

## EQUIP – Wissensbasiertes System zur Entwicklung lärmarmen Produkte

Haje, D.; Gummersbach, F.

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

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

### 1. Ziel der Systementwicklung

Bei der Entwicklung von Produkten muß der Konstrukteur ständig Entscheidungen mit dem Ziel treffen, die gegebenen Produkt-Anforderungen zu erfüllen. Dabei sind stets Kompromisse zwischen unterschiedlichen, teilweise konträren Gesichtspunkten zu finden. Maschinenakustische Aspekte bleiben dabei, wie die Praxis zeigt, oft unbeachtet, da der Konstrukteur keinen einfachen Zugriff auf das relativ komplexe maschinenakustische Wissen hat. Die Minimierung der Geräuschentwicklung stellt in der Regel auch keine Hauptforderung dar, die eine hohe Aufmerksamkeit erfährt, sondern ist eine – wenngleich immer bedeutendere – Nebenforderung.

Dies hat zur Folge, daß eine mögliche Lärmproblema-

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

Das Ziel des Projektes EQUIP ist die Entwicklung eines Beratungssystems, das dem Konstrukteur in allen Phasen der Konstruktion auf einfache Weise maschinenakustisches Wissen zur Verfügung stellt, vgl. /1/. Hierzu werden die Vorgehensweise des Konstrukteurs sowie die benötigten maschinenakustischen Informationen detailliert beschrieben. Darüber hinaus wird das relevante maschinenakustische Wissen gesammelt, aufbereitet und so strukturiert, daß es dem Konstrukteur durch ein rechnergestütztes System bereitgestellt werden kann. Aufbauend auf diesen Tätigkeiten kann in 1995 mit der Implementierung des Systems begonnen werden.

### 2. Systemanforderungen der Anwender

Zur Bestimmung der Systemanforderungen wurde 1992 eine Umfrage unter 27 europäischen Unternehmen durchgeführt, vgl. /2, 3/. Desweiteren wurden die Konstruktionsprozesse der am Projekt beteiligten Industrieunternehmen anhand eines jüngst entwickelten Produktes analysiert.

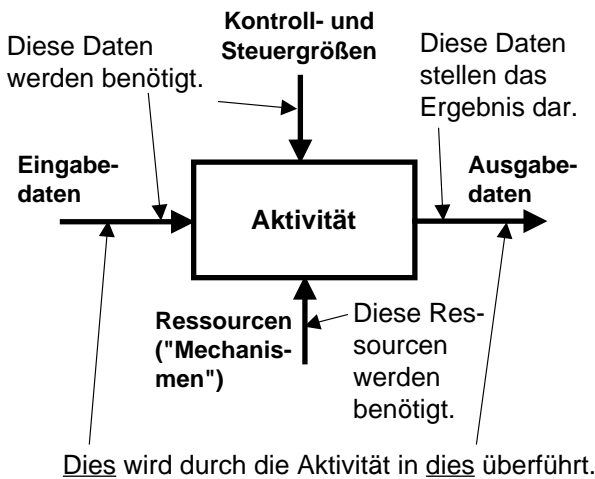
Das wissensbasierte System soll in weiten Bereichen anwendbar sein und dem Konstrukteur kontextorientierte Informationen liefern. Hierfür ist es erforderlich, daß es der Arbeitsweise des Konstrukteurs angepaßt ist und flexibel in seiner Anwendung ist. Weiterhin muß die Information, die bereitgestellt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

mit Fortschreiten des Konstruktionsprozesses immer detaillierter und exakter werden.

