharfen Informationen. Erst die relativ hohe Informationsdichte zu Einzelheiten der Konstruktion in der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase führt zu kompetenten Aussagen zur Lärmentwicklung, zu Vergleichsrechnungen oder zu Messungen an Modellen. In vielen Fällen können Informationen zu den Geräuschquellen und Übertragungswegen erst aus Messungen am Prototyp gewonnen werden.

Unter den Informationsmitteln für den liefern Normen, Richtlinien und Zulieferinformationen meist Aussagen zu Anforderungen und Teilaspekten, die meisten Konstruktionsregeln, Beispiele, Ähnlichkeitsgesetze oder Schätzformeln stellen aber Informationen dar, deren Inhalt oft allgemein gehalten ist und zu einer verlässlichen Aussage detaillierte Kenntnisse der zu entwickelnden Produktstruktur

und Arbeitsweisen benötigen. Von besonderer Bedeutung ist, daß der Konstrukteur – ausgehend von Strukturen oder Wirkprinzipien zu den Hauptfunktionen seines Entwurfs – die dem Konstruktionsstadium entsprechende relevante maschinenakustische Information erhält. Grundsätzlich gilt, daß – obwohl das akustische Verhalten des Produktes während der Konstruktion am nachhaltigsten beeinflusst werden kann – die Informationen meist aus Erfahrungen stammen, die nur aus den der Konstruktion nachgelagerten Lebensphasen des Produktes gewonnen werden können.

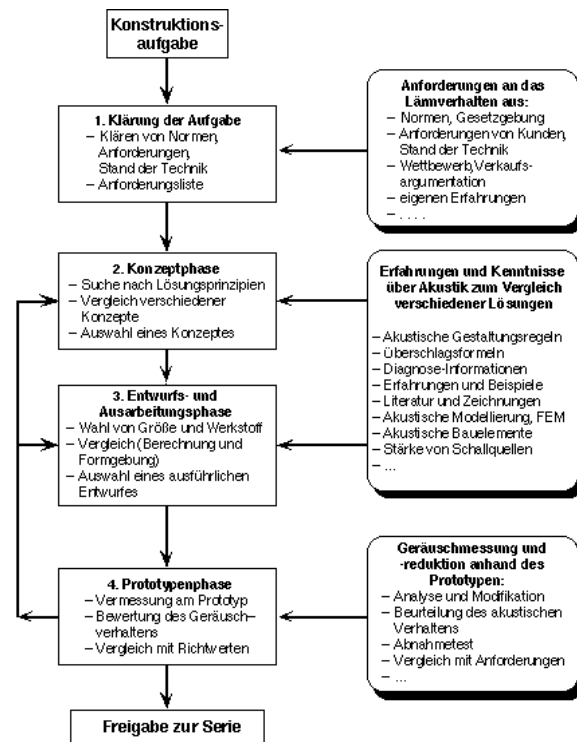


Bild 2. Verknüpfung maschinenakustischen Wissens mit der allgemeinen Konstruktionsmethodik nach /3/

3 Schallentstehungskette und akustische Modellierung

Zur Detektierung und Beeinflussung von Geräuschen in Produktstrukturen – seien sie nun bereits vorhanden oder nur gedanklich im Produktmodell während der Entwicklung angedacht – dient nach /5/ das Vorgehen der Schallentstehungskette, die den „Weg“ des Schalls von der Erzeugung bis zur Abstrahlung an der Oberfläche beschreibt und der Gedankenwelt des Konstrukteurs näher kommt als die theoretischen Ableitungen der Akustik. Die Vorstellung der Schallentstehungskette erlaubt die Zuordnung von Geräuschmechanismen zu Maschinenstrukturen (**Bild 3**) und eröffnet damit die Mög-

lichkeiten einer gezielten Beeinflussung des Maschinengeräuschs durch konstruktive Maßnahmen an den Strukturen. Zu beachten ist allerdings, daß die hier zugrundeliegenden vereinfachten Betrachtungen nur qualitative Aussagen erlauben und die frequenzabhängigen Betrachtungsweisen nicht ersetzen können:

