

Informationsbasis zur Konstruktion lärmarmen Produkte

Gummersbach, F.

Zur Erfüllung von Produktanforderungen müssen dem Konstrukteur geeignete Hilfsmittel zur Verfügung stehen, die ihn bei der Lösung von Teilproblemen unterstützen. Dabei müssen die in den Hilfsmitteln enthaltenen Informationen derart beschaffen sein, daß sie Zusatzinformationen enthalten, die der Konstrukteur zur Bewertung benötigt.

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.. The needed tools have to have such properties that the designer is able to select the appropriate measure.

1 Einleitung

Der Konstrukteur steht heute mehr denn je vor der Aufgabe seine konstruktive Tätigkeit innerhalb einer festgelegten Zeit zu erfüllen und dabei die ganzheitliche Berücksichtigung aller Forderungen zu erfüllen. So treten neben den Hauptforderungen (Erfüllung der Funktion) immer mehr Nebenforderungen (Montage-, Fertigungs-, Recyclinggerecht, Lärmarm, ...) in den Vordergrund, die parallel erfüllt werden müssen.

Die Anforderungen an ein Produkt betreffen zum einen die der Funktionserfüllung in Form von Funktionsforderungen, die den Zweck der Maschine angeben und die Zustands- und Eigenschaftsänderungen beim Energie-, Stoff- und Signalumsatz des Produktes kennzeichnen. Zudem müssen im Konstruktionsprozeß auch Randbedingungen erfüllt werden, die sich nicht direkt auf die Funktion beziehen, sondern darauf, wie diese erfüllt werden soll. Diese Betriebsforderungen sind sehr vielfältig und können unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit sowie der Mensch-Maschine-Beziehung gesehen werden, wobei betriebssicherheitliche Aspekte in den beiden zuvor genannten Bereichen zu finden sind, **Bild 1**.

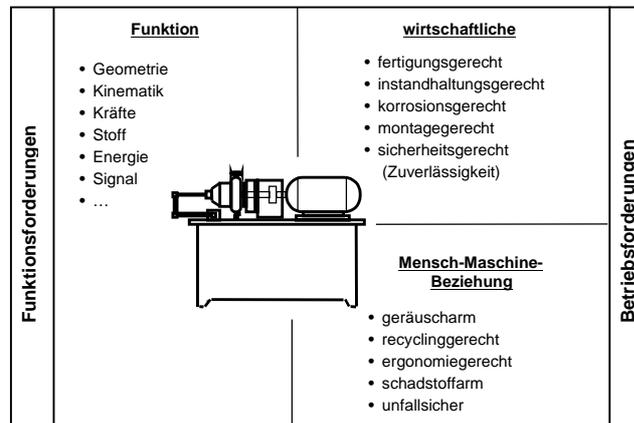


Bild 1: Anforderungen an ein Produkt

2 Problematik

Die Berücksichtigung der Betriebsforderungen umfaßt unter Umständen ein weites Feld und wird mit steigender Anzahl der Anforderungen immer komplexer. Zusätzlich bilden sich oft widersprechende Anforderungen, die unter Abwägung der Wertigkeit meist zu einer Kompromißlösung führen. Beispielhaft seien hier Zielkonflikte im Automobilbau genannt (Härte der Federung, Gewicht, Radstand usw.), wo unter den jeweiligen Zielen ein Kompromiß untereinander gefunden werden muß. Zur Unterstützung des Konstrukteurs bei der Umsetzung der Betriebsforderung benötigt der Konstrukteur, wie bei der Umsetzung der Funktionsforderungen, problemspezifisches Methoden- und Faktenwissen.

Diese Nebenforderungen berühren häufig Fachgebiete (z.B. die Ergonomie, die Umweltwissenschaften oder die Maschinenakustik) in denen der Konstrukteur jedoch nicht die zusätzliche Ausbildung erhalten hat.

Zur effizienten und zielorientierten Umsetzung der jeweiligen Forderungen ist die Kenntnis über die dazu notwendigen Hilfsmittel in Form von Fakten- und Methodenwissen notwendig. Das hierzu notwendige Wissen kann neben der einschlägigen Literatur, diversen VDI – Richtlinien oder Normen entnommen werden. Wie in **Bild 3** dargestellt, ist für die Berücksichtigung der verschiedenen Betriebsforderungen in Abhängigkeit des Stadiums des Konstruktionsprozesses problemspezifisches Fakten- und Methodenwissen notwendig. Es zeigt sich zudem, daß es eine Abhängigkeit zwischen den jeweiligen Anforderungen gibt. So beeinflusst beispielsweise jede Änderung die entstehenden Kosten eines Produkts.