### 3. Konstruktion lärmarmen Produkte

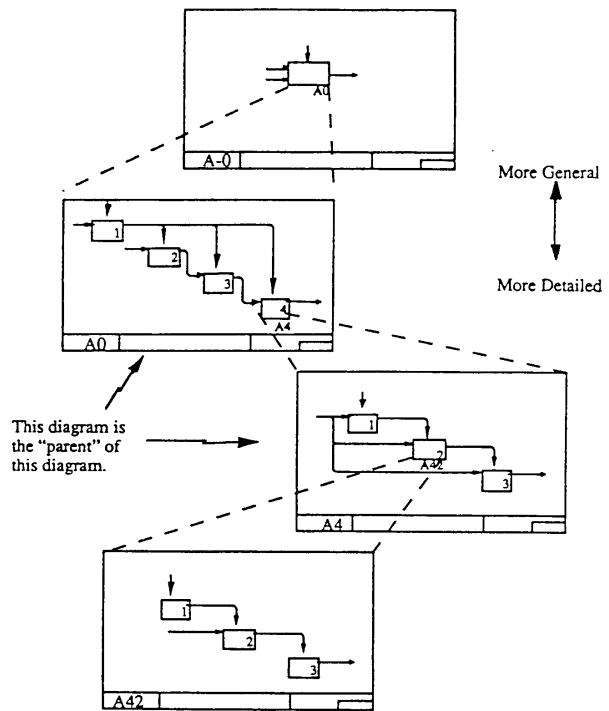
#### 3.1 Modellierung der Konstruktionsmethodik

Die Methodik zur Entwicklung lärmarmen Maschinen wurde im Rahmen des Projektes mit Hilfe der SADT-Methode beschrieben. SADT steht für "Structured Analysis and Design Technique" und ist eine in der Software-Entwicklung weit verbreitete Beschreibungssprache für Arbeitsabläufe. Sie wird benutzt, um die einzelnen Arbeitsschritte (Aktivitäten) zu beschreiben, ihre Position in der Arbeitsabfolge festzulegen und die involvierten Informationen (z.B. produktspezifischer und maschinenakustischer Art) und Ressourcen (Rechner, Datenbanken) zu definieren. In SADT-Diagrammen wird jede Aktivität durch einen Kasten dargestellt, in den der Name der Aktivität eingetragen ist. Pfeile kennzeichnen die involvierten Informationen sowie die benötigten Ressourcen. Die jeweilige Bedeutung der Pfeile wird durch ihre Anordnung am Kasten bestimmt: Eingabedaten werden links angetragen, Kontroll- und Steuergrößen oben, Ressourcen ("Mechanismen") unten und Ausgabedaten rechts; vgl. **Bild 1**.



**Bild 1** Beschreibung von Aktivitäten, Daten und Ressourcen in SADT-Diagrammen

Eine wichtige Eigenschaft von SADT ist, daß komplexe Abläufe in Einzelschritte zerlegt werden können, ohne daß die Diagramme unübersichtlich werden. In einem ersten Diagramm wird der generelle Ablauf beschrieben. Durch Zerlegen einzelner Aktivitäten in Unteraktivitäten, dargestellt in separaten Diagrammen, kann eine beliebig genaue Beschreibung erreicht werden, vgl. **Bild 2**.



**Bild 2** Zerlegen von Aktivitäten in Unteraktivitäten /4/

#### 3.2 Beschreibung der Konstruktionsmethodik

Die im Rahmen des Projektes entwickelte Konstruktionsmethodik läßt sich anhand von **Bild 3** zusammenfassend beschreiben. Das Bild beschreibt die Konstruktion eines lärmarmen Produktes, ausgehend von der Konstruktionsaufgabe und gesteuert durch maschinenakustisches Wissen. Das Ergebnis der Konstruktionstätigkeit ist ein fertig entwickeltes lärmarmes Produkt, oder, falls die Konstruktionsaufgabe nicht lösbar ist (z.B. wegen zu starker Einschränkungen), eine Liste von Vorschlägen zur Modifikation der Konstruktionsaufgabe.

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

Die Klärung der Aufgabenstellung beinhaltet die Auswahl anzuwendender Dokumente (Gesetze, Vorschriften, Normen, Richtlinien usw.) und die Bestimmung der maschinenakustischen Produkthanforderungen. Sie basiert auf der Art des Produktes (z.B. Fahrzeug, Baumaschine) und dem angestrebten Markt.

