

# Bereitstellung von konstruktionsspezifischen Hilfsmitteln zur Konstruktion lärmarmere Produkte

## - Systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele -

Gummersbach, F.

Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen und steigender Marktanforderungen ist die Berücksichtigung maschinenakustischer Belange während des Konstruktionsprozesses für viele Produkte unerlässlich. Jedoch haben Konstrukteure in der Regel allenfalls sehr geringe bzw. einfache maschinenakustische Kenntnisse. Dementsprechend benötigt der Konstrukteur Hilfsmittel, die ihm bei der Lösung konstruktionsspezifischer Probleme unterstützen.

Das hier vorgestellte Projekt behandelt die systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele und wird von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin gefördert.

Acoustical concerns are more and more important due to legal and market demands. Therefore the designer needs specific tools, which supports him during product development.

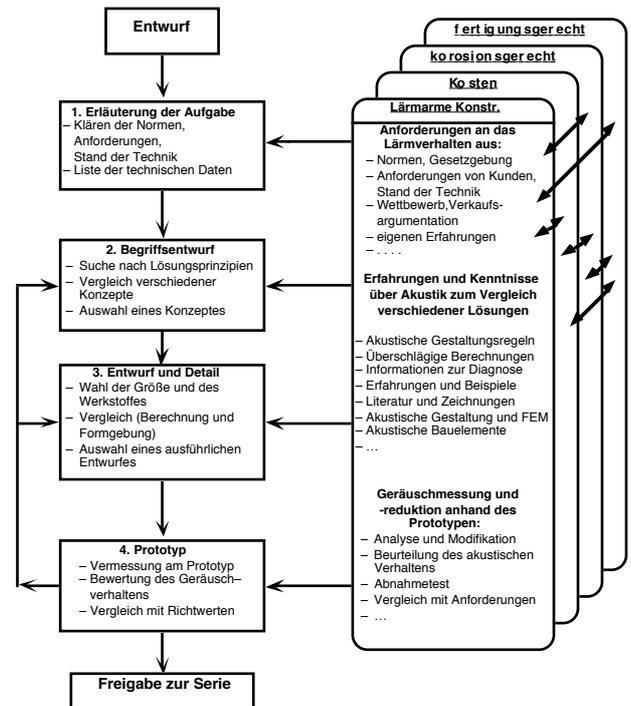
This project deals with the systematic collection of machine acoustic design examples and is funded by „Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin“

### 1 Einleitung

Maschinenakustische Produkthanforderungen gewinnen für viele Industrieunternehmen aufgrund verschärfter gesetzlicher Bestimmungen des Arbeits- und Immissionschutzes (beispielsweise /1/, /2/ bzw. /3/) sowie steigender Marktanforderungen an Bedeutung. Die maschinenakustischen Eigenschaften eines Produktes werden weitgehend in der Konstruktion festgelegt.

Bei der Entwicklung von Produkten muß der Konstrukteur ständig und in allen Konstruktionsphasen Entscheidungen mit dem Ziel treffen, die gegebenen Produkthanforderungen zu erfüllen, obwohl ihm, abhängig vom jeweiligen Informationsstand während des Konstruktionsprozesses, zum Teil die Grundlagen für eine solche Entscheidungsfindung

fehlen. Dabei sind zusätzlich Kompromisse zwischen unterschiedlichen, teilweise konträren Gesichtspunkten zu finden, **Bild 1**. 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 keine Hauptforderung dar, die eine hohe Aufmerksamkeit erfährt, sondern ist eine – wenngleich immer bedeutendere – Nebenforderung.