Die gezielte Bereitstellung informationstechnischer Hilfsmittel unterstützt den Konstrukteur sachbezogene Problemgebiete (Montage-, Fertigungs-, Recycling-, Kostenge-

Die gezielte Bereitstellung informationstechnischer Hilfsmittel unterstützt den Konstrukteur sachbezogene Problemgebiete (Montage-, Fertigungs-, Recycling-, Kostenge-

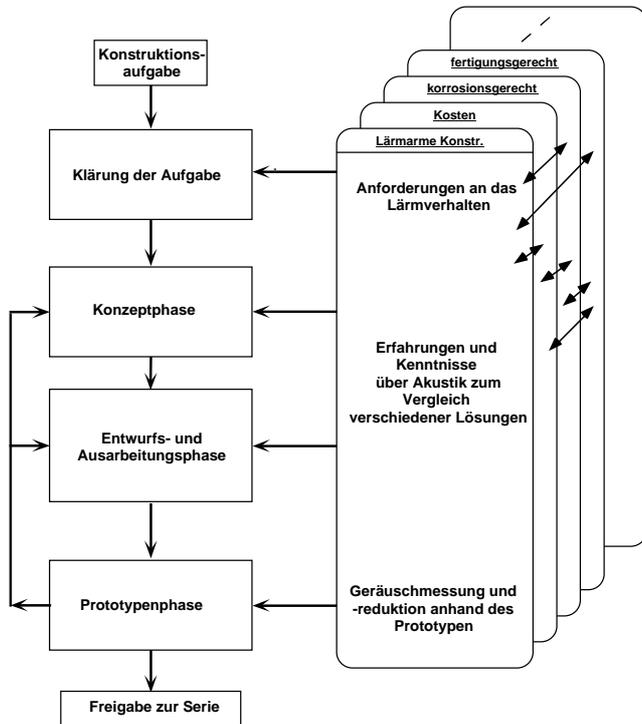


Bild 3: Verknüpfung konstruktionsspezifischen Wissens mit der allgemeinen Konstruktionsmethodik, in Anlehnung an /1/

recht und u.a. Lärmarm) möglichst umfassend zu berücksichtigen. Hier stehen unter anderem, Sammlungen von Gestaltungsregeln zur Verfügung, die dem Konstrukteur für bestimmte Problemgebiete Hinweise zur Gestaltung des Produktes geben. Zu erwähnen ist jedoch, daß die mit der Nutzung solcher informationstechnischer Werkzeuge verbundene Methodologie durchaus noch nicht entwickelt ist und daß sich die wissenschaftliche Grundlagenforschung auf folgende Aufgaben konzentrieren wird:

- Aufbereitung des Fachwissens auf seine Anwendung bei der Entwicklung von Produkten
- Datenhaltung und Aktualisierung

- Schnittstelle zwischen dem „fragenden“ Konstrukteur und der „antwortenden“ Wissensbasis
- datentechnische Verknüpfung zu existierenden Produktmodellierungswerkzeugen /2/

3 Konstruktion lärmarmen Produkte

3.1 Beeinflussungsmöglichkeiten zur Lärm-minderung

Im weiteren soll hier auf die Möglichkeiten der Lärm-minderung mittels konstruktiver Maßnahmen eingegangen werden. Eine nähere Betrachtung der konstruktiven Ansatzpunkte ist sinnvoll, um somit auf notwendige Hilfsmittel schließen zu können.

Zur Berücksichtigung maschinenakustischer Gesichtspunkte ist die Kenntnis der zur Lärm-minderung notwendigen Beeinflussungsmöglichkeiten unabdingbar. Entsprechend der Schalleitungskette wird dies in **Bild 2** für den Bereich der Akustik und unter konstruktiven Gesichtspunkten anhand einer Maschinenstruktur verdeutlicht. Dabei setzt sich akustisch gesehen der Geräuschmechanismus aus der Schallentstehung, -leitung und -abstrahlung zusammen, wobei in Bezug auf eine reale Maschinenstruktur parallel zu der Schallentstehung die Schallquelle aufgrund von Wechselkräften innerhalb der Bauteile der Maschine gesehen werden kann. Die Schalleitung erfolgt dann über die Maschinenstruktur und der Medien so daß letztendlich die Schallenergie über die Bauteiloberflächen bzw. Öffnungen abgestrahlt wird. Hieraus ergeben sich die prinzipiellen Beeinflussungsmöglichkeiten an der Quelle, Übertragung und Abstrahlung zur Konstruktion lärmarmen Produkte, **Bild 2** (rechts).