Die Erarbeitung eines Produktkonzepts basiert auf maschinenakustischen Konstruktionsregeln, einfachen Formeln und grundlegenden Zusammenhän-

gen. Hier bietet das System dem Konstrukteur Hilfe bei der Entwicklung eines ersten Produktkonzeptes, welches in den folgenden Aktivitäten detailliert und gegebenenfalls optimiert wird.  
Zur Beschreibung des akustischen Produktverhal-

tens wird ein maschinenakustisches Modell (Noise Path Model) des Produktes erstellt, das sowohl die Schallerzeugung als auch die Weiterleitung und die Abstrahlung des Schalls abbildet. Zur Modellerstellung ist die Konzentration auf die wichtigsten Quellen

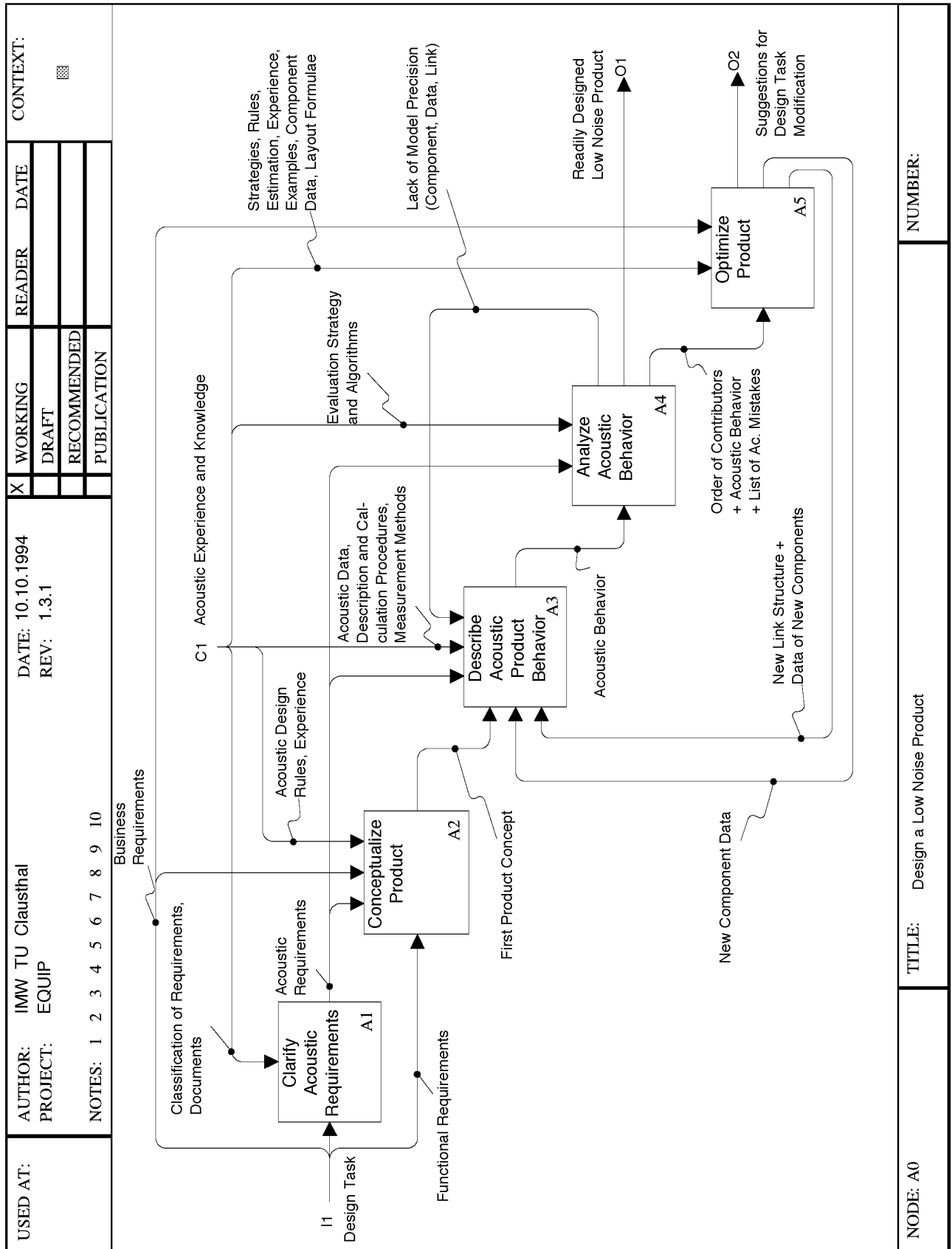


Bild 3 Methodik zur Konstruktion lärmarmen Produkte (Übersichtsschaubild des EQUIP-SADT-Modells)

ausreichend. Das Geräuschverhalten der einzelnen akustisch relevanten Komponenten kann mit Fortschreiten des Konstruktionsprozesses immer genauer beschrieben werden. Damit steigen auch Aussagekraft und Zuverlässigkeit des maschinenakustischen Modells.