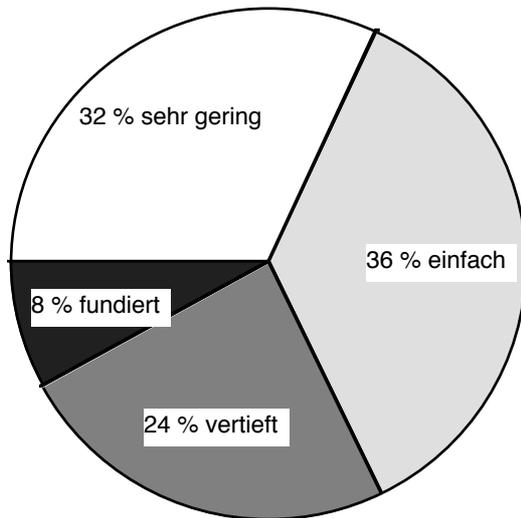


**Bild 1:** Verknüpfung konstruktionsspezifischen Wissens mit der allgemeinen Konstruktionsmethodik, in Anlehnung nach /4/

Dies hat zur Folge, daß eine mögliche Lärmproblematik erst in späten Phasen des Konstruktionsprozesses zutage tritt. Stellt sich beispielsweise beim Prototyp 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 wesentlich effektivere und einfachere Maßnahmen zur Geräuschminderung darstellen können.

Nach einer Industriebefragung /8/ besitzen Konstrukteure in der Regel allenfalls akustisches Grundwissen, **Bild 2**. Infolgedessen werden Konstruktionsentscheidungen oft ohne hinreichende Kenntnis ihrer maschinenakustischen Bedeutung gefällt.



**Bild 2:** Maschinenakustische Kenntnisse von Konstrukteuren in den befragten Unternehmen /8/

Unzureichende Informationsbereitstellung während der Konstruktion kann zu schalltechnisch nicht ausgereiften Produkten führen, an denen dann zeit- und kostenintensive Nachbesserungen erforderlich werden.

Die Dringlichkeit der Lärminderung an Maschinen zeigt sich unter anderem in der Häufigkeit von Fällen berufsbedingter Lärmschwerhörigkeit und den daraus resultierenden gesetzlichen Vorschriften zum Lärmschutz. Diese verschärften maschinenakustischen Produkthanforderungen verlangen von vielen Herstellern Maßnahmen der Lärmreduzierung ihrer Produkte. Die Notwendigkeit, die Schall-emission eines Produktes bereits bei dessen Konstruktion zu berücksichtigen, ist bereits in verschiedenen Veröffentlichungen aufgezeigt worden, /4/, /5/, /6/, /7/, /9/ und hat für schalltechnisch anspruchsvolle Produkte bereits Eingang in die Konstruktionspraxis gefunden. Für die Konstruktion lärmarmen Maschinen müssen aus Konstrukteurs-sicht aufbereitete, konstruktionsrelevante maschinenakustische Informationen durch geeignete Hilfsmittel bereitgestellt werden.

Eine Unterstützung in der lärmarmen Konstruktion kann durch unterschiedliche Informationen erfolgen. Die nachfolgend aufgelisteten Hilfsmittel besitzen eine unterschiedliche Verbreitung und Bedeutung: Konstruktionsregeln und Konstruktionsbeispiele, Datenblätter, Zuliefererinformationen, Messungen, Normen, Richtlinien, maschinenakustische Literatur, Datenbanken, Erfahrungen, Berechnungsprogramme, theoretische Modelle, Ähnlichkeitsgesetze, Schätzformeln und Informationen über generelle Trends. Auch ist die Anwendung der Hilfsmittel z. T. abhängig von der gerade durchlaufenen Konstruktionsphase, vgl. **Bild 1**, und dem daraus resultierenden Informationsbedarf des Konstrukteurs. So kommen bei der Klärung der Aufgabe solche Quellen zum Tragen, die maschinenakustische Produkthanforderungen bereitstellen können. In der Konzeptphase sowie in der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase werden maschinenakustische Informationen zum Vergleich unterschiedlicher Lösungen benötigt, wobei in der Konzeptphase eher allgemeine Informationen gegeben werden können (schließlich ist die Vorstellung vom Produkt selbst noch relativ unsicher und ungenau). In der Prototypenphase sind schließlich Informationen zu Geräuschmessung und -minderung anhand des Prototypen erforderlich.

