

## Schalltechnische Informationen unter konstruktiven Gesichtspunkten

Gummersbach, F.

*Die Geräuschminderung von Produkten wird aufgrund von Forderungen des Gesetzgebers und des Kunden immer bedeutender. Zur Berücksichtigung maschinenakustischer Aspekte benötigen Konstrukteure strukturiertes Methoden- und Faktenwissen.*

*Hierfür wurde ein Informationssystem entwickelt, daß dem Konstrukteur auf Basis einer schalltechnischen Analyse maschinenakustisches Problemlösungswissen unter Berücksichtigung konstruktiver Gesichtspunkte gezielt zur Verfügung stellt. Grundlage bilden dafür Lärmreduzierungskataloge, deren Aufbau sich an der EN ISO 11688-1 orientiert und eine methodische Vorgehensweise unterstützt.*

*Legal and market concerns are placing more stringent requirements on noise levels. Therefore designers need information, structured in a way to which they can relate, both for methodical approaches and specific measures (e.g. machine-acoustics, designing for production, and more).*

*Such an information system has been developed to support the designer during analysis and to provide suitable noise reduction measures. The basis for this information system are noise reduction catalogues, like design catalogues. The structure of these catalogues is oriented to the EN ISO 11688-1, thus allowing a systematic approach.*

### 1 Einleitung

Viele Schriftsteller wie Goethe, Schiller ließen sich gegen den Lärm aus. Unter einem fast philosophischen Blickwinkel beschreibt Schopenhauer den Lärm:

*"... Der Lärm aber ist die impertinenteste aller Unterbrechungen, da er sogar unsere eigenen Gedanken unterbricht, ja zerbricht. Wo jedoch nichts zu unterbrechen ist, da wird er freilich nicht sonderlich empfunden werden. ..."*

### 2 Problematik

Die Geräuschminderung von Produkten erfährt aufgrund von Forderungen des Gesetzgebers und des Kunden immer mehr an Bedeutung. Konstrukteure

haben meist nur einen geringen maschinenakustischen Kenntnisstand. Dies führt zu maschinenakustisch nicht akzeptablen Lösungen, welche erst beim Betrieb des ersten Prototypen erkannt wird. Hieraus resultieren kostenintensive Nachbesserungen, die durch eine frühzeitige Beachtung der Problematik vermeidbar gewesen wären.

Es stellt sich die Frage, wie der Konstrukteur, der auch das Geräuschverhalten gestaltet, gezielt in maschinenakustischer Hinsicht unterstützt werden kann.

### 3 Vorgehensweise bei der Konstruktion lärmarmer Produkte

Weitere Klarheit verschafft die nähere Betrachtung der Vorgehensweise zur Konstruktion lärmarmer Produkte. Zur Unterstützung einer schalltechnischen Untersuchung, erfolgt im ersten Schritt die Analyse der Problematik. Die Analyse kann dabei mit Hilfe der Schallflußmodellierung, nach /1/ und /2/ unterstützt werden, wobei der Schallfluß von der Quelle über die Übertragung bis hin zur Abstrahlung näher verdeutlicht wird.

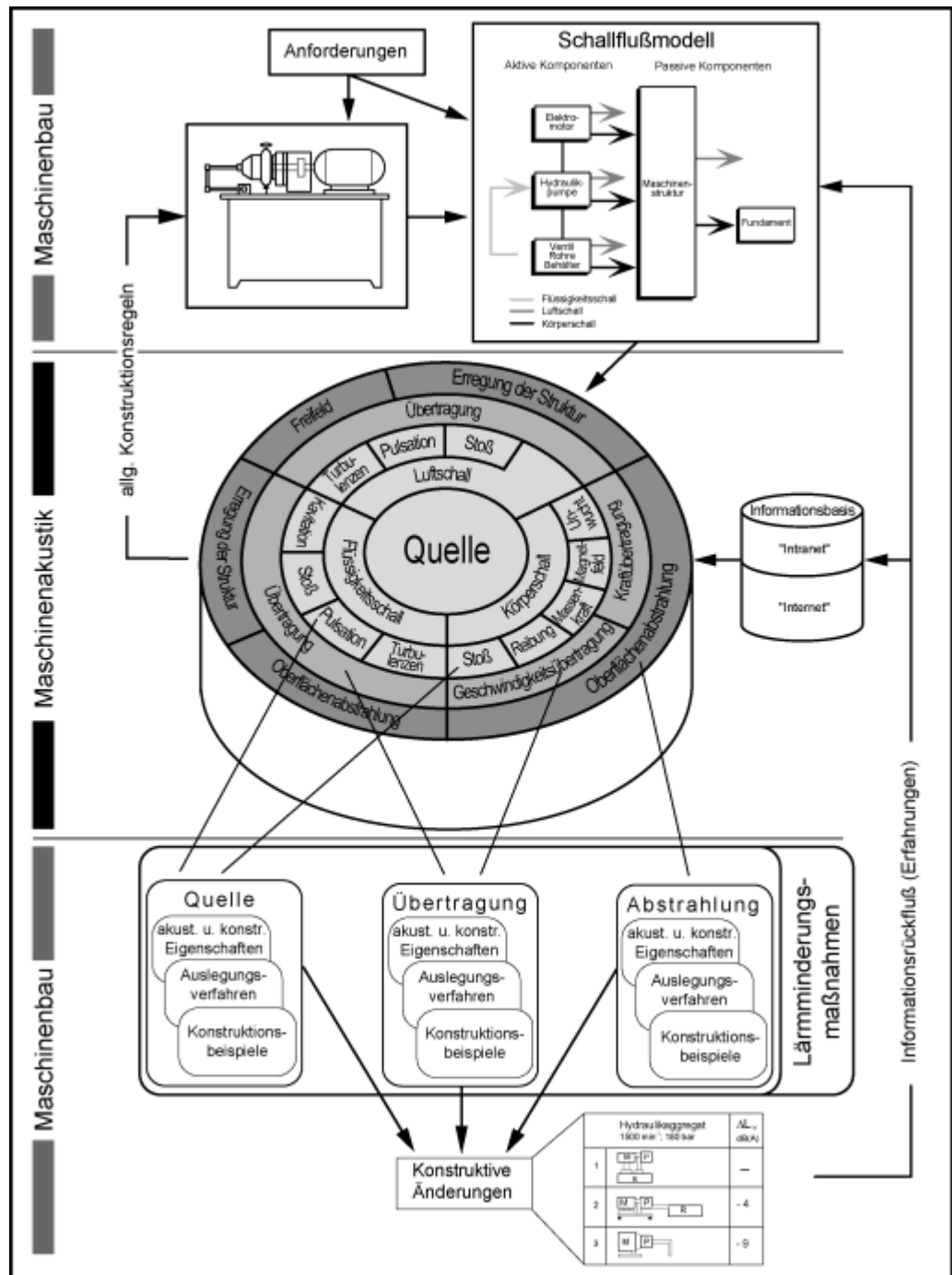
Zu diesem Zweck plaziert der Konstrukteur die Komponenten seines Konstruktionsobjekts und erstellt deren Verbindungsstruktur. Ausgehend von dieser abstrahierten Darstellung erfolgt anschließend die eigentliche schalltechnische Analyse (siehe hierzu auch /3/). In diesem Schritt werden die Objekte hinsichtlich ihrer Quellen-, Übertragungs- und Abstrahleigenschaften bestimmt, wobei eine weitere Detaillierung einzelner Komponenten notwendig werden kann. Das dabei ableitbare Analyseergebnis beinhaltet die Schlüsselinformationen zur Erarbeitung und Einschränkung von Lärmreduzierungsmaßnahmen.