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

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

#### 4. Informationsmodellierung

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

Hierbei handelt es sich um eine Fülle von Informationen, die in einer geeigneten Art und Weise dem Konstrukteur zur Verfügung gestellt werden müssen. Es wurden Beschreibungsmethoden (Description Methods) entwickelt, die es ermöglichen, ein Objekt der realen Welt formal zu beschreiben.

##### 4.1 Beschreibungssprache EXPRESS

Verwendet wurde die Beschreibungssprache EXPRESS (entwickelt für den Produktdatenaustausch im Rahmen von STEP, beschrieben in der internationalen Norm ISO 10303-11).

Mittels dieser Beschreibungssprache ist es möglich, mit den zur Verfügung gestellten Wörtern, Syntax und Grammatik den Charakter der Information sowie de-

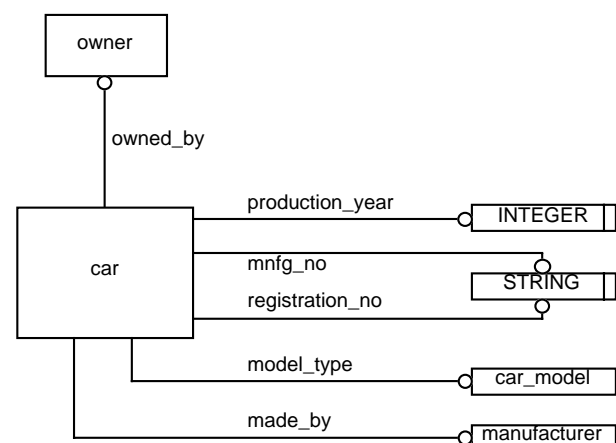
ren Beziehungen untereinander zu beschreiben. EXPRESS darf hier nicht mit einer Programmiersprache verwechselt werden, sie dient lediglich dazu, das Informationsmodell für den Computer und den Menschen in einer geeigneten Art zur Verfügung zu stellen.

Neben einer Textdarstellung ist auch eine übersichtlichere graphische Darstellung (EXPRESS-G) des Modells möglich. Ein rechteckiger Rahmen repräsentiert ein Entity, welches ein Objekt oder einen Begriff aus der realen Welt widerspiegelt. Jedes Entity kann Attribute besitzen, die seine Eigenschaften beschreiben. Die Beziehung von Entities zu einem Attribut wird durch eine schmale und die zwischen Entities untereinander durch eine breite Linie repräsentiert. Der Kreis am Ende der Linie gibt die Richtung der Beziehung (Zugriff) an.

EXPRESS erfüllt die meisten objektorientierten Eigenschaften, wie Klassen- und Instanzenbildung, Generalisierung - Spezialisierung sowie die einfache und mehrfache Vererbung.

Die Vererbung bewirkt, daß ein übergeordnetes Entity den untergeordneten alle Eigenschaften (Attribute und deren Beziehungen untereinander) weitervererbt. Diese Eigenschaft erlaubt es, gemeinsame Attribute in übergeordneten Entity-Levels zu definieren.

**Bild 4** zeigt ein einfaches EXPRESS-G Modell eines Autos auf einem Entity-Level. In diesem Modell wird das Entity CAR durch sechs Attribute beschrieben, wobei das Attribut MODEL\_TYPE nur indirekt das Entity CAR beschreibt.



**Bild 4** Teil eines Entity-Levels für ein Auto /5/

Das Attribut MODEL\_TYPE wird durch das Entity CAR\_MODEL repräsentiert, welches wiederum durch drei Attribute beschrieben wird, **Bild 5**.