Von besonderer Bedeutung für die (hinsichtlich der Festlegung von Produkteigenschaften entscheidenden) frühen Phasen der Konstruktion sind leicht zugängliche, verständliche maschinenakustische Informationen. Konstruktionsregeln und -beispiele besitzen hier eine besondere Bedeutung, da sie auch für andere Wissensgebiete (z. B. fertigungsgerechtes, montagegerechtes, instandhaltungsgerechtes, sicherheitsgerechtes Konstruieren) verfügbar und in praktischer Anwendung sind und somit bereits ein geläufiges Konstruktionshilfsmittel darstellen. Auch ist die prägnante Wissensbereitstellung vorteilhaft für eine schnelle konstruktive Umsetzung.

## 2 Ziel des Vorhabens

Das Ziel des von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin geförderte Forschungsvorhabens ist die systematische Zusammenstellung von Konstruktionsbeispielen zur praxisgerechten Erläuterung der in ISO/TR 11688 /4/ aufgeführten Konstruktionsregeln. Dabei sollen die Beispiele dem aktuellen Stand der Technik entsprechen sowie maschinenakustisch anschaulich und für Kon-

strukture (als Zielgruppe des technischen Berichts und der Beispiele) leicht nachvollziehbar sein.

**3 Sichtung und Sammlung verfügbarer Beispiele**

Der internationale technische Bericht ISO/TR 11688 /4/ stellt eine Verknüpfung des Sachsystems "Maschinenakustik" mit dem Handlungssystem "Konstruktionsmethodik" her und orientiert sich so an der üblichen Vorgehensweise der Konstrukteure. In dem Dokument wird eine Rückführung der Schallentstehung auf das physikalische Geschehen (Anregung durch Schallentstehungsmechanismen, Übertragung, Abstrahlung) vorgenommen, welches der Denkweise der in physikalischen Wirkprinzipien und Abläufen denkenden Konstrukteure entspricht. Dieses Dokument enthält eine Reihe von Konstruktionsregeln, die an den physikalischen Vorgängen der Schallentstehung, Weiterleitung und Abstrahlung ansetzen. Das in /4/ geschaffene, aus konstruktionsmethodischer Sicht richtungsweisende Dokument kann optimal zur dringend benötigten Konstruktionsunterstützung genutzt werden, wenn die bereits vorhandenen Konstruktionsregeln durch Konstruktionsbeispiele verständlich erläutert und damit hinsichtlich ihrer praktischen Nutzung aufgewertet werden.

Für die Einordnung von maschinenakustischen Konstruktionsbeispielen wurde die Struktur der Konstruktionsregeln der ISO/TR 11688-1 bzw. DIN 45635-1 verwendet.

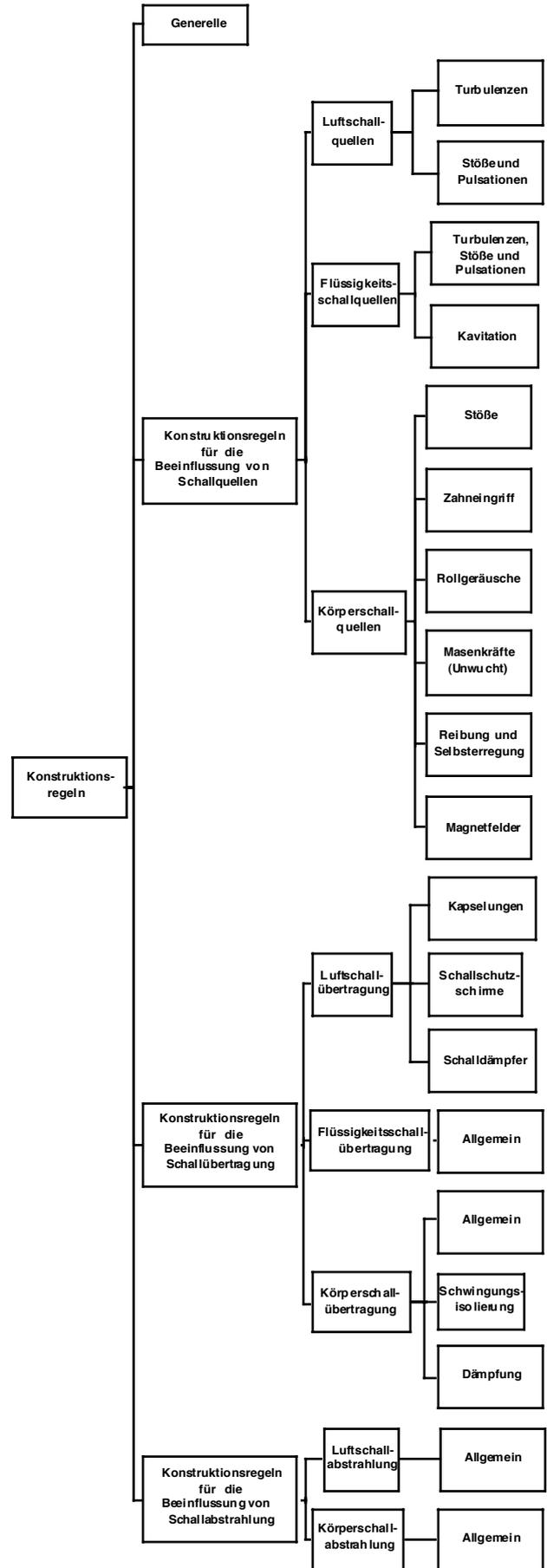
**Bild 3** gibt die Struktur der maschinenakustischen Konstruktionsregeln graphisch wieder. Die erstellte Struktur gruppiert die einzelnen Konstruktionsregeln in insgesamt 19 Untergruppen, die nach der jeweiligen Lärmart (Luft-, Flüssigkeits- und Körperschall) und den Hauptgruppen (Quelle, Übertragung und Abstrahlung) getrennt aufgeführt werden.