Nach einer Bewertung aller Quellen-, Übertragungs- und Abstrahlmöglichkeiten hinsichtlich ihrer schalltechnischen Relevanz, können aus einer maschinenakustischen Wissensbasis Informationen zur Lärmreduzierung erarbeitet werden.

Um einen Zugriff auf die in der maschinenakustischen Wissensbasis enthaltenen Informationen realisieren zu können, ist eine systematische Gliederung des schalltechnischen Wissens notwendig.

Aus dieser Wissensbasis ergeben sich, ausgehend von den Analyseergebnissen, Lärminderungsmaßnahmen getrennt für Schallquellen, Übertragungs- und Abstrahlungsmöglichkeiten, die dann unter technisch wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet werden können. Für eine weitere Optimierung des Konstruktionsobjektes können die Lärminderungsmaßnahmen in das Schallflußmodell integriert werden, so daß auf Basis dieser neuen Gegebenheiten eine neue schalltechnische Analyse und Abschätzung erfolgen kann.

Bei der Vorgehensweise geht der Konstrukteur ausgehend von der maschinenbaulichen Welt in die der Maschinenakustik, um dann mit geeigneten Lärminderungsmaßnahmen wieder in die maschinenbauliche Umgebung zurück zukehren, **Bild 1**.



**Bild 1:** Vorgehensweise zur Lärminderung von Produkten /3/

#### 4 Struktur der Informationsbasis

Für die Informationsverarbeitung muß die maschinenakustische Wissensbasis drei Gesichtspunkten genügen. Der Nutzer der Wissensbasis (hierbei der Konstrukteur) legt die Sichtweise und damit den Fokus der Informationsverarbeitung fest. Das Faktenwissen (maschinenakustische Wissen) muß somit unter konstruktiven Gesichtspunkten erfasst, strukturiert und abgelegt werden. Dieses Faktenwissen kann erst im Zusammenspiel mit Methodenwissen innerhalb eines bestimmten Problemlö-

sungsprozesses angewandt werden. Beide Wissensarten müssen für den Konstrukteur anwendbar und damit verständlich sein. D.h. die Struktur der maschinenakustische Wissensbasis muß diesen drei übergeordneten Anforderungen genügen, um das für die Problemlösung notwendige Erfahrungswissen bereitstellen zu können, **Bild 2**.

Hier stellt sich die Frage nach einer geeigneten Möglichkeit der Strukturierung des Wissens. Zum einen sind die Beeinflussungsmöglichkeiten für den Konstrukteur ein wesentliches Merkmal. Zum anderen ist die Art des benötigten Wissens vom Stadium des Konstruktionsprozesses (-fortschritts) mit den

jeweiligen Teilschritten des Problemlösungsprozesses abhängig.

### 5 Entwicklung eines Katalogsystems

Aus maschinenakustischer Sicht, hat der Konstrukteur, nach der Festlegung der Wirkprinzipien, bei der Feingestaltung des Produkts die stärkste Möglichkeit der Einflußnahme auf das akustische Verhalten. In dieser Phase kann der Konstrukteur auf Basis einer Schallflußanalyse durch Lärm-minderungsmaßnahmen gezielt unterstützt werden.

Hierzu wurde eine systematische Zusammenstellung von Hilfsmitteln zur Analyse und Lösungsfindung erstellt. Kernpunkt sind dabei systematisch aufgebaute Lärm-minderungs-kataloge in denen eine strukturierte Ablage von gleichartig aufgebauten Wissen, für die Analyse und Lösungsfindung, möglich ist. Der prinzipielle Aufbau dieser Kataloge entspricht denen der Konstruktionskataloge nach Roth. Diese bestehen aus den folgenden vier Teilen:

**Gliederungsteil:** zur eindeutigen Zuordnung der im Hauptteil enthaltenen Informationen

**Hauptteil:** zur Ablage der eigentlichen Informationen (Quelle-, Übertragungs- und Abstrahleigenschaften und assoziierte Lärm-minderungsmaß-

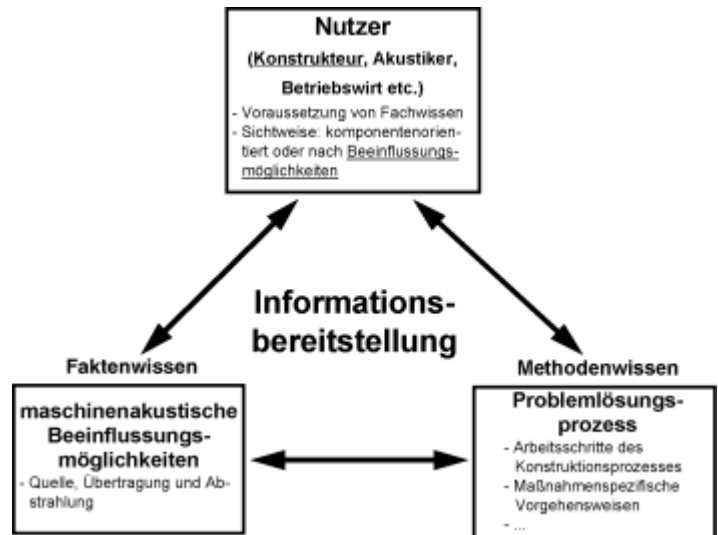


Bild 2: Interdependenzen bei der Informationsbereitstellung /4/

nahmen)

**Zugriffsteil:** zur weiteren Angabe von Randbedingungen und akustischen und konstruktiven Eigenschaften)

**Anhang:** für Hinweise auf weiterführende Literatur, Konstruktionsbeispiele, Herstellerangaben usw.

Für eine methodische Vorgehensweise, wurden Kataloge zur Unterstützung der Analyse und zur Lösungsfindung entwickelt.