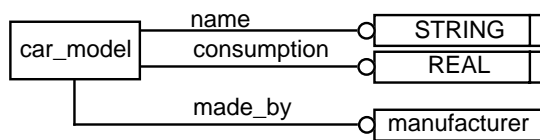


Bild 5 Teil eines Entity-Levels für CAR\_MODEL /5/

#### 4.2 Komponentenschema

Wie aus dem SADT-Modell zu erkennen ist, benötigt der Konstrukteur eine Fülle von Informationen zur Konstruktion lärmarmen Produkte. Das wichtigste Datenmodell beinhaltet alle akustisch relevanten Komponenten. Daneben sind Datenmodelle für Schallentstehungsmechanismen, maschinenakustische Produktanforderungen mit den dazugehörigen Dokumenten, maschinenakustische Konstruktionsregeln usw. bereitzustellen.

**Bild 6** zeigt das Datenmodell 'Komponentenschema', in dem alle akustisch relevanten Komponenten strukturiert beschrieben sind. Im wesentlichen wurden die relevanten Komponenten durch eine Industriebefragung /2/ ermittelt.

Bei der Modellierung zeigte sich, daß eine Gruppierung der Komponenten notwendig ist, da hierdurch zum einen eine mehrfache Deklaration von Attributen vermieden wird (welches ansonsten zu einer Redundanz von Daten geführt hätte) und zum anderen das Datenmodell übersichtlicher bleibt. Aus Platzgründen wird in Bild 6 nur ein Teil des Komponentenschemas dargestellt. Das Schema besteht aus den folgenden Hauptgruppen, denen direkt oder indirekt über weitere Untergruppen alle relevanten Komponenten zugeordnet sind:

- Verdrängermaschinen (displacement\_machinery)
- Strömungsmaschinen (hydrodynamic\_machinery)
- Schallmindernde Elemente (acoustic\_device)
- Strömungsführende Elemente (fluidic\_device)
- elektrische Maschinen (electrical\_machinery)
- Strukturelemente (structure)
- Drehmomentwandler (torque\_converter)
- Linearantriebe (linear\_actuator)
- Führungen (guidance\_system)

Die Betrachtung der Komponenten ist oft für die Beschreibung der Schallentstehung nicht ausreichend, so daß neben dem Komponentenschema auch ein weiteres Schema aufgestellt werden mußte, in dem die grundlegenden Schallentstehungsmechanismen beschrieben sind. Somit hat der Konstrukteur die

Möglichkeit, seine Maschine oder Anlage aus Komponenten und Schallentstehungsmechanismen aufzubauen, z.B. zur Beschreibung verfahrenstechnischer Anlagen. Ferner kann so jede Komponente in ihre einzelnen Mechanismen zerlegt werden, welches wiederum eine genauere Vorhersage über die Art des Geräusches (Spektrum) und somit eine exaktere Berechnung des akustischen Produktverhaltens ermöglicht. Zu diesem Zweck wird von den jeweiligen Komponenten auf die zugehörigen Schallentstehungsmechanismen verwiesen (im Bild 6 nicht dargestellt).

Das Ergebnis der Informationsmodellierung wird eine Anzahl untereinander verflochtener Schemata sein, auf die das Beratungssystem automatisch zugreifen kann, um den Konstrukteur bei seiner Aufgabe zu unterstützen.

#### 5. Zusammenfassung

Im Rahmen des BRITE-EURAM-Projektes EQUIP wird ein wissensbasiertes System zur Entwicklung lärmarmen Maschinen entwickelt. An der Entwicklung sind Partner aus der Industrie als spätere Nutzer maßgeblich beteiligt.

Im Jahr 1994 wurde eine Vorgehensweise zur Entwicklung lärmarmen Produkte erarbeitet und detailliert beschrieben. Darüberhinaus wurde maschinenakustisches Wissen gesammelt und derart strukturiert, daß es dem Konstrukteur über ein rechnergestütztes System kontextorientiert zur Verfügung gestellt werden kann. In 1995 wird die Informationsstrukturierung abgeschlossen sein, so daß mit der Implementierung begonnen werden kann. Die Fertigstellung des Systems ist gegen Ende 1996 geplant.