**4 Informationsbeschaffung**

Für die Beschaffung verfügbarer Beispiele bot sich das Durcharbeiten einschlägiger Literatur an. Zu nennen sind hier z.B. Konferenzbände, Fachzeitschriften, Fachbücher und Beispielsammlungen.

Von besonderem Interesse sind maschinenakustischen Konstruktionsbeispiele aus der industriellen Praxis, die parallel zu der Literaturrecherche gesammelt werden. Hierzu wurden konstruktorspezifische Zeitschriften auf Anzeigen und Artikel be-

rücksichtigt, in denen industrielle Produkte mit Bezug zur Geräusentwicklung angeboten werden.



**Bild 3:** Struktur der maschinenakustischen Konstruktionsregeln nach der ISO/TR 11688-1

Die gefundenen Konstruktionsbeispiele wurden entsprechend Ihrer Zugehörigkeit nach den in Kapitel 2 genannten 19 Untergruppen sortiert und abgelegt.

## 5 Bewertung und Erfassung von Konstruktionsbeispielen

Um für die endgültige Sammlung, eine objektive Auswahl geeigneter Konstruktionsbeispiele durchführen zu können, ist eine Bewertung dieser notwendig. Durch die hohe Anzahl der gefundenen Konstruktionsbeispiele wurde die Bewertung der einzelnen Konstruktionsbeispiele mit einer datenbanktechnischen Erfassung kombiniert. Die für die Bewertung verwendeten Kriterien beziehen sich auf Aktualität, maschinenakustischen Sinngehalt und leichter Nachvollziehbarkeit für den Konstrukteur.

Zur Bewertung der einzelnen Konstruktionsbeispiele wurde ein Kriterienkatalog aufgestellt und mit einer Wertigkeit versehen, **Tabelle 1**.

**Tabelle 1:** Kriterienkatalog mit zugehörigen Wertigkeiten

Kriterien	Wertigkeit
Eindeutigkeit f. d. Konstrukteur	4
Qualität der Information	4
Angabe der Absolutpegel	3
Differenzpegel Vor- u. Nachher	3
Abbildung oder Zeichnung	3
Anwendungsgrenzen	2
Diagramme	2
Berücksichtigung von Kosten	1
Formelmäßiger Zusammenhang	1

Jedes dieser Kriterien kann mit einer 1 (ungenügend), 2 (befriedigend) oder 3 (gut) bewertet werden und wird dann mit der Wertigkeit des jeweiligen Kriteriums multipliziert. Durch Aufsummieren der Bewertungskennzahlen aller Kriterien ergibt sich die Bewertungskennzahl eines Konstruktionsbeispiels, anhand der diese verglichen werden können.