So können ausgehend von einer schalltechnischen Analyse der Schallentstehung, -übertragung und -abstrahlung auf geeignete Lärm-minderungsmaß-

nahmen, im Rahmen der Lösungsfindung, verwiesen werden.

Die Kataloge erlauben eine strukturierte Ablage der Lärm-minderungsmaßnahmen mit einer gleichzeitigen Zuordnung akustischer und konstruktiver Eigenschaften, Randbedingungen und weiterführenden Hinweisen, Bild 3.

Durch den prinzipiell gleichen Aufbau der Ka-

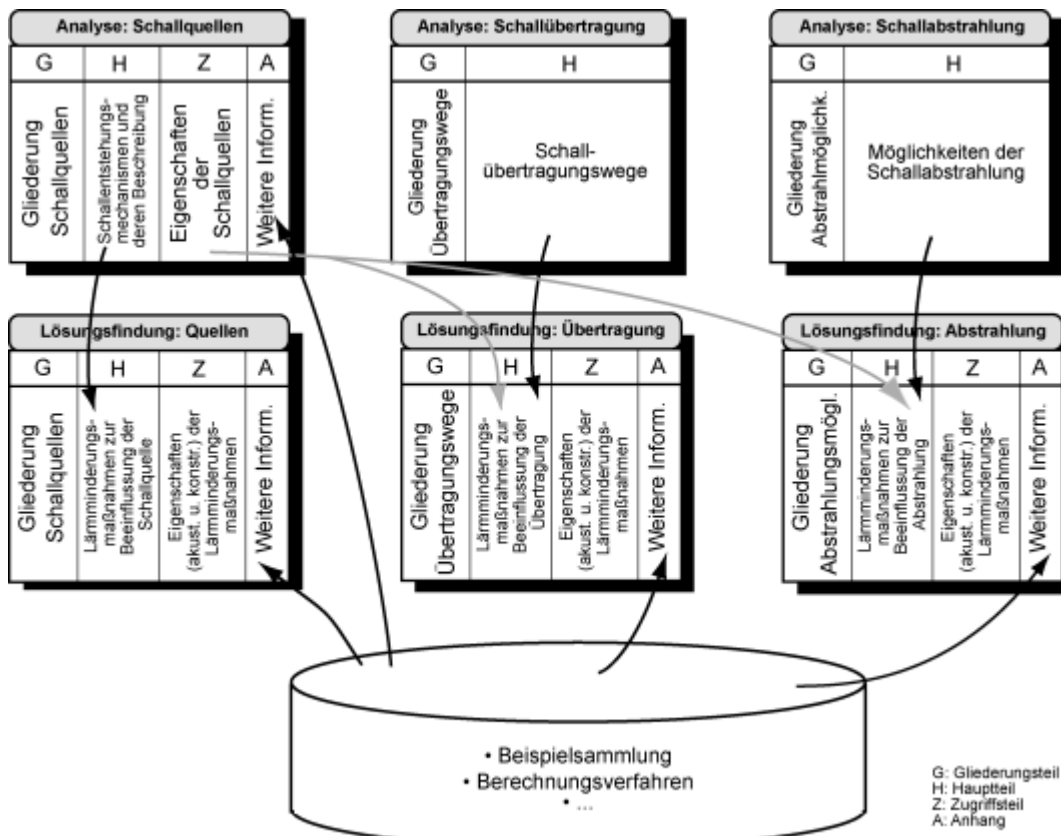


Bild 3: Interdependenzen bei der Informationsbereitstellung /4/

taloge, wird die Algorithmisierung der Vorgehensweise unterstützt. Dieser Aufbau ermöglicht die Umsetzung in ein EDV-gestütztes System, so daß eine methodische Vorgehensweise zur Entwicklung lärmgeminderter Produkte unterstützt werden kann.

### 5.1 Schallquellenanalyse

Der Katalog für die schalltechnische Analyse der Schallquellen in **Bild 4** wird entsprechend der in EN ISO 11688-1 enthaltenen Struktur der Schallquellen gegliedert. Im Hauptteil befindet sich die Beschreibung des Schallentstehungsmechanismus sowie einige Beispiele, bei denen dieser physikalische Effekt auftritt. Der Zugriffsteil beinhaltet vor-

wiegend maschinenakustische und nur wenige konstruktive Angaben, die die Eigenschaften des beschriebenen Schallentstehungsmechanismus charakterisieren. Insbesondere sind hier die akustischen Eigenschaften zu nennen, die die Art des Geräusches näher beschreiben. Neben der graphischen Darstellung bietet sich eine Bestimmung des Geräusches durch die Beschreibung bestimmter Eigenschaften an, die eine weitere rechnerische Verarbeitung erlauben. So kann ein Geräusch durch die Art des Auftretens charakterisiert werden. Als Attribute hierfür bieten sich "impulsförmig", "breitbandig", oder "tonal/harmonisch" an. Des Weiteren kann eine tieferegehende Detaillierung über die Zuordnung zusätzlicher Attribute wie der

Beschreibung des auftretenden Frequenzspektrums (nieder-, mittel- oder hochfrequent) erfolgen. Diese Informationen sind, gerade für eine weitere Auswahl bzw. Bewertung primärer und sekundärer Lärminderungsmaßnahmen, notwendig. Die Angabe der diesen Effekt stark beeinflussenden Parameter gibt dem Konstrukteur erste Ansätze zur Umsetzung in konstruktive Einflussnahmen.