3.2 Prinzipielle Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Konstruktion lärmarmen Produkte soll anhand von **Bild 4** dargelegt werden.

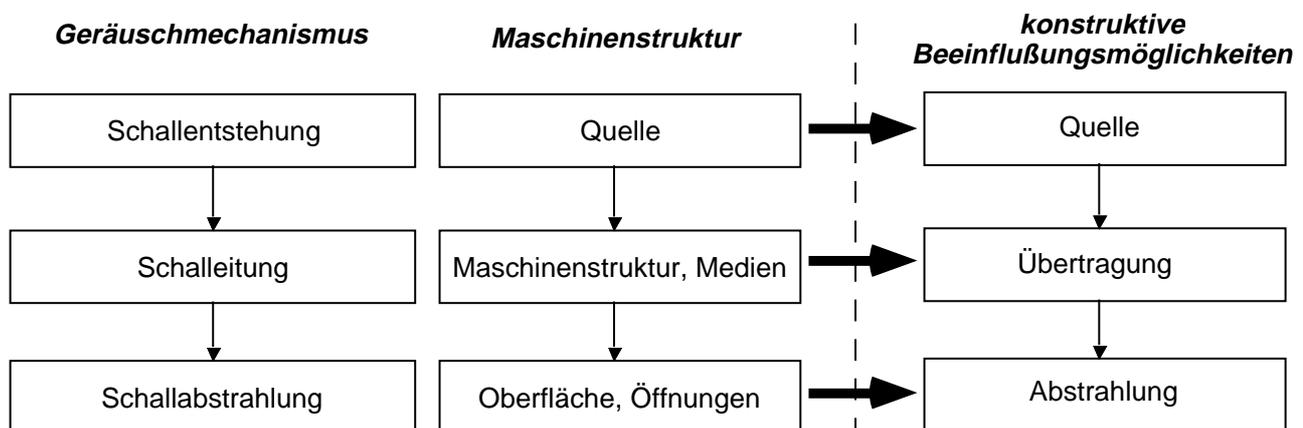


Bild 2: Schallkette unter akustischen und konstruktiven Gesichtspunkten in Anlehnung an /1/

Ausgehend von den Anforderungen eines Konstruktionsobjekts kann nach der Erstellung des ersten Konzepts bzw. bei Bestehen einer Maschine ein Schallflußmodell erstellt werden. Die Erstellung basiert u.a. auf dem Aufbau eines akustischen Modells mittels Funktionsträgern, welche jeweils eine Komponente des Analyseobjekts beinhaltet. Das derart erstellte Schallflußmodell beinhaltet damit den prinzipiellen konstruktiven Aufbau des Konstruktionsobjektes in abstrakter Form. Die im Modell enthaltenen semantischen Beziehungen können somit für einen weiteren Zugriff auf (maschinenakustische und andere) Hilfsmittel verwendet werden, **Bild 4 oben**. Eine nähere Erläuterung bezüglich Aufbau und Nutzung eines Schallflußmodells ist in /3/ zu finden.

Die graphische Repräsentation des Konstruktionsobjekts zeigt alle prinzipiellen Beeinflussungsmöglichkeiten und steht nun für eine schalltechnische Analyse zur Verfügung. Durch eine tabellarische Auflistung aller Schallquellen, Übertragungswege und Abstrahlungsmöglichkeiten können diese detaillierter untersucht werden.

Nach einer Bewertung aller Schallquellen, Übertragungswege und Abstrahlungsmöglichkeiten, können für die Relevantesten geeignete Lärmreduzierungsmaßnahmen erarbeitet werden. Die durchgeführten Arbeitsschritte dienen rein der Analyse des Konstruktionsobjektes.