Für die datenbanktechnische Erfassung wurde ein Datenblatt erstellt. Neben den oben erwähnten Informationen enthält dieses auch die Konstruktionsregel, eine Kurzbeschreibung der Lärminderung,

die Literaturstelle und zum Auffinden eine Zuordnungsnummer.

## 6 Informationszugriff

Der Konstrukteur steht je nach Problemstellung vor der Schwierigkeit, das aussagekräftigste Konstruktionsbeispiel für seine Problemstellung zu finden. Ein Konstrukteur mit geringer maschinenakustischer Erfahrung wird nur selten die direkte Geräuschursache seiner Konstruktion sofort ausfindig machen können, um so schnell und zielorientiert auf das für ihn zutreffende Konstruktionsbeispiel zugreifen zu können. Dagegen wird der als maschinenakustisch erfahren geltende Konstrukteur den Geräuschmechanismus schnell lokalisieren können und ist somit in der Lage, über die in der ISO/TR 11688-1 enthaltene Struktur der Konstruktionsregeln das für seinen Problemfall zutreffende Konstruktionsbeispiel auszuwählen.

Somit sind Auswahlmechanismen bzw. Abfragemechanismen für das schnelle und zielorientierte Auffinden „passender“ Konstruktionsbeispiele in Abhängigkeit des Erfahrungsstandes des Konstrukteurs notwendig.

Um dieser unterschiedlichen Vorgehensweise gerecht zu werden, wurden die Datensätze der Konstruktionsbeispiele nach dem zugehörigen Oberbegriff der Konstruktionsregeln (z.B. Stoß, Magnetfelder, Turbulenzen) und den Konstruktionsregeln selbst geordnet und ferner zusätzlich mittels weiterer Kriterien eingruppiert.

Bei diesen Kriterien wurde darauf geachtet, daß die Zuordnung der Beispiele zu bestimmten Gruppen der Denkweise des Konstrukteurs entspricht. Verwendung fand hier die Eingruppierung nach Branchen und Komponenten. Durch diese zusätzliche Gruppierung hat der Konstrukteur die Möglichkeit sich Konstruktionsbeispiele aus einer bestimmten Branche, eines Maschinentyps oder einer geräusch erzeugenden Teilkomponente zu erhalten. Durch diesen Auswahlmechanismus ist die gezielte Einschränkung der vorhandenen Konstruktionsbeispiele möglich, welches mittels einer datenbanktechnischen Realisierung auch sukzessiv erfolgen kann.

In vielen Fällen empfiehlt sich die Erstellung eines akustischen Modells nach ISO 11688, aus dem die Suchkriterien abgeleitet werden können.

### 7 Beispielaufbereitung

Für eine schnelle Informationsauswahl müssen die bereitgestellten maschinenakustischen Konstruktionsbeispiele so aufbereitet und präsentiert werden, daß der Konstrukteur auf übersichtliche Art und Weise die notwendigen Informationen auswählen und auf diese zugreifen kann.

Dazu wurde ein Formblatt entworfen, das dem Konstrukteur alle notwendigen Informationen des Konstruktionsbeispiels zur Verfügung stellt. Das datenbanktechnische Formblatt wurde dazu aus Übersichtsgründen auf 2 Seiten aufgeteilt und enthält zum einen Zuordnungsinformationen und zum anderen beispielbeschreibende Informationen.

Die erste Seite, **Bild 4**, stellt im ersten Abschnitt (Zuordnungsteil) zum einen die grundsätzliche Zuordnung des Beispiels zu einer Branche und Komponente aus der Sicht des Konstrukteurs und zum anderen eine maschinenakustische Zuordnung nach der ISO/TR 11688-1 (prinzipielle maschinenakustische Beeinflussung sowie die zugehörige Konstruktionsregel) dar.