Der Anhang gibt Hinweise zu weiterführenden Informationen wie Berechnungsmöglichkeiten, Normen, Richtlinien und Literaturstellen, die dem Konstrukteur bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden können. Durch diese zusätzlichen Informa-

## Schallquellenbeschreibung

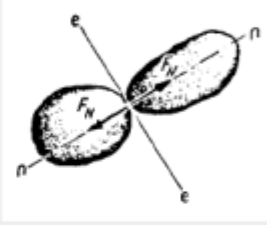
### Gliederung

<b>Problemgebiet</b>	Maschinenakustik
<b>Beeinflussungsart</b>	Quellen
<b>Medium</b>	Körperschall
<b>Allg. Schallentstehungsmechanismus</b>	Stoß
<b>Spez. Schallentstehungsmechanismus</b>	Stoß

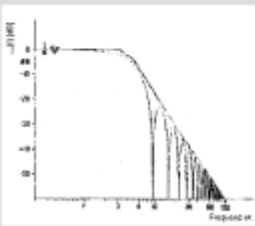
### Schallentstehungsmechanismus

**Entstehungsursache**  
Aufeinandertreffen zweier Festkörper  
Spiel bei wechselnden Lasten

**Beispiel**  
Hämmern; Anschläge



### Maschinenakustische und konstruktive Angaben

<p><b>spezielle Geräuscheigenschaften</b> schlagartige Geräuschanregung</p> <p><b>Anregungsspektrum</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>tonal</b></p> <p style="text-align: center;">tonal und harmonische</p> <p style="text-align: center;">breitbandig</p> <p style="text-align: center;">impulsförmig ++</p> <hr/> <p style="text-align: center;">niederfrequent (&lt;250Hz) ++</p> <p style="text-align: center;">mittleres Frequenzband ++</p> <p style="text-align: center;">hochfrequent (&gt;2000Hz) +</p> <hr/> <p style="text-align: center;"><b>Einflussmöglichkeiten</b></p> <p>Masse; Geschwindigkeit; Stoßzeit; (beeinflusst sehr stark die auftretenden mechanischen Belastungen)</p>
---	---

### weiterführende Informationen

<b>Berechnungsmöglichkeiten</b> /Föll 74/	<b>Normen bzw Richtlinien</b> /ISO 11688/; /VDI-R 3720/
<b>Literatur</b> /Röd 66/; /Föll 74/; /FaKr 84/	

**Bild 4:** Datenblatt zur Beschreibung der Schallentstehungsmechanismen /4/

tionen erhält der Konstrukteur die Möglichkeit sich bei Bedarf weiter in das Themengebiet zu vertiefen oder eine Abschätzung der Geräuschanregung durchzuführen, **Bild 4**.

## 5.2 Lärminderungsmaßnahmen -Schallquellen-

Der Katalog zur Lösungsfindung von primären Lärminderungsmaßnahmen beinhaltet konstruktive Möglichkeiten zur Reduzierung der bei der speziellen Schallanregung auftretenden Wechselkräfte.

Der Gliederungsteil des Katalogs ist mit dem zur Schallquellenanalyse identisch, so daß die Referenzierung von den ermittelten Schallquellen zu den primären Lärminderungsmaßnahmen einfach zu erstellen ist. Im Hauptteil befinden sich eine oder mehrere konstruktive Lärminderungsmaßnahmen mit ihren Erläuterungen der Wirkungsweise, die im Zugriffsteil näher charakterisiert werden.

Der Zugriffsteil beinhaltet, neben allgemeinen maschinenakustischen, auch verstärkt konstruktive Angaben, die gerade bei der Bewertung und Umsetzung benötigt werden. Die maschinenakustischen Angaben beschränken sich hierbei auf den prinzipiellen Verlauf der Pegelminderung in Abhängigkeit der Frequenz sowie der in etwa erreichbaren Gesamtpegelminderung durch die Maßnahme. Eine nähere Beschreibung der maschinenakustischen Anwendbarkeit ist nicht notwendig, da diese schon durch die Zuordnung der Maßnahme zu den speziellen Schallentstehungsmechanismen erfolgt ist. Gerade die Angaben zu konstruktiven Gesichtspunkten, die mit der ausgewählten Maßnahme verbunden sind, beziehen sich auf Vor- und Nachteile dieser Lösung. So sind u. U. weitere konstruktive Berücksichtigungen bei der Wahl dieser Maßnahmen zu treffen bzw. zu beachten. Ferner können zugehörige Gestaltungsregeln und -hinweise mit angegeben werden, die die Wirkung und Einflußgrößen dieser Maßnahme beschreiben.

Die im Anhang befindlichen Informationen unterstützen den Konstrukteur bei der Erläuterung und Auslegung der Maßnahme durch Literaturhinweise, Normen, Richtlinien, Auslegungsvorschriften und Konstruktionsbeispiele. Soweit vorhanden, werden zudem Angaben zu möglichen Herstellern von bestimmten Produkten mit angegeben, die hierfür fertige Lösungen bzw. Halbzeuge anbieten, **Bild 4** (Hintergrund). Diese könnten gegebenenfalls mit einem Link zu deren Internet-Adresse versehen werden.

## 5.3 Lärminderungsmaßnahmen und Konstruktionsbeispiele -Schallübertragung-

Die Lärminderungsmaßnahmen zur Beeinflussung der Schallübertragung gliedern sich entsprechend die der EN ISO 11688-1, jedoch zusätzlich in Dämmung und Dämpfung. Die zusätzliche Untergliederung ergibt sich aus den prinzipiellen Möglichkeiten zur Beeinflussung der Schallübertragung.

Im Hauptteil wird die konstruktive Maßnahme mit dem prinzipiellen Aufbau näher spezifiziert, das Wirkprinzip erläutert und anhand einer Abbildung weiter verdeutlicht.

Der Zugriffsteil enthält, wie die vorherigen Kataloge, maschinenakustische und konstruktive Angaben. Im Gegensatz zum Katalog für die Lärminderungsmaßnahmen der Schallquellen erfolgen hier zusätzlich Angaben zur maschinenakustischen Eignung der Maßnahme. Es sind die gleichen Angaben, die bei der Schallquellenbeschreibung aufgeführt werden und die somit die Eignung der Maßnahme, in Abhängigkeit von Geräuschart und Frequenzbereich, näher spezifizieren. Diese Angaben sind insbesondere bei der Auswahl der Maßnahmen unter schalltechnischen Gesichtspunkten notwendig, da diese mit denen der Anregungsspektren der Schallquellen verglichen werden können. Hierdurch kann schon eine erste Einschränkung des Lösungsfeldes auf Basis schalltechnischer Angaben automatisiert werden. Eine weitere Einschränkung des Lösungsfeldes erfolgt durch die konstruktiven Angaben, **Bild 5** (Hintergrund).

Die weiterführenden Informationen des Anhangs entsprechen denen des zuvor erläuterten Katalogs. In **Bild 5** (Vordergrund) ist dazu beispielhaft ein Konstruktionsbeispiel zu der dargestellten Maßnahme abgebildet. Durch eine Referenzierung zwischen dem Konstruktionskatalog und einer Beispielsammlung läßt sich der Zugriff realisieren.