Der nächste Arbeitsschritt dient der Lösungsfindung. Hierzu ist eine in sich konsistente Informationsbasis notwendig, die dem Konstrukteur zielorientiert geeignete Lärmreduzierungsmaßnahmen erarbeiten läßt, **Bild 4 Mitte**. Neben den Lärmreduzierungsmaßnahmen sollten diese auch Hinweise über konstruktive Gesichtspunkte, Abschätzverfahren, Konstruktionsbeispiele und auch Anwendungsgrenzen beinhalten.

Nach Abwägung unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten, können abschließend konstruktive Änderungen für das vorliegende Konstruktionsobjekt unter Verwendung der aussichtsreichsten Lärmreduzierungsmaßnahmen erarbeitet werden, **Bild 4 unten**.

Durch eine konsequente Nutzung der vorgeschlagenen Vorgehensweise mittels eines Schallflußmodells kann die direkte Einbindung von Anforderungen und der Auswahl von

Wirkprinzipien unter maschinenakustischen Gesichtspunkten erfolgen. Eine Dokumentation aller mit dem Konstruktionsobjekt verbundenen Sachsysteme läßt sich somit ebenfalls in einfacher Art realisieren.

Zu beachten ist hierbei ferner, daß mittels eines funktionsträgerorientierten Flußmodells auch eine Verknüpfung zu anderen Sachsystemen (recyclinggerecht, korrosionsgerecht usw.) möglich wäre, so daß die hier beschriebene Vorgehensweise einfach erweiterbar ist.

4 Informationsbereitstellung für den Konstrukteur

Allgemein kann der Wunsch eines Konstrukteurs in einem Informationssystem für die konstruktionsbegleitende Bereitstellung von konstruktionspezifischem Wissen für die Entwicklung lärmarmere Produkte gesehen werden. Dabei muß das Wissen in der Art aufbereitet, strukturiert und dem Benutzer

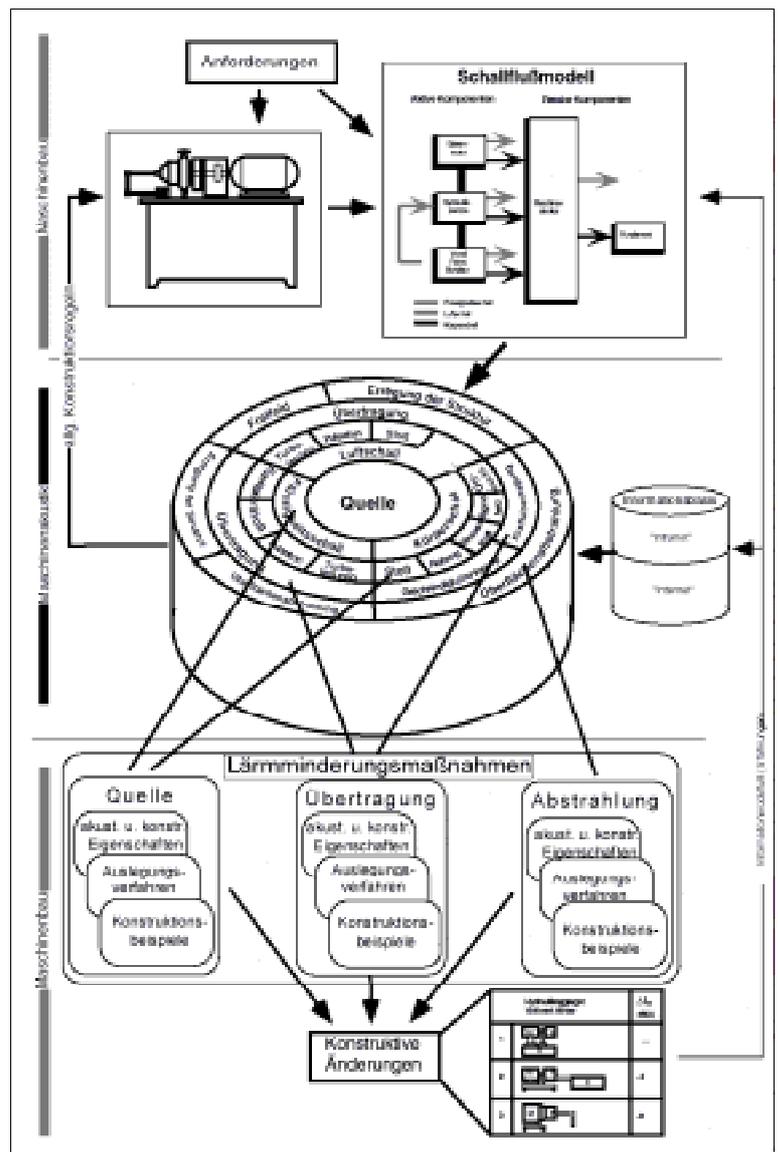


Bild 4: Vorgehensweise zur Konstruktion lärmarmere Produkte

zur Verfügung gestellt werden, daß auch Konstrukteure mit geringem maschinenakustischen Kenntnisstand, durch eine gezielte Nutzung von Methoden- und Faktenwissen der Maschinenakustik, die Lärmentwicklung des Produktes reduzieren können.