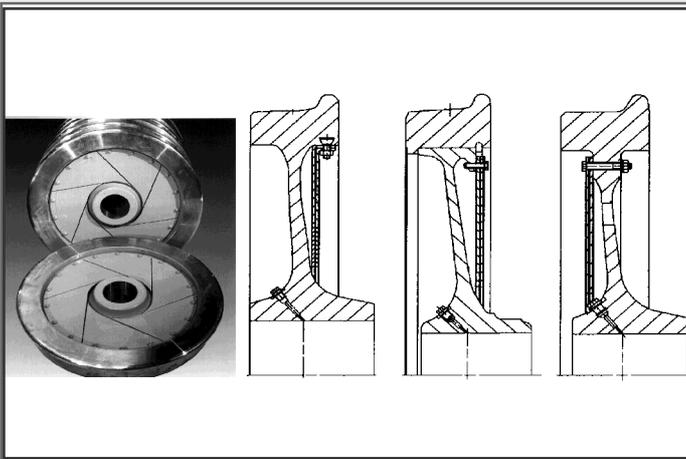
Im zweiten Abschnitt erfolgt die allgemeine Be-

schreibung des Konstruktionsbeispiels mittels einer Abbildung, deren Kurzbeschreibung sowie der Erläuterung der Schallquelle.

Auf der zweiten Seite, **Bild 5**, erfolgt die Beschreibung der angewandten Schallminderungsmaßnahme. Dazu folgen weitere Angaben über das Schallspektrum, der Anwendungsgrenzen, die Schallpegel (vorher und nachher) und die Literaturangabe. Für weitere Anmerkungen, die nicht in die vorher erwähnten Felder sinnvoll eingetragen werden können, steht ein weiteres Feld „Anmerkungen“ zur Verfügung.

### 8 Fazit

Mittels dieser differenzierten Eingliederung und Aufteilung der maschinenakustischen Konstruktionsbeispiele hat der Konstrukteur die Möglichkeit, sich schnell und effizient die Wirkungsweise der lärmindernden Maßnahmen in Abhängigkeit der maschinenakustischen Konstruktionsregeln sowie komponenten- bzw. branchenabhängig darstellen zu lassen.

<p><b>Beeinflußung der Körperschallübertragung</b></p> <p><b>Konstruktionsregel für Dämpfung</b></p> <p><b>Konstruktionsregel Erhöhung der Dämpfung</b></p>	<p><b>Schallart Körperschall</b></p>	<p><b>Branche</b> Fahrzeugbau</p> <p><b>Produktbezeichnung</b> Schienenfahrzeuge</p> <p><b>Typebezeichnung</b> Führungssystem</p> <p><b>Teilkomponente</b> Rad</p>
<p><b>Abbildung der Komponente</b></p> 		<p><b>Beschreibung des Beispiels</b> Schwingsabsorber an Eisenbahnrädern.</p>
		<p><b>Beschreibung der Schallquelle</b> Aufgrund einer starren Verbindung zwischen Rädern und Achse, wird ein tangentiales Abrollen der Räder auf dem Schienenbogen verhindert. Der auftretende Stick-Slip-Effekt führt zu einer Anregung des Rades</p>
		<p>Seite 1 von 2</p>