## 5.4 Lärminderungsmaßnahmen - Abstrahlung-

Der Aufbau des Lärminderungskatalogs für die Schallabstrahlung entspricht bis auf den Gliederungsteil dem des Katalogs der Schallübertragung. Lediglich die Untergliederung der Maßnahmen wurde auf diese Beeinflussungsart angepasst.

## 6 Informationssystem

Die derzeitig implementierte Funktionalität des Informationssystems greift auf einen vereinfachten

Schallflußmodellierer sowie Datenbanken mit Quelleneigenschaften, Lärminderungsmaßnahmen und maschinenakustischen Konstruktionsbeispielen zu. Die über den Modeller erfaßte Modellstruktur beinhaltet die relevanten Bauteile, denen dann maschinenakustische Eigenschaften zugeordnet werden. Nach einer Grob-bewertung der jeweiligen maschinenakustischen Eigenschaften, also der Einschätzung des einzelnen Beitrags zu dem insgesamt abgestrahlten Schall, können Lärmmin-derungsmaßnahmen durch das Informationssystem für die jeweiligen Bauteile er-arbeitet werden. Die auf Basis vor-heriger Angaben ermittelten Lärm-minderungsmaß-nahmen stehen nun für eine wei-tere Bewertung unter konstrukti-ven und wirt-schaftlichen Ge-sichtspunkten zur Verfügung.

Die Ermittlung der Maßnahmen erfolgt über einen Vergleich der "be-rechneten" bzw. "vorgegebenen" Schallcharakteris-tiken (Art und Frequenzbereich), wie sie z.B. in Bild 5 dargelegt

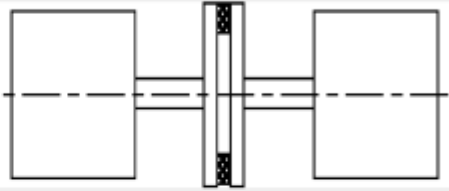
sind. Dies bedeutet zwar starke Vereinfachungen der schalltechnischen Eigenschaften, ermöglicht jedoch dem Konstrukteur erste Abschätzungen und die Erarbeitung von Lärminderungsmaßnahmen.

### Lärminderungsmaßnahme: Übertragung

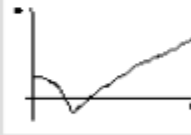
#### Gliederung

<b>Problembereich</b>	Maschinenakustik
<b>Beeinflussungsart</b>	Übertragung
<b>Medium</b>	Körperschall
<b>Maßnahme</b>	Dämmung (Reflexion durch Impedanzänderung)
<b>konstruktive Maßnahme</b>	Schwingungsisolierung

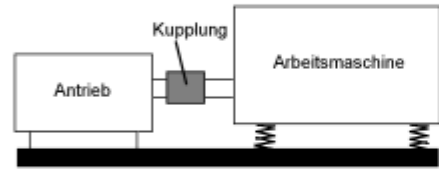

#### Maßnahme

<b>Benennung der Maßnahme</b> Drehelastische Kupplung	
<b>Wirkprinzip</b> Erhöhung der Eingangs- oder Übertragungsimpedanz mittels Reflexion an Diskontinuitätsstellen durch Änderung der Steifigkeit	
<b>prinzipieller Aufbau</b> Masse-Federsystem	

#### Maschine

<b>Anwendung</b> Schwingungsisolierung Drehschwingungen	
<b>prinzipielle Pegelminderung</b>	
<b>erreichbare Pegelminderung</b> Körperschallpegeldifferenz jedoch stark von den R <sub>a</sub> abhängig (Freq. und M <sub>a</sub> )	
<b>konstruktive Berücksichtigung</b> Berücksichtigung der sich ändernden Eigenfrequenz	
<b>Konstruktionsbeispiele</b> Drehelastische Klauen- Elastomerzahnkranz	
<b>Hersteller</b> Firma A; Firma B	

#### Konstruktionsbeispiel

<b>Beeinflussung der Konstruktionsregel für</b>	Körperschallübertragung	Info	<b>Branche</b>
<b>Schallart</b>	Schwingungsisolierung	Info	Antriebstechnik
<b>Konstruktionsregel</b>	Schwingungsisolierung der Quelle (im mittleren Frequenzbereich)		
<b>Abbildung der Komponente</b>			
<b>Unterschrift1</b>	Anordnung der Maschinengruppe		
<b>Abbildung bzw. Schallspektrum</b>			
<b>Unterschrift2</b>	Klauenkupplung mit Elastomerzahnkranz		
<b>Schallpegel vorher</b>	<input type="checkbox"/>	dB	<b>Anwendungsgrenzen</b>
<b>Schallpegel nachher</b>	<input type="checkbox"/>	dB	
<b>Differenzpegel</b>	$\Delta L_p$ ca. 5	dB	
<b>Kosten</b>	1500,-		DM