#### Literatur

- /1/ Dietz, P.; Engel, K.; Haje, D.: Institutsmitteilung Nr. 17, IMW Clausthal 1992
- /2/ Dietz, P.; Haje, D.; Gummersbach, F.: Institutsmitteilung Nr. 18, IMW Clausthal 1993
- /3/ Haje, D.; Gummersbach, F.; Schmidt, A.: Inquiry Results about Low Noise Design Clausthal, März 94, unveröffentlicht
- /4/ Specifications for INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELLING (IDEF0) Federal Information Processing System, 1992
- /5/ Schenk, D.; Wilson, P.: Information Modeling the EXPRESS Way Oxford University Press, 1994

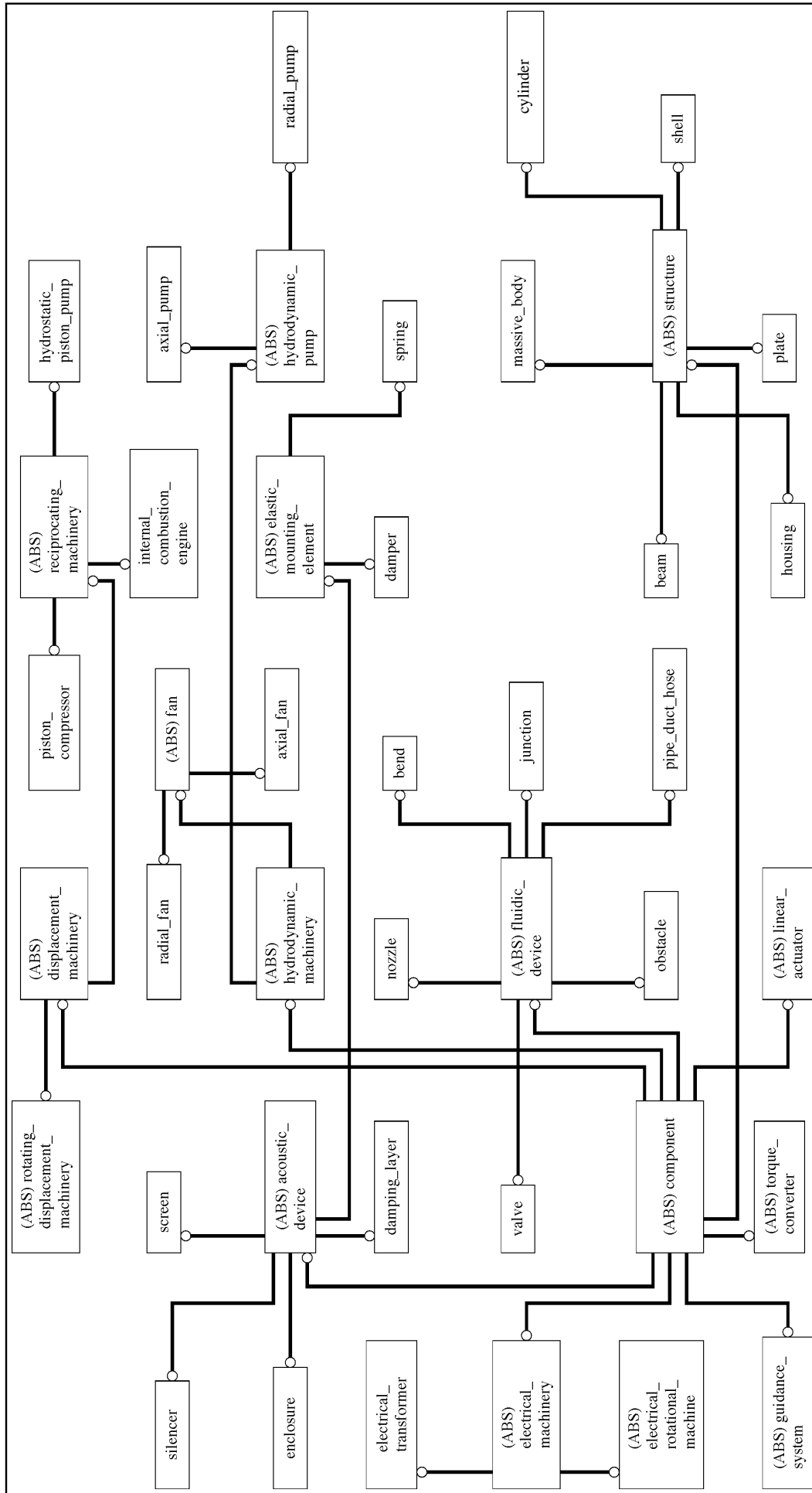


Bild 6 Komponentenschema