**Bild 4:** Seite 1 des Formblatts (allgemeiner Teil)

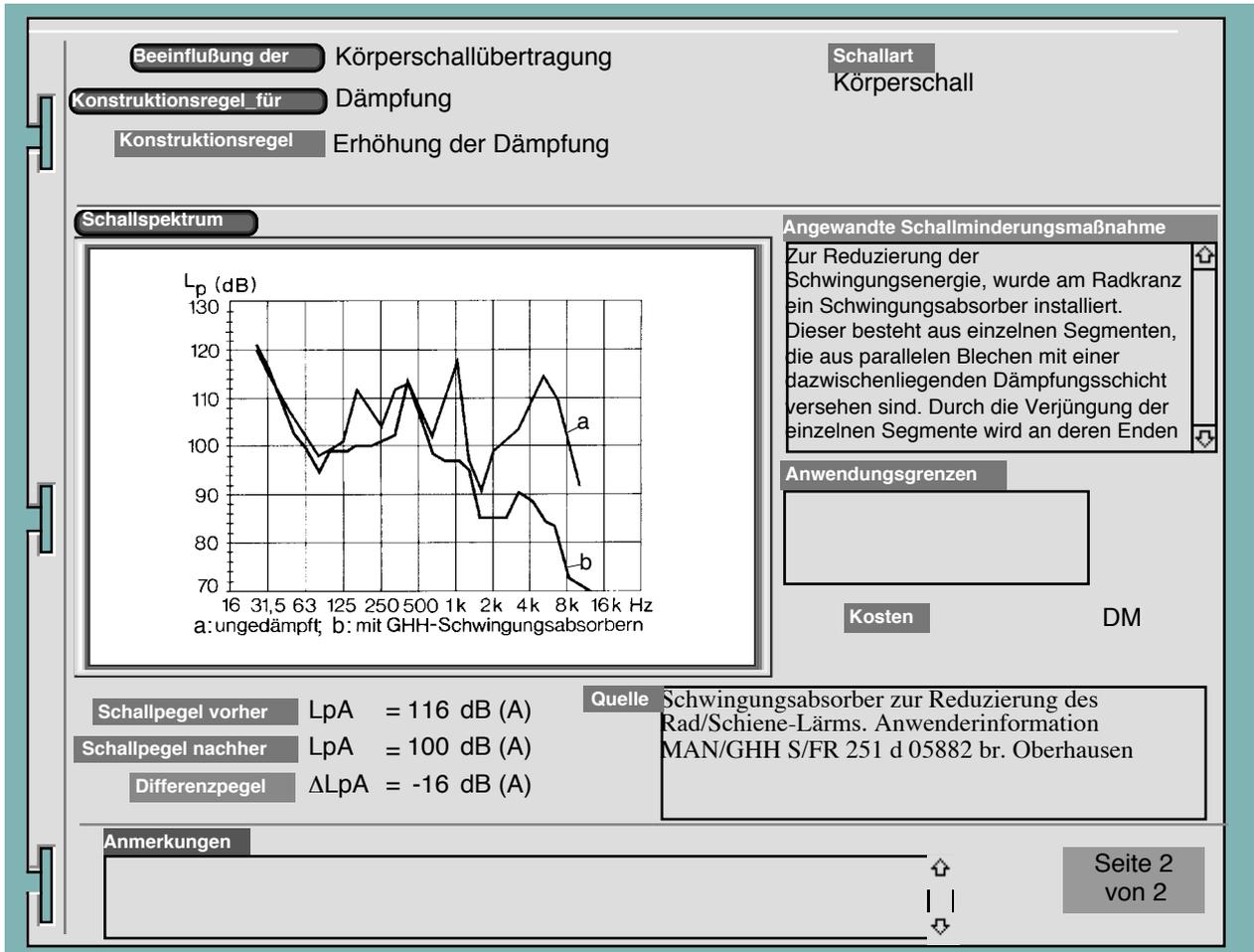


Bild 5: Seite 2 des Formblatts (maschinenakustischer Teil)

## 9 Literaturverzeichnis

- /1/ Richtlinie 86/188/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaft vom 12. Mai 1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz. ABl. Nr. L137 24.5.86 S.28.
- /2/ Richtlinie 89/392/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 14. Juni 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen. ABl. Nr. L183 29.6.89 S.9.
- /3/ Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) vom 16.7.68, Beilage zum Bundesanzeiger Nr. 137.
- /4/ 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.
- /5/ VDI 3720 Bl. 1: Lärmarm Konstruieren. Allgemeine Grundlagen. Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure. Ausg. Nov. 1980.
- /6/ Kurze, G.; Dietz, P.: Lärmarm Konstruieren XIII – Schalltechnische Regeln und Konstruktionsmethodik. Forschungsbericht Nr. 424 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag Nordwest, 1985.
- /7/ Dietz, P.: Konstruktion lärmarmen Maschinen. Vorlesungskript IMW TU Clausthal. Clausthal-Zellerfeld: 1994.
- /8/ Haje, D.; Gummersbach, F.; Schmidt, A.: Inquiry Results about Low Noise Design Clausthal, März 1994, unveröffentlicht
- /9/ Haje, D.: Lärmarm konstruieren XVII; Entwicklung eines Informationssystems zur Konstruktion lärmarmen Produkte; Forschungsbericht Nr. 768 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag Nordwest, 1997