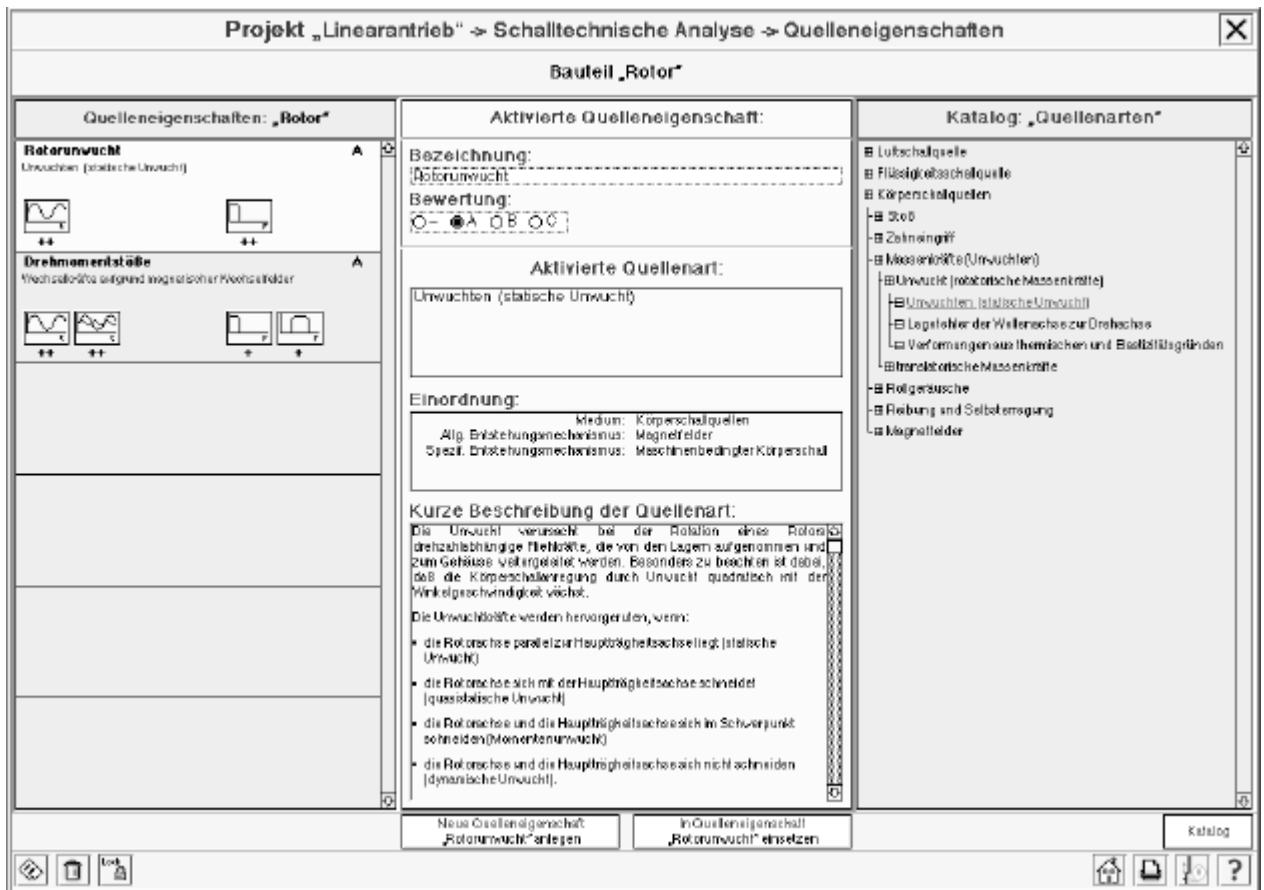
**Kurzbeschreibung der Maßnahme**  
Schwingungsisolierung der Drehschwingung

**Beschreibung des Beispiels**  
Drehschwingungsisolierung

**Beschreibung der Schallquelle**  
Ein Elektromotor treibt über eine Welle eine Arbeitsmaschine an, die aufgrund ihres Arbeitsverfahrens starke Drehschwingungen im Antriebsstrang erzeugt.

**Angewandte Schallminderungsmaßnahme**  
Zur Reduzierung der Drehschwingungsbelastung auf die Antriebsmaschine wird zur Schwingungsisolierung eine drehelastische Klauenkupplung mit einem Elastomerzahnkranz eingesetzt. Durch diese Maßnahme konnten die auf die Antriebsmaschine resultierenden Wechselkräfte und damit auch die Geräuschanregung reduziert werden.

**Bild 5:** Datenblatt zur Beschreibung der Lärminderungsmaßnahmen und assoziiertes Konstruktionsbeispiel für die Schallübertragung /4/



**Bild 6:** Eingabefenster zur Zuordnung der Quelleneigenschaften /4/

Die Vereinfachungen der schalltechnischen Eigenschaften resultieren aus dem derzeit überproportional hohen Aufwand, der bei der Ermittlung des Frequenzspektrums, für die Anregung, des Übertragungs- und des Abstrahlverhaltens, mittels analytischer Berechnungen anfallen würde.

Die Vorgehens- und Funktionsweise des Informationssystems wird im Folgenden anhand eines Linearantriebs beispielhaft dargestellt. Der schalltechnisch betrachtenswerte Bereich besteht aus einem Getriebemotor, der an einem Strangpressprofil befestigt wurde.

Vor der eigentlichen schalltechnischen Analyse ist die Erfassung der Modellstruktur mit deren Elementen und Relationen erforderlich. Das Konstruktionsobjekt wird durch Komponenten, Baugruppen und Bauteile hierarchisch aufgebaut, wobei jedes Element zusätzlich textlich beschrieben werden kann.

Zu Beginn können alle das Projekt betreffenden Daten wie Kurzbezeichnung, Beschreibung und Projektverantwortliche erfaßt werden.

### 6.1 Schalltechnische Analyse

Auf dem Weg zu passenden Lärminderungsmaßnahmen müssen zunächst die Quellen-, Übertragungs- und Abstrahleigenschaften für die relevanten Bauteile ermittelt werden. Bei der Zuordnung der Quelleneigenschaften werden im ersten Schritt die Schallentstehungsmechanismen von den "maschinenakustisch aktiven" Bauteilen erarbeitet und zugewiesen. Durch die Zuordnung erhält jedes dieser Bauteile eine oder mehrere Charakteristiken der Schallentstehung (Anregungsart und Frequenzbereich). **Bild 6** zeigt dazu am Beispiel eines Rotors (E-Motor) die Quelleneigenschaften.

Durch die Rotation des Rotors und der immer verbleibenden Restunwucht bildet sich eine radial umlaufende Kraft mit periodischen Frequenzanteilen, in der Regel im niederfrequenten Bereich. Ferner treten Drehmomentschwankungen aufgrund der Kommutierung auf. Durch die Festlegung der Schallentstehungsmechanismen werden automatisch deren Anregungscharakteristiken aus einer Datenbank übernommen und stehen zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung.

Die Auswahl des jeweiligen Schallentstehungsmechanismus erfolgt über einen hierarchisch gegliederten Katalog. Eine kurze Beschreibung der

Quellenart dient als "Hilfetext" zur weiteren Klarstellung der Schallentstehung und ihrer Merkmale.

Für eine bewertete Erarbeitung der Lärminderungsmöglichkeiten ist zumindest eine Grobbewertung des jeweiligen Schallanteils zum Gesamtbeitrag nötig. Dieser Teilschritt stellt sich relativ schwierig dar, da eine Bewertung des Schallentstehungsmechanismus, hinsichtlich des Teilbeitrags zum Gesamtgeräusch von der verwendeten Bauart der Komponente, der Fertigungsgenauigkeit und vom Energieumsatz abhängt. So kann dieser Schritt, insbesondere vor der Erstellung eines Prototypens, nur "aus dem Bauch heraus" erfolgen. Die Genauigkeit der Bewertung steigt dabei mit zunehmender Erfahrung.

In einem fortgeschritteneren System können dann vorhandene Abschätz- bzw. Berechnungsverfahren die Bewertung "selbständig" durchführen.