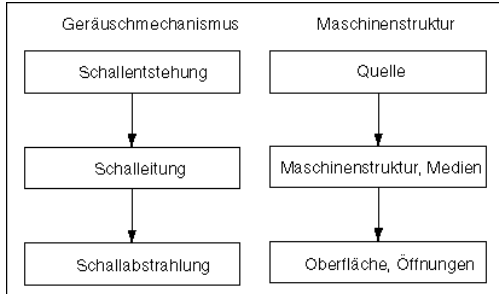


Bild 3. Zuordnung von Geräuschmechanismen zu Maschinenstrukturen nach der Schallentstehungskette

Schallentstehung: Zeitlich veränderliche Betriebskräfte wirken auf eine Maschinenstruktur oder einen Arbeitsort ein. Die Größe der erzeugten Schallenergie ist abhängig von Frequenzen, Zeitverlauf, Kraftgrößen, Geschwindigkeiten usw. Ort der Anregung und Mechanismus können in der Maschinenstruktur liegen (Körperschallquelle) oder in einem in der Maschine befindlichen Arbeitsort (z.B. Luftschall, Flüssigkeitsschall).

Schallübertragung: Durch die zeitlich veränderlichen Betriebskräfte wird die Struktur zur Weiterleitung der Signale und zu Eigenschwingungen angeregt. Parameter einer Schallübertragung sind Frequenzanteile, Elastizität, Masse, Dichte, Dämpfung und Steifigkeit der Struktur. Dabei kann eine Wandlung der Schallarten (z.B. Flüssigkeitsschall in Körperschall) eintreten.

Abstrahlung: Körperschall kann von den Oberflächen an die Umgebung abgestrahlt werden, Luftschall wird durch Öffnungen abgestrahlt. Die Größe der abgestrahlten Schalleistung ist von den Frequenzanteilen, der Geometrie, der Schwingung der abstrahlenden Oberflächen usw. abhängig.

Entsprechend dieser Vorstellung wird zur Analyse der Schallsituation folgende Vorgehensweise empfohlen:

- Zunächst sind die hauptsächlichen Schallquellen einer Konstruktion zu definieren.
- Diese Schallquellen sind auf die möglichen Geräuschemechanismen zu untersuchen.

- Danach ist die Geräuschübertragung innerhalb der Maschinenstruktur und bis zum Empfänger zu analysieren
- Im letzten Schritt wird die Geräuschabstrahlung an der Maschinenoberfläche untersucht.

Die Reduktion der Maschinenstruktur auf eine physikalisch beschreibbare Geräuschemechanismenstruktur gestattet eine Analyse der Geräuschemechanismen, wie sie in **Bild 4** gezeigt wird. Das Bild enthält eine vollständige Übersicht über die physikalischen Geräuschemechanismen-, -fortleitungs- und -abstrahlmechanismen. Ausgehend von einer solchen physikalischen Beschreibung können auch Maßnahmen oder Berechnungen zur Schallentwicklung abgeleitet werden, die anschließend wieder konstruktiv umgesetzt werden müssen.

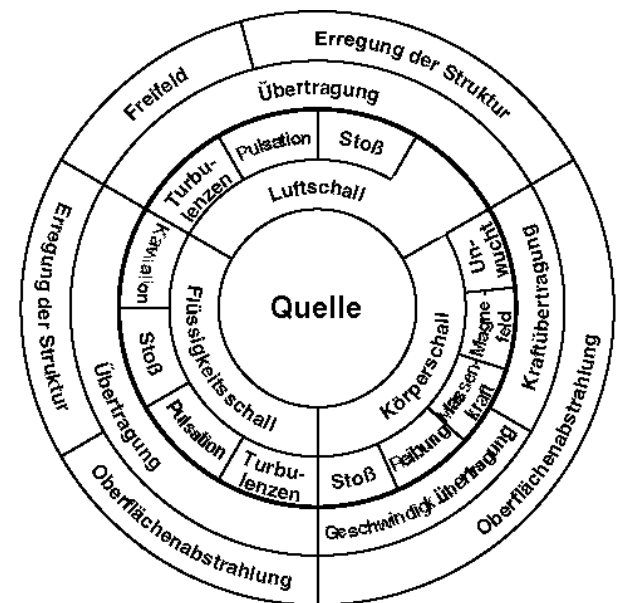


Bild 4. Grundmodell der Geräuschemechanismen in Maschinen nach /3/

Um eine Maschine mit unterschiedlichen Quellen und Übertragungswegen zu beschreiben, ist die Untersuchung des gesamten Schallwegs durch Aufstellung eines Schallflußmodells notwendig. Die Grundlagen und die Vorgehensweise hierzu seien an einem Beispiel erläutert, dabei sei von der Analyse einer auskonstruierten Baugruppe ausgegangen:

Der in **Bild 5** gezeigte Kältemittelkompressor für Haushaltskühlschränke wird zunächst anhand seiner Stückliste nach maschinenakustisch relevanten Baugruppen untersucht (**Tabelle 1**), dabei werden mögliche Schallquellen (aktive Komponenten) und Schallübertragungsstrukturen (passive Komponenten) definiert. Danach erfolgt eine Suche nach

Aktiv	Passiv
Kompressor	Rohre
Elektromotor	Federn
	Gehäuse

Tabelle 1. Aktive und passive Elemente des Kältemittelkompressors

möglichen Schallentstehungsmechanismen in den aktiven Komponenten, d.h. die Rückführung auf maschinenakustische Grundlagen gemäß **Bild 4**. Ergebnis ist eine tabellarische Übersicht (**Tabelle 2**), die Quellen, Übertragungswege und Abstrahlorte – getrennt nach Luft-, Flüssigkeits- und Körperschall – enthält und die Ausgangspunkt für ein Schallflußmodell ist, das neben den Elementen auch die Verknüpfungen enthält (**Bild 6**) /6/.

Die in **Bild 6** gewählte Darstellungsart in der Beschreibungssprache EXPRESS-G /7/ deutet bereits darauf hin, daß man die von den Komponenten (Stücklistenpositionen) und ihren Verknüpfungen ausgehende Suche nach Geräuschmechanismen

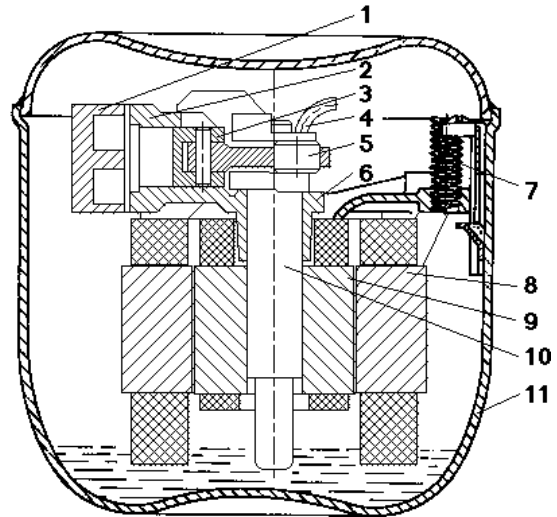


Bild 5. Beispiel für Schallflußmodell: Kältekompressor. 1 Zylinderkopf; 2 Zylinder; 3 Kolben; 4 Schmiereinrichtung; 5 Pleuellager; 6 Pleuellager; 7 Federn; 8 Stator Elektromotor; 9 Rotor Elektromotor; 10 Welle; 11 Gehäuse.

	Komponente	Bauteil / Baugruppe / Konstrukti-	Schallquelle	L	K	F
Quelle	Kompressor	Verdichtungs-einheit	Pulsation	X	X	
		Kurbeltrieb	Massenkräfte		X	
		Ventil	Stoß		x	
		strömungführende Bauteile	Turbulente Strömung	x		
	Elektromotor	Rotor / Stator	Elektromagn. Anziehung		x	
		Stator	Magnetostriktion		x	
		Rotor	Unwucht		x	
		Gleitlager	Festkörperreibung		x	
		Schmiermittel	Gehäuse	Tropfen		x
	Ölvorrat	Tropfen			x	
Übertragung	Komponente		Pfad	L	K	F
	E-Motor / Komp.	feststehende Bauteile	Innere Struktur	x	x	
		Kurbelwelle / Rotor	Welle	x	x	
		Armaturen	Rohranschlüsse		x	
		Kühlmittel	Medium	x		
		Schalldämpfer	Schalldämpfer	x	x	
		Rohr	Rohr		x	
		Rohr	Medium	x		
	Schwingungsisolierung	Federn	Befestigungsstellen		x	
	Gehäuse		Befestigungsstellen innen		x	
			Medium innen		x	
			Befestigungsstellen			x
			Rohranschlüsse innen			x
		Rohranschlüsse außen			x	
	Ölvorrat				x	
Abstrahlung	Komponente		Oberfläche	L		
	Kältemittelkompressor	Gehäuse	Gehäuseoberfläche	x		

Tabelle 2. Möglicherweise schallrelevante Komponenten des Kältemittelkompressors. L Luftschall; K Körperschall; F Flüssigkeitsschall

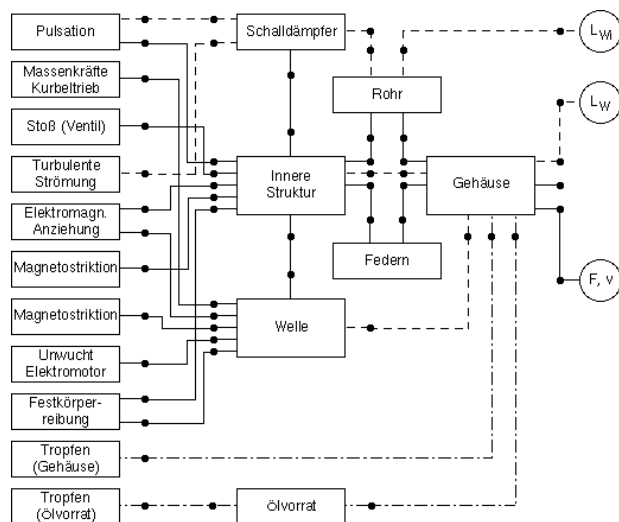


Bild 6. Schallflußmodell des Kältemittelkompressors. L_{wi} Abstrahlpegel des Luftschalls aus Zuführungsteilen; L_w Abstrahlpegel des Luftschalls aus dem Kompressorgehäuse; F, v Weiterleitung von Körperschall aus dem Kompressorgehäuse.

durch ein System unterstützen kann, das sowohl Informationen zu den maschinenbaulichen Komponenten als auch zu ihren zugehörigen Geräuschenstehungs- bzw. -fortleitungsmechanismen enthält – jede Komponente und jeder Koppelpunkt kann nach weiteren Informationen (Konstruktionsbeispiele, Abschätzformeln, Meßdaten in Datenbanken usw.) abgesehen werden.

Bild 6 enthält eine durch die Nutzung eines solchen Systems bedingte, sehr ausführliche Darstellung, der erfahrene Akustiker würde „von Hand“ ein etwas einfacheres Modell durch integrierte Bewertung der einzelnen Schallquellen und –wege erstellen.

4 Beratungssystem zur Konstruktion lärmarmen Produkte

4.1 Anforderungen

Schon aufgrund der zahlreichen und durch den Konstrukteur nur sehr schwierig handhabbaren Informationen der Maschinenakustik erscheint eine Konstruktionsunterstützung durch konventionelle Hilfsmittel wie Konstruktionskataloge, Konstruktionsregeln, Konstruktionsbeispiele usw. nur schwer realisierbar, der Zugriff zu diesen (vorhandenen ?) Informationen ist sehr zeitaufwendig und erfordert ein erhebliches Maß an maschinenakustischem Grundwissen. Als Lösungsansatz bietet sich die Erstellung eines wissensbasierten Systems an, dessen Kernfunktionalität die Verknüpfung des

Methoden- und Faktenwissens aus den Gebieten der Konstruktionswissenschaften und der Maschinenakustik ist. Methodisch muß ein solches System die Erstellung des Schallflußmodells unterstützen, um damit die Rückführung auf maschinenakustische Grundlagen zu gewährleisten. Im zweiten Schritt steht dann die Bereitstellung akustischen Wissens durch Beispielsammlungen, Formeln, Konstruktionsregeln, Meßdaten usw. an, dies betrifft meist die Anwendung von Erfahrungen aus bestehenden Produkte auf die hier vorliegende Entwicklungsaufgabe /1/.

Aus diesen Vorgaben wird klar, daß einerseits eine Methodik der Vorgehensweise zur Konstruktion lärmarmen Produkte erarbeitet werden muß, die sich an den Abläufen nach VDI 2221 /4/ orientiert und die Rückführung maschinenbaulicher Maßnahmen auf akustische Prinzipien erlaubt. Andererseits ist ein Informationsmodell zur Verfügung zu stellen, in dem Daten nach maschinenakustischen Kriterien semantisch eindeutig und objektorientiert abgelegt sind.

4.2 Entwicklung der Vorgehensweise (Konstruktionsmethodik)

Das rechnerunterstützte Handlungssystem wurde mit Hilfe der SADT-Methode (Structured Analysis and Design) /8, 9/ aufgearbeitet und beschrieben. Als Beispiel hierzu zeigt **Bild 7** die Beschreibung des akustischen Modells (dessen rechnergestützte Erstellung in einer weiteren Detaillierung aufgeführt werden kann), es zeigt auch, wie aus einem ersten Modell (A31) durch Hinzunahme weiterer Daten über Komponenten (A32, A34) oder durch Messungen an Prototypen (A33) der Wissensstand in einer Schleifenbildung (Ergebnisse von A35 fließen in A31 wieder ein) verbessert werden kann bis zu einer – vom Wissensstand der jeweiligen Konstruktionsphase abhängigen – befriedigenden Beschreibung des akustischen Verhaltens. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise ist in /6/ dargestellt.

Die Methodik wurde in mehreren Industriefirmen anhand von firmeninternen Beispielen erläutert und diskutiert. Dabei fand die Vorgehensweise bei allen Konstrukteuren wegen ihrer Kompatibilität mit VDI 2221 weitgehende Akzeptanz, es wurde aber die Wichtigkeit eines leistungsfähigen, benutzerfreundlichen wissensbasierten Systems zur Unterstützung der Methodik und insbesondere zur Erstellung des Schallflußmodells zum Ausdruck gebracht.

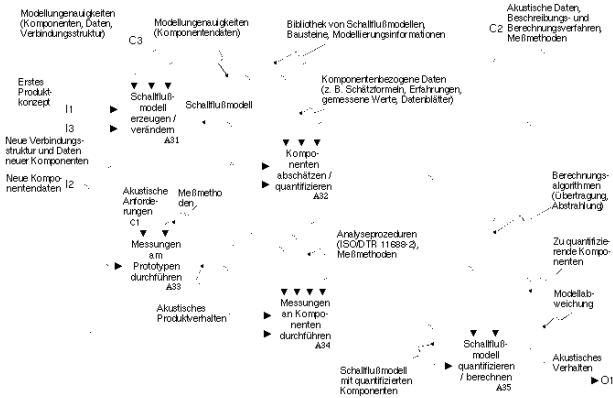


Bild 7. Unteraktivitäten A31 bis A35 der Aktivität A3 „Akustisches Produktverhalten beschreiben“ in SADT-Darstellung

4.3 Entwicklung des Informationsmodells

Die Ausführung der im vorhergehend aufgeführten Handlungsmodell beschriebenen Aktivitäten benötigt maschinenakustische Informationen, die eindeutig und formal abgelegt werden müssen. Das hierfür notwendige Informationsmodell beinhaltet alle maschinenakustisch relevanten Komponenten und Schallentstehungsmechanismen, maschinenakustische Produkthanforderungen mit den dazugehörigen Dokumenten, Konstruktionsregeln, Rechenregeln, Konstruktionsbeispiele usw. Für den Konstrukteur besonders wichtig ist die Verbindung zwischen Maschinenstruktur und Geräuschmechanismen, das heißt die Information darüber, welche Schallentstehungsmechanismen für seine Konstruktion wichtig sind und in welchen Komponenten sie auftreten. Im Rahmen eines Projektes /10/ wurden 12 grundlegende Körperschallquellen und 16 grundlegende Luft- und Flüssigkeitsschallquellen beschrieben. Die Modellierung für diese Informationen geschieht mit EXPRESS /7/, eine für den internationalen Standard zum Produktdatenaustausch STEP (Standard for the Exchange of Product Data) entwickelte Sprache /11/.

Die Entwicklung des Modells erfolgt durch Sammlung und Klassifizierung von Komponenten und Schallentstehungsmechanismen, durch den Aufbau einer Hierarchie dieser Klassen und durch die Ausführung aller für die maschinenakustische Beschreibung wesentlichen Attribute. Damit können die komponenten- und mechanismenspezifischen Informationen an die Hierarchie gekoppelt werden. Damit ist die Beschreibung eines Objektes (z.B. einer bestimmten Komponente) durch seine Position in der Hierarchie und seine zugehörigen Attributwerte sichergestellt. **Bild 8** zeigt als Beispiel für die Untergliederung einer Hierarchie die Unterklas-

sen von elektrischen Maschinen, **Bild 9** die Unterklassen von Körperschall, wie sie aus **Bild 4** ableitbar sind.

Die Elemente werden mit Hilfe von Koppelpunkten miteinander verbunden, um so die Schalleitung und Interdependenzen zu beschreiben. Hierzu wird eine Klasse NPM_ports (Noise Path Model ports) eingerichtet, die das Interface jedes Elements beschreiben. Die Koppelpunkte werden durch eine Instanz der Klasse NPM_ports für jede Instanz eines Elements beschrieben. In diese Instanz werden Werte der Attribute der Schallübertragung eingetragen, die bereits für die Elemente vordefiniert sind. Danach werden die Koppelpunkte miteinander verbunden, wobei eine Überprüfung bezüglich der Art der Schallübertragung vorgenommen wird.

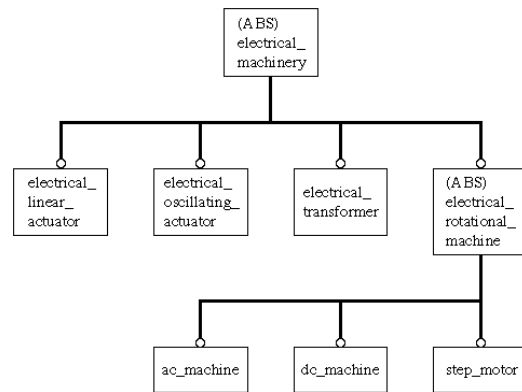


Bild 8. Unterklassen von electrical_machinery /13/

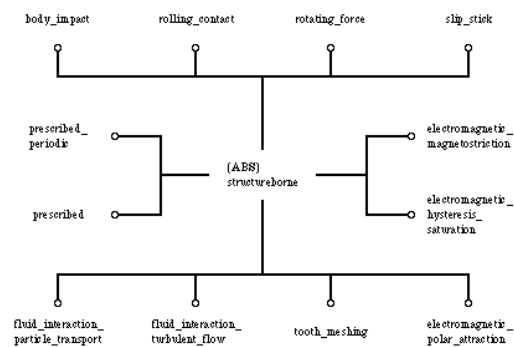


Bild 9. Unterklassen von structureborne /13/

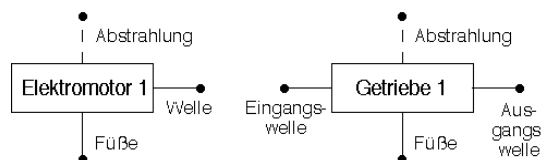


Bild 10. Darstellung zweier Instanzen mit ihren Koppelpunkten zur Aufstellung des Schallflußmodells. Element Elektromotor 1 entwickelt aus der Unterklasse ac_machine, **Bild 8**, Element Getriebe 1 entwickelt aus einer Unterklasse gear_box

Die Vorgehensweise sei an einem Beispiel näher erläutert: Zur Verbindung eines Elektromotors mit einem Getriebe wird je eine Instanz aus den entsprechenden Klassen gebildet. Das System kopiert die zugehörigen Informationen zu den Koppelpunkten in die Instanz. Die entsprechenden Repräsentationen zeigt **Bild 10**, diese Bilder erscheinen auch auf dem Bildschirm.

Instanz „Elektromotor 1“	
Attributname	Wert
number_of_ports	3
name_of_port [1]	Welle
kind_of_port [1]	Körperschall
connected_to_port [1]	
connected_to_component [1]	
name_of_port [2]	Füße
kind_of_port [2]	Körperschall
connected_to_port [2]	
connected_to_component [2]	
name_of_port [3]	Abstrahlung
kind_of_port [3]	Luftschall
connected_to_port [3]	
connected_to_component [3]	

Tabelle 3. Vorgabewerte der Koppelpunkte für Elektromotor 1, entwickelt aus der zum Elektromotor 1 gehörenden Instanz von NPM_ports

Instanz „Getriebe 1“	
Attributname	Wert
number_of_ports	4
name_of_port [1]	Eingangswelle
kind_of_port [1]	Körperschall
connected_to_port [1]	
connected_to_component [1]	
name_of_port [2]	Füße
kind_of_port [2]	Körperschall
connected_to_port [2]	
connected_to_component [2]	
name_of_port [3]	Ausgangswelle
kind_of_port [3]	Körperschall
connected_to_port [3]	
connected_to_component [3]	
name_of_port [4]	Abstrahlung
kind_of_port [4]	Luftschall
connected_to_port [4]	
connected_to_component [4]	

Tabelle 4. Vorgabewerte der Koppelpunkte für Getriebe 1, entwickelt aus der zum Getriebe 1 gehörenden Instanz von NPM_ports

Tabelle 3 und **4** enthalten die Attribute der Koppelpunkte dieser Instanz. Zur Herstellung der Verbindung greift der Konstrukteur interaktiv ein: Im vorliegenden Beispiel soll es sich um ein angeflansches Getriebe handeln. Er führt also beim Elektromotor einen vierten Koppelpunkt „Flansch“ ein und ersetzt beim Getriebe die „Füße“ (Port 2) durch „Flansch“. Danach werden die Verbindungen hergestellt, **Bild 11**.

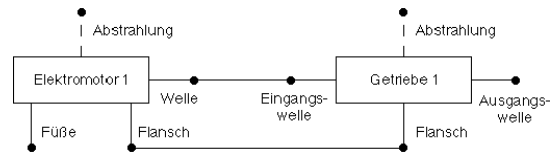


Bild 11. Darstellung der beiden Instanzen nach der Herstellung der Verbindung

Mit dieser Modellierung ist der Weg frei für eine Quantifizierung auch hinsichtlich der Schallübertragung und Abstrahlung, wenn die Werte der jeweiligen Instanzen vollständig bekannt sind. Ein vollständiges Schallflußmodell der beschriebenen Art enthält **Bild 6**.

Durch die Definition weiterer Klassen können Formeln, Konstruktionsbeispiele oder weitere Informationen eingebunden werden, die bei der Instanziierung aktiviert werden. Hierdurch sind einerseits Berechnungen des gesamten Schallflußmodells möglich, andererseits können die kontextsensitiven qualitativen Informationen den Konstrukteur zu neuen Problemlösungsmöglichkeiten führen oder ihn z.B. anhand von Beispielen über ausgeführte schalltechnische Maßnahmen informieren. **Bild 12** zeigt die Präsentation eines solchen Beispiels mit Zuordnungsfunktionen.

5 Zusammenfassung

Die maschinenakustischen Eigenschaften eines Produkts werden weitgehend in der Konstruktion festgelegt, Konstrukteure besitzen im allgemeinen aber keine Ausbildung als Akustiker. In diesem Beitrag wird die Entwicklung einer rechnergestützten Methode und eines Informationssystems beschrieben, das unter Wahrung der generellen Vorgehensweise der Produktentwicklung nach VDI 2221 die Einbindung maschinenakustischen Wissens in den Konstruktionsprozeß ermöglicht. Kernpunkt der Vorgehensweise zur Entwicklung lärmarmere Produkte ist die Kopplung der Maschinenstrukturen mit den physikalischen Geräuschensteherungsmechanismen mit Hilfe eines Schallflußmodells.

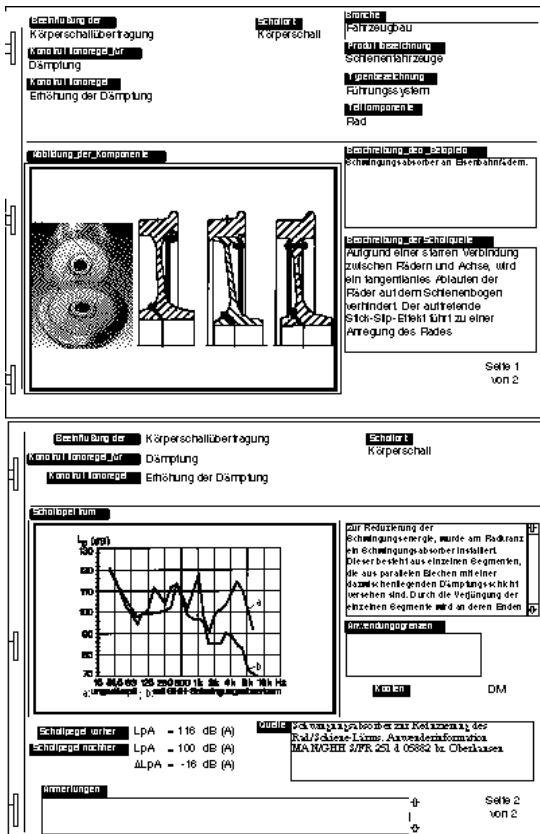


Bild 12. Darstellung eines Beispiels mit entsprechenden Zuordnungen im wissensbasierten System zur Konstruktionsberatung

Die Darstellung enthält zwei Modelle: Eines, welches dem Beratungssystem zugrundeliegt und damit auch die Grundlage der Wissensbasis darstellt. Im zweiten, dem Informationsmodell, das der Benutzer nach seinen eigenen Vorgaben aufbauen kann (vergl. Beispiel Bild 10 ff), werden die für die Entwicklung lärmarmen Produkte benötigten Informationen und ihre Beziehungen untereinander in einer Analyse beschrieben.

6 Literatur

- /1/ Haje, D.; Gummersbach, F.; Schmidt, A.: Inquiry Results about Low Noise Design. Bericht zum BRITE-EURAM II Project No. 5983, „EQUIP“. 1993. Unveröffentlicht.
- /2/ Kurtze, G.; Dietz, P.: Lärmarm Konstruieren XIII – Schalltechnische Regeln und Konstruktionsmethodik. Forschungsbericht Nr. 424 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung. Bremerhaven: Wirtschafts-verlag Nordwest, 1985
- /3/ ISO/TR 11688: Acoustics –Recommended Practice for the Design of Low-Noise Machinery and Equipment. Part 1: Planning, Part 2: Introduction into Physics of Low-Noise

Design. International Standardisation Organisation. Genf, März 1995.

Dieser internationale Fachbericht ist z.T. mit Entwurf vom Juni 1997 als Normentwurf DIN 45685-1 Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte, Teil 1: Planung unverändert übersetzt worden

- /4/ VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Hersg. VDI. Düsseldorf, 1993
- /5/ Müller, H.W.: Praxisreport Maschinenakustik. Berechnungs- und Abschätzverfahren für Maschinengeräusche. Forschungsberichte FKM 102. Darmstadt 1983
- /6/ Haje, D.: Lärmarm Konstruieren XVII. Entwicklung eines Informationssystems zur Konstruktion lärmarmen Produkte. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung- Fb 768. Dortmund/Berlin 1997
- /7/ ISO 10303-11: Product Data Representation and Exchange. Part 11: The EXPRESS Language Reference Manual. International Standardisation Organisation. Genf, 1994
- /8/ Specifications for INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELLING (IDEFO). Federal Information Processing Systems, USA, 1992
- /9/ Marca, D.A.; McGowan, C.L.: SADT, Structured Analysis and Design Technique. McGraw-Hill Book Company, New York 1986
- /10/ Dittrich, M.: Help on NGMs. Brief Description of EQUIP Noise Generation Mechanisms. EQUIP international document. TNO-TPD Delft, August 1996
- /11/ Dietz, P.; Ort, A.: Überführung einer Spezifikation in EXPRESS in die Entwicklungsumgebung KAPPA. Institutsmitteilungen Nr. 20 , IMW Clausthal 1995.
- /12/ Dietz, P.: Konstruieren – Kunst oder Handwerk. Institutsmitteilungen Nr. 21 , IMW Clausthal 1996
- /13/ Haje, D.; Gummersbach, F.; Isranuri, I.; Pico, M.; Pelletier, P.: EQUIP Technical Report – Subtask II.3. Structuring of Information. EQ-TR-II.3e. Abschlußbericht II.3, Clausthal, Januar 1996, unveröffentlicht.