Bezogen auf die Konstruktion lärmarmen Produkte wäre dazu eine Informationsbasis zur Berücksichtigung maschinenakustischer Belange notwendig, die u.a. eine systematische Aufbereitung des im Sachsystem Maschinenakustik vorhandenen Wissens für die konstruktorsgerechte Nutzung vorsieht, um so eine ganzheitliche Betrachtung des Sachsystems Maschinenakustik im Konstruktionsprozeß zu ermöglichen.

4.1 Informationsstrukturierung

Der internationale technische Bericht ISO/TR 11688-1 /1/ stellt eine Verknüpfung des Sachsystems "Maschinenakustik" mit dem Handlungssystem "Konstruktionsmethodik" her und orientiert sich so an der üblichen Vorgehensweise der Konstrukteure. Dieses Dokument stellt eine Vorgehensweise unter konstruktions-systematischen Gesichtspunkten zur Verfügung und enthält eine Reihe von Konstruktionsregeln und Berechnungshinweisen, die an den physikalischen Vorgängen der Schallentstehung, Weiterleitung und Abstrahlung ansetzen.

Neben den generellen Konstruktionsregeln, die die methodische Vorgehensweise unterstützen, stellen die Weiteren Faktenwissen zu den speziellen Problemgebieten zur Verfügung. Letztere können wieder in zwei Gruppen (primäre und sekundäre) untergliedert werden. **Bild 5** gibt dazu die Struktur nach der die maschinenakustischen Konstruktionsregeln geordnet sind, graphisch wieder. Die erstellte Struktur gruppiert die einzelnen Beeinflussungsbereiche in insgesamt 19 Untergruppen, die nach der jeweiligen Lärmart (Luft-, Flüssigkeits- und Körperschall) und den Hauptgruppen (Quelle, Übertragung und Abstrahlung) getrennt aufgeführt werden.

Die erste Gruppe stellt die Gruppe der primären Maßnahmen dar (Beeinflussung an der Schallquelle). Die zweite Gruppe beinhaltet die sekundären Maßnahmen (Beeinflussung der Übertragung und Abstrahlung). Die in diesem Dokument enthaltene Einteilung nach den prinzipiellen Beeinflussungsmöglichkeiten soll als Grundschema für den Aufbau einer Informationsstruktur dienen.

4.2 Erstellung einer Informationsbasis

Für eine optimale Konstruktionsunterstützung benötigt der Konstrukteur eine problemorientierte Vorgehensweise, die eine zielgerichtete Konstruktion lärmarmen Produkte unter Berücksichtigung konstruktions-systematischer Aspekte unterstützt.

Da der Konstrukteur entsprechend einer Befragung in der Regel über gar keine bzw. geringe akustische Kenntnisse verfügt /4/, stellt die Bereitstellung eines schnell zu verstehenden und für die dargestellten Belange ausreichenden Hilfsmittels die Hauptaufgabe dar.

Ein zentraler und wichtiger Punkt zur Konstruktion lärmarmen Produkte, ist die Bereitstellung geeigneter prinzipieller Lärminderungsmaßnahmen.

Zur Berücksichtigung akustischer Belange eines Produktes ist entsprechend der allgemeinen Vorgehensweise des Problemlöseprozesses eine schalltechnische Analyse des Produktes notwendig

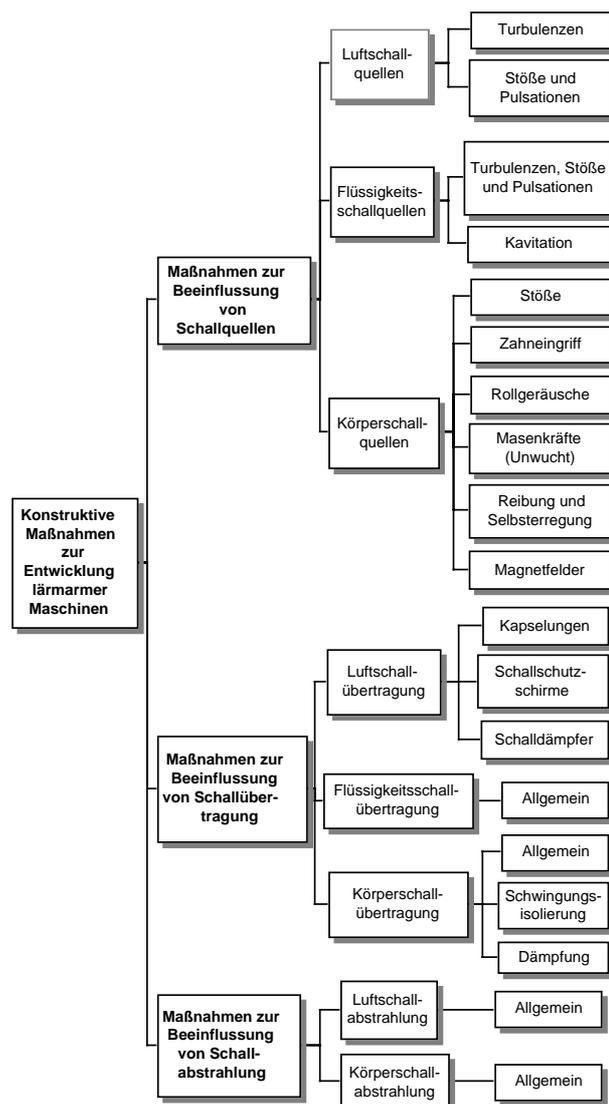


Bild 5: Struktur der konstruktiven Beeinflussungsmöglichkeiten nach /1/

um darauf aufbauend Lösungsmöglichkeiten zur Lärminderung zu erarbeiten. Abschließend erfolgt die Bewertung der Maßnahmen zur Lärminderung unter verschiedenen Gesichtspunkten. Dies beinhaltet neben funktionalen und wirtschaftlichen Aspekte auch die der Mensch-Maschine-Beziehung, entsprechend der zuvor dargestellten Grundstruktur von Anforderungen. Zur Analyse der Geräuschsituation ist die Ermittlung der für die Geräuschentstehung verantwortlichen Mechanismen notwendig. Die Wichtigkeit der Analyse kann parallel zu allen Problemlösungsprozessen gesehen werden, da ohne eine ordentliche Problemanalyse, die Ermittlung von Problemlösungen mit anschließender Bewertung nicht zielorientiert durchgeführt werden kann.

Die prinzipiellen Lärminderungsmaßnahmen können unter Berücksichtigung der zuvor in **Bild 5** dargestellten Gliederung in einer strukturierten Lösungssammlung abgelegt werden. Hierfür bieten sich systematisch geordnete Konstruktionskataloge nach /5/ an. Diese bieten nach /6/ einen schnellen Zugriff auf aufgabenorientierten Lösungen, ein möglichst vollständiges Lösungsspektrum, eine merkmalspezifische Lösungsauswahl und eine Algorithmmierung des Konstruierens an. Gegenüber den tabellarischen Lösungssammlungen haben die Konstruktionskataloge nach /5/ verbindliche Anforderungen an Inhalt, Aufbau und Vollständigkeit. Sie dienen als Informationsspeicher in übersichtlicher Form mittels ordnender Gesichtspunkte und unterstützen u.a. durch den systematischen Aufbau (Gliederung) den Einsatz zum methodischen Konstruieren. Durch die systematische Anwendung wird die Konstruktionssynthese zur Generierung von Gesamtlösungen aus abstrahierten Gesichtspunkten ermittelte Teillösungen. Ferner dienen sie zur systematisch geordneten Repräsentation von wenig bekannten Wissensgebieten /5/.

Hierzu zeigt **Bild 6** den prinzipiellen Aufbau einer Informationsbasis, die sich an den Grundaufbau der Konstruktionskataloge nach /5/ anlehnt. Der Grundaufbau dieser Kataloge sieht das Ablegen der Informationen in einheitliche Ordnungsschemata vor, welche prinzipiell den gleichen Aufbau besitzen. Die Kataloge werden dazu in der Regel in vier Teile gegliedert.

Der Gliederungsteil dient der Anordnung der ordnenden Gesichtspunkte sowie deren sinnvolle Unterteilung (Gliederung) zur widerspruchsfreien Darstellung der im Hauptteils abgelegten Informationen.

Im Hauptteil des Kataloges, der auch die Katalogart bestimmt, wird die eigentliche Information (Objekte, Operationen oder Lösungen) abgelegt. Dies kann u.a. durch Skizzen, Formeln und/oder Benennungen erfolgen.

Der Zugriffsteil dient der Charakterisierung der im Hauptteil befindlichen Informationen. Im Gegensatz zum Gliederungs- und Hauptteils sind die den Zugriffsteil bildenden ordnenden Gesichtspunkte frei wählbar, wobei diese oft anwendungs- und branchenabhängig sind. Die Zugriffsmerkmale sollten so gewählt werden, daß für den vorliegenden Anwendungsfall eine schnelle Auswahlmöglichkeit der im Hauptteil befindlichen Informationen möglich ist, vorteilhaft ist zudem die einfache Erweiterbarkeit des Zugriffsteils, da dieser von anderen Katalogen unabhängig ist. Anregungen zur Wahl der Gliederungs- und Zugriffsmerkmale gibt u.a. /5/ bzw. /7/ auf Basis physikalischer Gesichtspunkte.

Ferner schlägt Roth /5/ auch einen Anhang vor, in dem Angaben über Quellen, weiterführender Literatur, Anwendungsbeispiele und Anmerkungen enthalten sind und sich somit von den meist technischen Merkmalen des Zugriffsteils separat dargestellt wird.

Die in **Bild 6** dargestellten Kataloge zur Konstruktion lärmarmen Produkte beinhalten die für die Analyse und Lösungsfindung notwendigen Informationen. Der obere Katalog, der zur schalltechnischen Analyse dient, wird im Gliederungsteil entsprechend der ISO/TR 11688-1 /1/ enthaltenen Struktur der Schallquellen gegliedert, wobei hier eine weitere Gliederungsebene mit den eigentlichen Schallentstehungsmechanismen und deren Kurzbeschreibung notwendig ist. Im Hauptteil befinden sich die grundsätzlichen Hinweise zu primären und sekundären Lärminderungsmaßnahmen. Der Zugriffsteil beinhaltet Hinweise, unter welchen Randbedingungen die Schallentstehungsmechanismen auftreten, sowie deren akustische Eigenschaften wie die Art ihres Geräusches (impulsförmig, breitbandig, oder periodisch) sowie eine Zuordnung des Frequenzbereichs (nieder, mittel oder hochfrequent). Diese Informationen sind für eine weitere Auswahl bzw. Bewertung primärer und sekundärer Lärminderungsmaßnahmen notwendig.

Der Katalog zur Lösungsfindung von primären Lärminderungsmaßnahmen ist mit dem Gliederungsteil des Katalogs zur Analyse identisch. Im Hauptteil befinden sich eine oder mehrere Lösungsmöglichkeiten, die im Zugriffsteil näher charakterisiert werden. Dies erfolgt durch Angabe der

passenden Gestaltungsregel, dessen Anwendbarkeit mittels deren akustischen Eigenschaften sowie weiteren konstruktiven Hinweisen bei Anwendung dieser Maßnahme.

Die Kataloge mit den sekundären Lärminderungsmaßnahmen werden entsprechend der in **Bild 5** dargestellten Struktur gegliedert, wobei in Einzelfällen eine weitere Untergliederung sinnvoll erscheint. Die letzte Gliederungsebene stellt schon den Hauptteil dar und wird durch eine entsprechende Kurzerläuterung erweitert. Der Zugriffsteil enthält prinzipiell die gleiche Informationsstruktur wie der

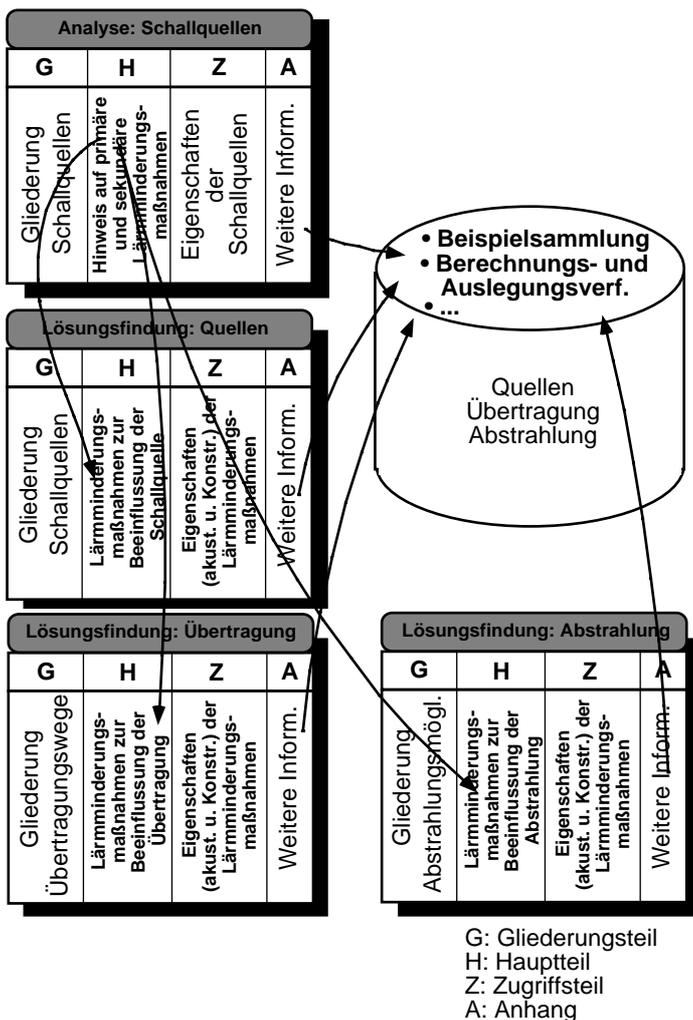


Bild 6: Aufbau und Anwendung der Informationsbasis

für die primären Maßnahmen.

Alle Anhänge der Konstruktionskataloge sind mit einem Verweis auf Beispielsammlungen, Berechnungs- und Auslegungsverfahren und Literatur der jeweiligen Problemgebiete versehen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Informationsstruktur stellt eine solide Basis für die systematische Erfassung und Be-

reitstellung maschinenakustischer Lärminderungsmaßnahmen dar. Durch die Gliederung nach den Beeinflussungsmöglichkeiten erhält der Konstrukteur ein Hilfsmittel mit dem er sich unter Verwendung eines Schallflußmodells (welches jedoch nicht zwingend erforderlich ist) zielorientiert geeignete Lärminderungsmaßnahmen erarbeiten kann, die sich zudem durch die Angaben im Zugriffsteil auf ihre Anwendbarkeit bewerten lassen. Durch eine Kombination der jeweiligen grundsätzlichen Maßnahmen (Reflexion und Absorption), z.B. mittels eines morphologischen Kastens, sind weitere kombinierte Lärminderungsmaßnahmen entwickelbar.

Für eine rechnerintegrierte Anwendung läßt sich durch die Verwendung der ordnenden Gesichtspunkte eine relativ schnelle Umsetzung in ein Datenbanksystem realisieren. Durch eine entsprechende Benutzeroberfläche wäre hier eine eigenständige Anwendung möglich, die jedoch auch in eine integrierte Systematik mit eingebunden werden kann.

6 Literatur

- ISO/TR 11688: Acoustics - Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment. Part 1: Planning, International Standardisation Organisation. Genf, März 1995
- Dietz, P.; Gummersbach, F.: 2. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens F1529; Lärmarm konstruieren - Systematische Zusammenstellung maschinenakustischer Konstruktionsbeispiele -; Clausthal 1998
- Dietz, P.; Haje, D.: Entwicklung lärmarmen Produkte -Rechnergestützte Beratungshilfen für den Konstrukteur-; IMW-Institutsmitteilung Nr. 23; Clausthal 1998
- Haje, D.; Gummersbach, F.; Schmidt, A.: Inquiry Results about Low Noise Design; Clausthal; März 1994; unveröffentlicht
- Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen; Band II Konstruktionskataloge; Springer-Verlag; Berlin Heidelberg 1994
- Ehrlenspiel, Klaus: Integrierte Produktentwicklung; Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion; Carl Hanser Verlag; München 1995
- Diekhöner, G.: Erstellen und Anwenden von Konstruktionskatalogen im Rahmen des methodischen Konstruierens; Diss. TU-Braunschweig 1980