Die Zuordnung der Übertragungs- und Abstrahleigenschaften gestaltet sich einfacher, da hier lediglich Übertragungswege und Abstrahlungsmöglichkeiten festgelegt werden müssen.

Die Bewertung legt hierbei fest, wie stark die jeweilige Schallart zum nächsten Bauteil übertragen bzw. vom jeweiligen Bauteil abgestrahlt wird. Realisiert wird dies durch eine Bewertung der zuvor erwähnten einzelnen Schallcharakteristika (Art und Frequenzbereich).

### 6.2 Ermittlung der Lärminderungsmaßnahmen

Auf Basis der in der Analyse festgelegten akustischen Charakteristika ist das Informationssystem in der Lage, eigenständig maschinenakustisch anwendbare Lärminderungsmaßnahmen aus der Datenbasis herauszufiltern.

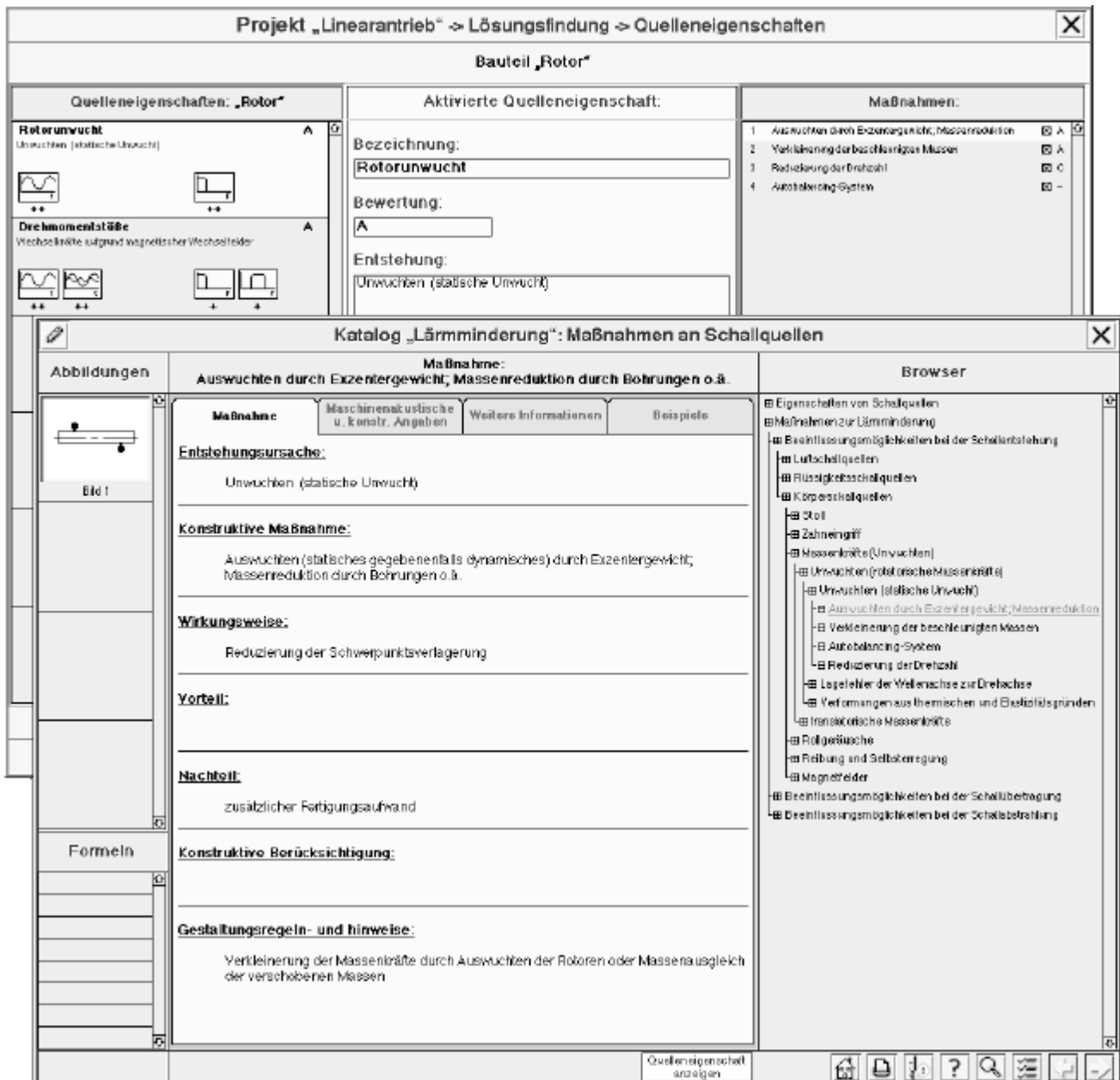


Bild 7: Präsentation quellenbezogener Lärminderungsmaßnahmen und Maßnahmendetailierung /4/



Die Ermittlung der schallquellenbezogenen Maßnahmen wird nicht über die Angabe der Schallcharakteristik durchgeführt, da eine direkte Zuordnung der Maßnahmen zu einem bestimmten Schallentstehungsmechanismus erfolgen kann. Daher werden in diesem Fall Lärminderungsmaßnahmen ohne jegliche Berechnungs- bzw. Ausschlußverfahren ausfindig gemacht.

Die Lärminderungsmaßnahmen zur Beeinflussung der Schallübertragung und -abstrahlung werden dabei über die im Schallfluß vorherrschenden Schallcharakteristika ermittelt, die sich aus den Eigenschaften der an dem Bauteil angeschlossenen Schallentstehungsmechanismen und den Übertragungs- und Abstrahleigenschaften ergeben. Hierüber kann schon eine erste Bewertung der Maßnahmen automatisch vorgenommen werden, indem ein Vergleich der vorherrschenden Schalleigenschaften mit denen der Lärminderungsmaßnahmen erfolgt.

**Bild 7** zeigt im Hintergrund liegenden Fenster das Ergebnis der quellenbezogenen Lärminderungsmaßnahmen für den Rotor.

Jede dieser Maßnahmen steht für eine weitere Bewertung zur Verfügung. Zum Einen ist es möglich eine Maßnahme, z.B. aus technischen Gründen, auszuschließen. Zum Anderen können die verbliebenen Maßnahmen einem persönlichen Ranking

unterzogen werden, um somit Präferenzen darzustellen. Die Gründe für einen Ausschluß bzw. die starke Bevorzugung einer Lösung sollten und können dabei mit festgehalten werden.

Für jede der zuvor ermittelten Maßnahmen besteht die Möglichkeit, sich aus dem hinterlegten Lärminderungskatalog alle für eine weitere maschinenakustische und konstruktive Betrachtung notwendigen Informationen präsentieren zu lassen, **Bild 7** (Vordergrund). Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die unterschiedlichen Informationen in Form von "Informationsmappen" abgelegt, über die auch ein Zugriff auf relevante Konstruktionsbeispiele möglich ist.

### 6.3 Ergebnisbericht

Zur zusammenfassenden Darstellung der Ergebnisse kann abschließend aus der theoretischen schalltechnischen Untersuchung ein Ergebnisbericht abgeleitet werden. Der Bericht beinhaltet alle während der Analyse und Lösungsfindung festgehaltenen Informationen sowie eine bewertete Darstellung der Lärminderungsmaßnahmen, die gegebenenfalls mit Konstruktionsbeispielen versehen sind, **Bild 8**.

Layout #5

Seiten: ?

Bgr\_Ma.fp5

## Bericht für Projekt: "Linearantrieb"

Einzelansicht der Lärminderungsmaßnahmen für Bauteil: "Rotor"

### 1) Maßnahmen an Schallquellen:

Körperschallquelle "Rotorunwuchten"

Maßnahmen:	Bew.:
1. Auswuchten (statisches gegebenenfalls dynamisches) durch Exzentergewicht; Massenreduktion durch Bohrungen o.ä.	A
2. Verkleinerung der beschleunigten Massen	A
3. Reduzierung der Drehzahl	C
4. Autobalancing-System	-

Körperschallquelle "Drehmomentstöße"

Maßnahmen:	Bew.:
1. Auswahl der Anzahl der Ankemuten	A
2. Ankemuten nicht parallel zu den Polen	B
3. Optimierung der Polform	C

### 2) Maßnahmen an Schallübertragungswegen:

Körperschallübertragung nach Bauteil "Wälzlager"

Maßnahmen:	Bew.:
1. Zusatzmassen / Spermassen	A
2. Querschnittsprung	C
3. Materialsprung	-

**Bild 8:** Ergebnisbericht /4/

## 7 Zusammenfassung

Gesetzliche Bestimmungen und steigende Ansprüche von Seiten des Marktes führen zu restriktiveren maschinenakustischen Produkthanforderungen. Diese Tendenz verlangt die Berücksichtigung maschinenakustischer Aspekte ab den Frühphasen der Produktentwicklung, da hier der Konstrukteur bei der Erfüllung funktionaler Anforderungen gleichzeitig auch die maschinenakustischen Eigenschaften festlegt, die erst im Prototypenstadium zu Tage treten.

Verschärft wird die Problematik zudem durch den meist sehr geringen maschinenakustischen Kenntnisstand der Konstrukteure, so daß sich ein starker Handlungsbedarf zur Konstruktionsunterstützung ergibt. Aufgrund dieser Problematik wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Informationssystem entwickelt, daß dem Konstrukteur auf Basis einer schalltechnischen Analyse maschinenakustisches Problemlösungswissen unter der Berücksichtigung konstruktiver Gesichtspunkte gezielt zur Verfügung stellt.

Die Ermittlung und Erstellung der spezifischen Hilfsmittel erfolgte in starker Anlehnung an der Vorgehensweise und Struktur der EN ISO 11688-1. Zur Ermittlung spezifischer Hilfsmittel wurde der Konstruktionsprozess auf eine gezielte Einflußnahme unter maschinenakustischer Sicht untersucht und in einer systematisch aufgebauten Wissensbasis zusammengefasst. Für die schalltechnische Analyse, bei der u.a. auch die Verknüpfung der maschinenbaulichen Informationen mit maschinenakustischen Eigenschaften erfolgt, wurden strukturierte Hilfsmittel erarbeitet die insbesondere das Aufspüren von Schallquellen unterstützt. Als gesamtunterstützendes Werkzeug dient die Schallflußmodellierung.

Für die Lösungsfindung wurden Kataloge mit strukturierten Lärminderungsmaßnahmen aufgestellt, die konstruktive Lösungen zu bestimmten maschinenakustischen Problemstellungen aufzeigen. Zur Steigerung der Verständlichkeit wurden die Kataloge durch Konstruktionsbeispiele erweitert. Durch die Integration der Lärminderungskataloge in ein Rahmenkonzept wird die Verknüpfung einer schalltechnischen Analyse mit der Lösungsfindung ermöglicht. Die erarbeiteten Lärminderungskataloge stellen eine solide Basis für die systematische Erfassung und Bereitstellung maschinenakustischer Lärminderungsmaßnahmen dar. Durch die Gliederung nach den Beeinflussungsmöglichkeiten erhält der Konstrukteur ein Hilfsmittel mit dem er sich unter Verwendung eines

Schallflußmodells zielorientiert geeignete Lärminderungsmaßnahmen erarbeiten kann, die sich durch weitere konstruktive Angaben auf ihre Anwendbarkeit bewerten lassen. Die Umsetzung der Ergebnisse erfolgte mittels eines Software-Prototyps, der maschinenakustisches Faktenwissen unter konstruktionsmethodischen und Benutzer Gesichtspunkten ermöglicht. Die Entwicklung lärmarmere Produkte wird dadurch erleichtert und systematisch unterstützt.

Literatur:

- /1/ DIN EN ISO 11688-1; Akustik - Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte - Teil 1: Planung, 1998; (ISO/TR 11688-1; 1995); Deutsche Fassung EN ISO 11688-1; 1998; Teil 2: (Norm-Entwurf) DIN 45685-2, Ausgabe:1998-11 Akustik - Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte - : Einführung in die Physik der Lärminderung durch konstruktive Maßnahmen (ISO/TR 11688-2:1998) Organisation. Genf, Dez. 1996.
- /3/ Dietz, P.; Gummersbach, F.: Informationsbasis zur Konstruktion lärmarmen Produkte; Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal Nr. 23; Clausthal 1998
- /2/ Dietz, P.; Gummersbach, F.: Entwicklung lärmarmen Produkte –Rechnergestütztes Beratungshilfen für den Konstrukteur-; VDI-Tagung Maschinenakustik '99, Wiesloch; VDI-Verlag 1999
- /4/ Gummersbach, Frank: Lärmarm konstruieren XIX; Schalltechnische Informationen unter konstruktiven Gesichtspunkten, - Ein Beitrag zum systematischen Zugriff auf konstruktive Lärminderungsmaßnahmen-; Dissertation TU Clausthal; April 2000 (Erscheint in der Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin)