

ENGINEERING IN REVERSE IN AESTHETIC DESIGN

C. WERNER DANKWORT UND KARL-GERHARD FAIST

Zusammenfassung

Aesthetic Design bzw. Styling ist mehr und mehr ein zentrales Merkmal für den Erfolg von Automobilen auf dem Weltmarkt. Entsprechend den firmenspezifischen Vorstellungen werden diese Eigenschaften der Karosserien in komplexen Abläufen herausgearbeitet. Computer Aided Styling (CAS), Computer Aided Aesthetic Design (CAAD) sind die Werkzeuge zur Schaffung optimaler Karosserieformen. Die Abläufe sind von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich, haben aber ähnliche Strukturen. Oft sind zahlreiche Optimierungsschleifen notwendig, bis das Ergebnis die Verantwortlichen zufrieden stellt. Im Brite-EuRam-Projekt FIORES mit 12 Partnern aus 6 Ländern, darunter Automobilunternehmen, Design-Firmen, Systemhersteller und Forschungsinstitute, wurden Methoden entwickelt, die den Design-Ablauf verbessern: Die Bewertungskriterien für ästhetische Flächen werden hierbei formalisiert und dann direkt zur Modifikation der Freiformflächen benutzt im Sinne einer zielgesteuerten Modellierung (Engineering in Reverse, EiR).

Ebenso hängt der Erfolg eines Produkts am Markt in zunehmendem Maße auch von seinen *ästhetischen Eigenschaften* ab. Es ist daher sehr wichtig, die durch die Stylisten ursprünglich für ein Produkt definierte *Design-Absicht* (Design intent) während des gesamten Entwicklungsprozesses eines Produkts zu bewahren. Im Folgeprojekt FIORES-II entwickeln daher 14 Partner aus 6 europäischen Ländern, darunter Automobilunternehmen, Design-Firmen, Systemhersteller sowie Universitäten bzw. Forschungsinstitute, Verfahren, um die Design-Absicht während der rechnerunterstützten Produktentwicklungsphasen zu erhalten. Hierfür werden u.a. *psychologische Analysen* (Interviews), die Mathematik des *Computer Aided Geometric Design* (CAGD) sowie Methoden des *Case Based Reasoning* (CBR) angewandt. Am Ende des Projekts werden die neuen Funktionalitäten im Software-Prototypen eines CAD-Werkzeuges zur Verfügung stehen.

1 Hintergrund / Einführung

Die Entwicklung neuer Produkte ist in den letzten 10 bis 15 Jahren mehr und mehr durch die CAD-Technik dominiert worden. Diese Technik provoziert eine sehr sequenzielle Vorgehensweise, die der Denkweise eines (guten) Ingenieurs nicht gerecht wird. Die Entwicklung des Produkts orientiert sich an den Zielvorgaben, ein Vorgehen, das die bis heute üblichen CA-Systeme nicht unterstützen. Im Bereich von Flächendesign gibt es seit der ersten Hälfte der 80er Jahre das Konzept des "Reverse Engineering", bei dem die Produktform am Modell manuell optimiert wird. Durch Digitalisieren und anschließende Umwandlung der Punktwolken in CAD-Flächen wird der Bruch in der CA-Prozesskette wieder geschlossen. Es handelt sich also auch hier de facto um eine sequentielle Vorgehensweise.

Dagegen ist das Konzept des "Engineering in Reverse (EiR)" wesentlich allgemeiner. Die Ziele des Ingenieurs werden durch die gewünschten Eigenschaften des Produkts gegeben, die die Funktionalitäten einschließen. Der Ingenieur/Designer modelliert die Eigenschaften. Das EiR-System wird dann die Form (Geometrie) des Produkts so verändern, dass die Eigenschaften (möglichst gut) erfüllt werden. Dieses Konzept wurde zuerst umgesetzt in dem Europäischen Projekt FIORES [1].

Die Idee, das Produkt zu gestalten, indem die Eigenschaften als Ziel in die Methode eingehen, wird auch als "Target Driven Design" bezeichnet. Das EiR-Konzept benutzt aber die gewünschten Eigenschaften in formalisierter, parametrisierter Form, um damit interaktiv modellieren oder sie in Optimierungsmodulen einsetzen zu können. Die Zieleigenschaften sind präzise ingenieurgemäß gegeben. Der Begriff "Intent Driven Design" geht darüber hinaus: Die "Absicht" ("intent") ist oft nur vage, unpräzise formulierbar. Das gilt besonders im Aesthetic Design. Das Erfassen dieser Absicht und die Umsetzung in einen Software-Prototyp zur Formoptimierung wird in einem Nachfolgeprojekt behandelt ("FIORES-II") [2].

Das Styling bzw. das Aesthetic Design wird immer mehr zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor auf dem Weltmarkt. Das gilt nicht nur für den Automobilbereich sondern auch für Konsumgüter und sogar für technische Produkte. Bei den an sich unterschiedlichen Abläufen in Unternehmen gibt es ähnliche Strukturen: Die Form (z.B. einer Karosserie) wird mit CAS-Methoden erstellt. Daraufhin wird die Fläche mit CA-Qualitätswerkzeugen begutachtet. Anschließend werden entsprechend der Beurteilungsergebnisse die Flächen verändert und die Design-Schleife beginnt von neuem. Mitunter sind viele Schleifen notwendig bis das Ergebnis zufriedenstellend ist.

2 FIORES

Das Brite-EuRam Projekt FIORES lief 3 Jahre (von 1997 bis 1999) mit einem Gesamtbudget von 5,9 Mio € und einer Gesamtkapazität von 560 Personen-Monaten. 12 Partner aus 6 Ländern waren beteiligt: Industrieunternehmen (Automobil und Konsumgüter), Software-Unternehmen und Forschungsinstitute. Die Koordination lag bei der Universität Kaiserslautern. Ziel des Projekts war es die Design-Abläufe zu verbessern: Bewertungskriterien für ästhetische Flächen wurden formalisiert und dann direkt zur Modifikation der Flächen benutzt. Auf diese Weise können die Optimierungsschleifen im Aesthetic Design drastisch verringert werden. Die physikalischen Modelle, die immer noch eine wichtige Rolle im Styling bilden, verlieren ihre Bedeutung als aktives Design-Element und sind nur noch für eine (passive) Endbeurteilung notwendig.

Zwei verschiedene Vorgehensweisen wurden verfolgt :

Ein Optimierungsverfahren, in dem der Benutzer den Ablauf verfolgen und auch eingreifen kann (siehe Bild 1):

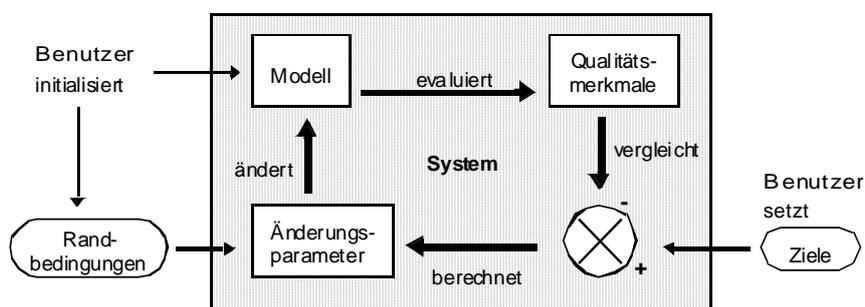


Bild 1: Optimierungsansatz des Engineering in Reverse in FIORES

Der Benutzer kann seine "Ziel"-Eigenschaften bzgl. seiner Beurteilungskriterien mit den Eigenschaften des vom System modifizierten Modells vergleichen. Der Vorteil liegt in der Flexibilität des Verfahrens und in der hohen Wahrscheinlichkeit, dass Ergebnisse erhalten werden.

Bei dem zweiten Verfahren, dem "Direkten Ansatz", wird aus dem initialisierten Modell, den Randbedingungen und den vorgegebenen parametrisierten Qualitätsmerkmalen ein Gleichungssystem aufgebaut, das durch Optimierungswerkzeuge gelöst wird. Hier kann es jedoch vorkommen, dass das System kein oder kein zufriedenstellendes Ergebnis findet.

Für das Aesthetic Design wurden geometrische Qualitätskriterien betrachtet wie z.B. Reflexionskurven, Schattenkurven, Kurven von Schnitten mit Ebenen mit deren Krümmungen, Darstellung der Gauss'schen Krümmungen auf einer Fläche, Kurven der Wendepunkte, etc. Eine mögliche Arbeitsweise ist in Bild 2 dargestellt.

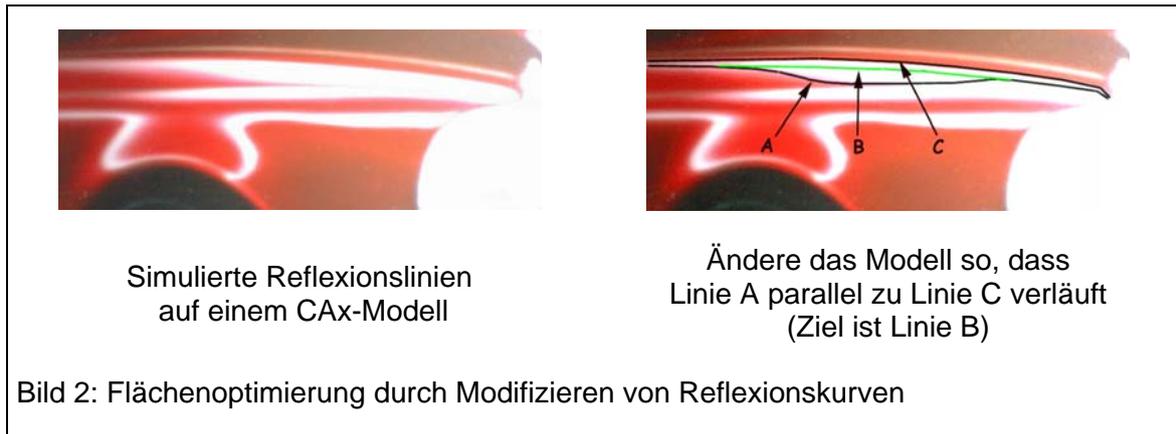


Bild 2: Flächenoptimierung durch Modifizieren von Reflexionskurven

Als Projektergebnisse wurden ein "Styling Dictionary" mit der Formalisierung ästhetischer Eigenschaften definiert, die notwendigen mathematischen Algorithmen entwickelt und ein Software-Prototyp erstellt. Der Nachweis der Vorteile dieses Verfahrens für den Styling Workflow wurde bei den Anwendungspartnern erbracht.

3 FIORES-II

Auf den Erfahrungen von FIORES aufbauend wird ein Nachfolgeprojekt im EU Programm GROWTH durchgeführt: "Character Preservation and Modelling in Aesthetic and Engineering Design" [2]. Die Laufzeit beträgt ebenfalls 3 Jahre (04/2000 - 03/2003), 14 Partner aus 6 Ländern sind beteiligt.

3.1 Die Idee

In diesem Projekt wird versucht, den *Ästhetischen Charakter* (A.C.) eines Produkts zu erfassen und aktiv im Design-Prozess zu berücksichtigen. Der Charakter eines Produkts beinhaltet die *Design-Absicht*, also die Zielvorstellung des Designers. Er muss gezielt Emotionen beim Kunden erwecken und außerdem der Unternehmensphilosophie (Corporate Identity) genügen.

3.2 Die Ziele

Vereinfachung des Arbeitsablaufs im Design: Der Ästhetische Charakter eines Produkts soll im Entwicklungsprozess bewahrt oder gezielt verändert werden können. Dazu muss eine Verknüpfung zwischen dem Ästhetischen Charakter eines Produkts und der Design-Absicht ("Design intent" - D.I.) der Designer und Stylisten hergestellt werden.

In einem *Software-Prototyp* sollen die folgenden neuen und leistungsfähigen Funktionalitäten realisiert werden:

- Verwendung der Design-Absicht als Designparameter zur Formgestaltung (Engineering in Reverse).
- Optimierung der Konstruktion: Verwendung von ästhetischen und konstruktiven Randbedingungen zur Modellierung der Gestalt eines Produkts mittels komplexer Optimierungssoftware.
- Automatische Verifikation von Änderungen des Ästhetischen Charakters während Modifikationen an einem CAD-Modell (durch Echtzeit-Analyse).

Der Software-Prototyp wird durch die Anwender erprobt werden, um die Vorteile dieser Methode nachzuweisen.

3.3 Das Konzept

Es wurde ein verallgemeinerter Anwendungsablauf entwickelt, wie er ähnlich in vielen Unternehmen abläuft. Er ist in Bild 3 dargestellt.

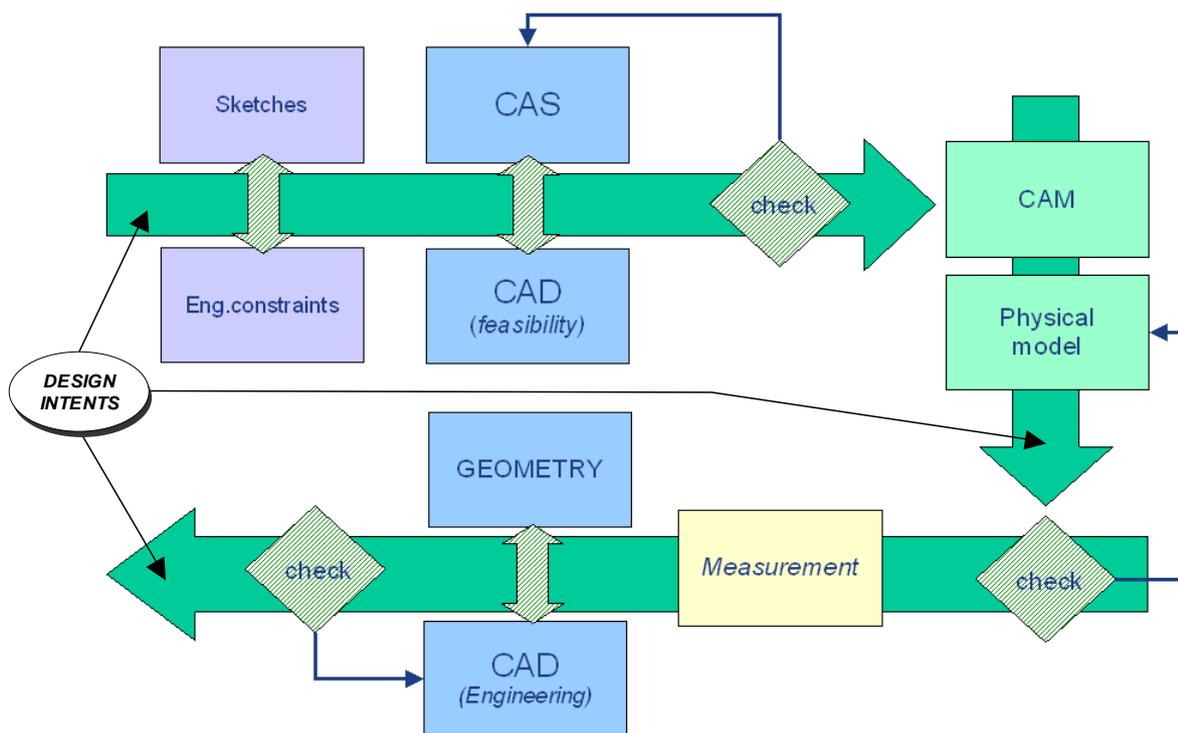


Bild 3: Verallgemeinerter Arbeitsablauf im Design (nach Pininfarina)

Als wesentliche Elemente lassen sich mehrere Arbeitsblöcke im Designablauf unterscheiden:

- Ideenfindung und erste Entwürfe mit Skizzen und Modellen.
- Entwicklung von Ästhetischen Flächen hoher Qualität (dies umfasst z.B. die Aktivitäten der Strak-Abteilungen, in denen die Konzepte der Stylisten durch CAS-Operatoren bzw. "Surfacer" in Class A- Flächen umgesetzt werden).
- Umsetzung der Flächenmodelle in physikalische Modelle.
- Detaillierung und Engineering Design.

Im Projekt wurde bewusst eine Beschränkung auf den Bereich Flächen / Strak / "Surfacing" vorgenommen. Dabei werden auch Engineering Randbedingungen in einfacher Form berücksichtigt.

Für eine Verknüpfung zwischen dem Ästhetischen Charakter (A.C.) eines Produkts und der Design-Absicht ("Design intent" - D.I.) der Designer und Stylisten wurde die Beschreibung von beidem durch sprachliche Begriffe analysiert. Durch Analysen von Texten, Internetumfragen und durch Interviews des für die Psychologie zuständigen Projekt-Partners mit den Anwendern wurden zwei sprachliche Bereiche identifiziert:

- Die Sprache des Marktes ("**Marketing Language**") zur Beschreibung des **Ästhetischen Charakters** mit Ausdrücken, die emotional geprägt sind (wie z.B. "sportlich", "konventionell", "aggressiv" und dergleichen).
- Die Design-Absicht wird in der Sprache der Stylisten und Designer beschrieben ("**Designer Language**"). Hier wird auch auf die Form des Produkts und damit auf die Geometrie Bezug genommen. (Z.B. "Spannung" einer Kurve).

Zur Beschreibung des Produkts außerhalb des emotionalen Bereichs der Marketing-Sprache dient der "Design Charakter" (D.C.). Er enthält die Ästhetischen Eigenschaften ("Aesthetic properties", A.P.) des Produkts. Das sind ästhetisch relevante geometrische Elemente wie z.B. Charakterkurven und Reflexionskurven.

Diese Ästhetische Eigenschaften haben jeweils Geometrische Eigenschaften ("Geometric properties", G.P.). Dies sind z.B. aus einer Charakterkurve abgeleitete Größen wie Wendepunkte, Krümmungsverlauf, Kurvenlänge, etc.

Damit wird der Begriff Geometrischer Charakter (G.C.) definiert: sprachlich durch die Ausdrücke der Designer-Sprache, die sich jeweils auf ästhetisch relevante geometrische Elemente beziehen, also auf die oben bereits erwähnten "Ästhetischen Eigenschaften".

Diese Ausdrücke der Designer-Sprache, wie z.B. "Spannung (tension)", "Konvexität/Konkavität (convex/concave)", "Wölbung (crown)", "Beschleunigung (acceleration)", "Anlauf (lead in)", werden benutzt, um das spezielle geometrische Verhalten einer Ästhetischen Eigenschaft (meist einer Kurve) zu beschreiben. Die Parameter, die ein Element des Geometrischen Charakters beschreiben, werden ausgedrückt durch Werte der Geometrischen Eigenschaften (Geometric property values).

Für den Charakter eines Produkts sind daher zu unterscheiden: der Ästhetische Charakter und der Design Charakter (siehe Bild 4).

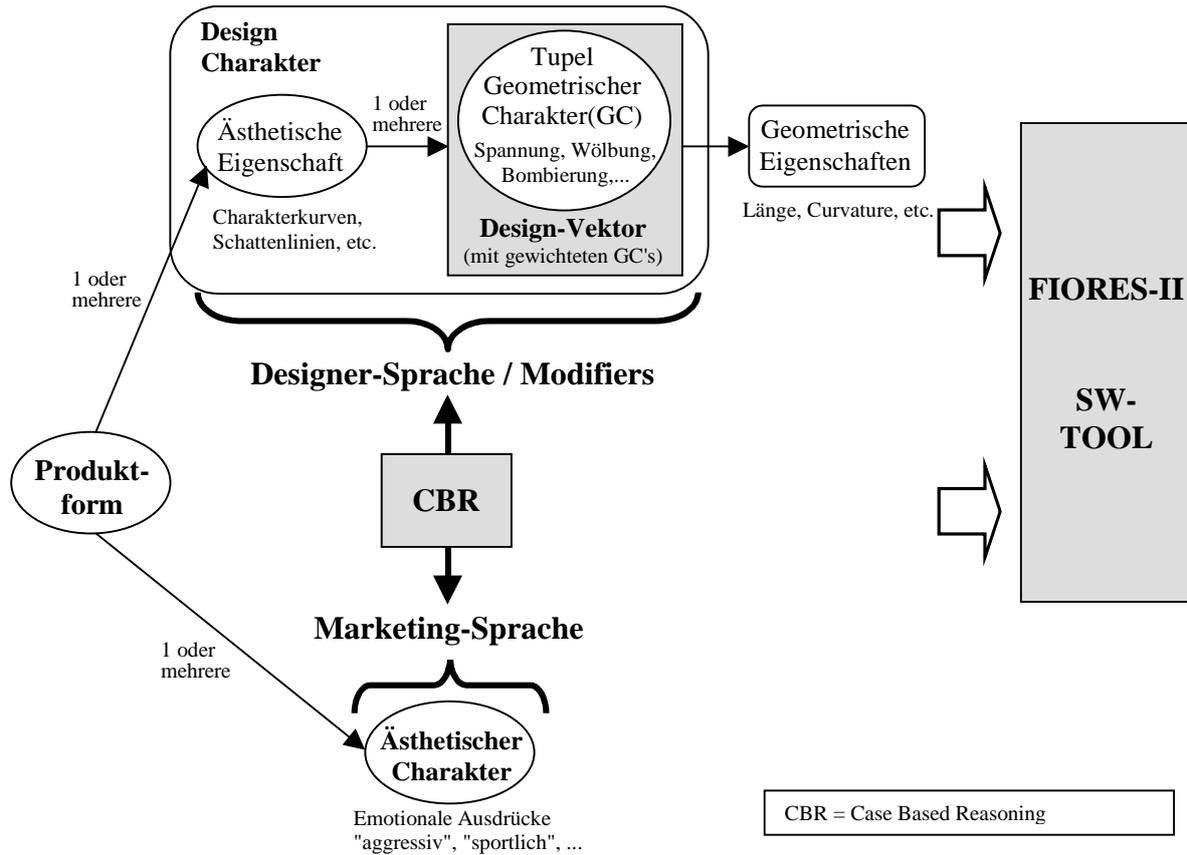


Bild 4: FIORES-II – Charakter-Struktur

3.4 Lösungsansatz

Analog zur Beschreibung des Produktcharakters werden auch im Software-Prototyp zwei Bereiche getrennt behandelt (vgl. Bild 5).

Der emotionale Bereich, d.h. die Beschreibung des Ästhetischen Charakters durch Ausdrücke der Marketing-Sprache und die Kopplung zum Bereich des Designers. Dies ist im oberen Teil der Bild 5 skizziert.

Im unteren Teil wird die Übertragung der Ausdrücke der Designer-Sprache in die CAGD-Welt dargestellt. Hierbei wird jeder Term (z.B. "Spannung") formalisiert zu einer CAD-Funktionalität, einem sog. "Modifier", der auf eine ästhetische Eigenschaft (z.B. Schnittkurve) wirkt [3,4]. Dem Designer ist es damit möglich, direkt eine gewünschte Eigenschaft ("mehr Spannung") auf die Kurve anzuwenden.

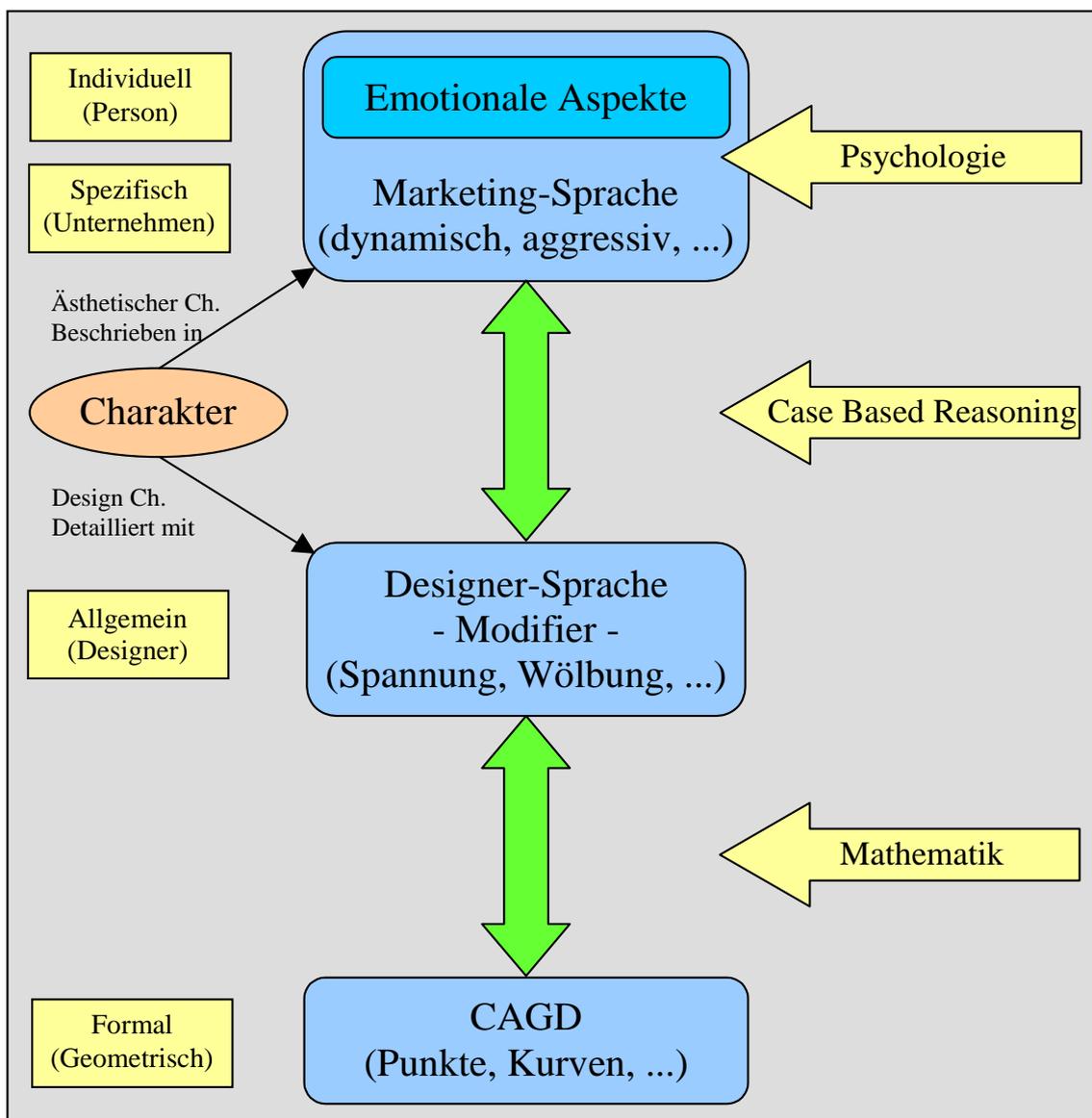


Bild 5: Lösungsansatz FIORES-II

Der Zusammenhang zwischen dem emotionalen Bereich der Marketing-Sprache und dem sachlichen Bereich der Designer-Sprache wird durch Methoden der Artificial Intelligence (A.I.) hergestellt. Dabei werden die verschiedenen Design-"Fälle" in einer Case-Based-Reasoning Datenbank (CBR) erfasst [5,6]. Ein CBR-"Fall" hat i.a. die Form:

{ "Problembeschreibung" | "Problemlösung" }

In diesem Projekt ist ein "Fall" ("Case") gegeben durch:

{ "Adäquater Satz von Informationen" | "Ästhetischer Charakter" }

Dieser Adäquate Satz von Informationen beinhaltet:

- Beschreibung der *Produktfamilie* mit entsprechendem Hintergrund (Unternehmen, Design Studio, Kundeninformation, ...).
- *Ästhetische Eigenschaften* (wie z.B. Charakterkurven), dieser Satz ist fest für eine Produktfamilie.
- Beschreibung des *Geometrischen Charakters* (in Ausdrücken der Designer-Sprache) jeweils zu einer *Ästhetischen Eigenschaft*.
Zu jedem Term (wie z.B. "Spannung", "Konvexität") wird (mindestens) ein Wert gespeichert, der den Grad der "Spannung" oder der "Konvexität" angibt.

Der "Ästhetische Charakter" wird durch einen Satz von Ausdrücken der Marketing-Sprache definiert, wie z.B. "sportlich", "konservativ", "aggressiv" und dergleichen.

Für vergleichende Aussagen über "Form" und "Charakter" der Produkte führt das CBR-System eine interne Bewertung mit einer Ähnlichkeitsaussage für die betrachteten Fälle durch (qualitativer Vergleich zweier Designvarianten).

Diese Struktur ist ebenfalls in Bild 4 dargestellt.

3.4 Bisherige Ergebnisse

Ein verbesserter Arbeitsablauf im Design ist entwickelt worden, der nicht nur von der Automobilindustrie, sondern auch von den Partnern des Konsumgüter-Design akzeptiert wird.

Aus den Sprachanalysen wurden nicht nur die beiden Sprachen (Marketing- und Designer-Sprache) entwickelt, sondern darüberhinaus ein "Dictionary of Terms" zusammengestellt.

Eine Machbarkeitsstudie für die Verbindung formaler ästhetischer Eigenschaften mit emotionalen Begriffen zur Beschreibung des Ästhetischen Charakters wurde erfolgreich durchgeführt.

Für eine Auswahl von Ausdrücken der Designer-Sprache wurde eine mathematische Formalisierung durchgeführt und deren Anwendung auf "Ästhetische Eigenschaften", d.h. auf ästhetisch relevante geometrische Elemente festgelegt.

Daraus wurden die "Modifier"-Werkzeuge entwickelt, deren Parametrisierung sich auch für die Anwendung von Optimierungswerkzeugen eignet.

Die erste Version des Software-Prototypen wurde realisiert und bei den Partnern erprobt.

4 Ausblick

Die vorgestellten Projekte zeigen, dass die Konzepte des Engineering in Reverse für den Bereich des Ästhetischen Designs realisierbar sind. Selbst die kombinierte Produktoptimierung bzgl. ästhetischer und Engineering Bedingungen ist umsetzbar. Der positive Einfluss auf die Arbeitsabläufe ist nachweisbar und wird von den Anwender-Partnern anerkannt. So ist mit einem positiven Gesamtabschluss des Projekts zu rechnen. Für die Zukunft ist eine zusammenfassende Veröffentlichung der Ergebnisse geplant. Darüber hinaus ist zusammen mit weiteren interessierten Industrieunternehmen eine Industrialisierung des FIORES-II Software-Prototypen beabsichtigt, in die u.U. auch Ergebnisse weiterer Analysen im Projekt umgesetzt werden können, deren Implementierung den Rahmen des Projekts gesprengt hätte. Die Erfahrungen des Projekts werden auch benutzt für eine Verifizierung eines allgemeinen Formalismus des Design [7,8] bzgl. des Ansatzes des Engineering in Reverse.

5 Literatur

- [1] Dankwort C.W., Podehl G.: "FIORES – ein europäisches Projekt für neue Arbeitsweisen im Aesthetic Design", VDI-Berichte 1398, "Entwicklungen im Karosseriebau", S. 177, 1998.
- [2] Dankwort C.W., Faißt: K.-G. "FIORES-II – CAD im Spannungsfeld zwischen Ästhetik und Design: Ein Hilfsmittel zur Bewahrung des Produktcharakters im Entwicklungsprozess", VDI-Berichte 1674 "Entwicklungen im Karosseriebau", S. 31, 2002.
- [3] Giannini F., Monti M.: "An Innovative Approach to the Aesthetic Design", COMMON GROUND - THE DESIGN RESEARCH SOCIETY CONFERENCE 2002, 5th -7th September 2002, London.
- [4] Giannini F., Monti M.: "CAD Tools Based on Aesthetic Properties", PRIMO CONVEGNO EUROGRAPHICS ITALIAN CHAPTER, 11-12 luglio 2002 - Facolta del Design - Politecnico di Milano.
- [5] Bergmann R., Richter M., Schmitt S., Stahl A., Vollrath I.: "Utility-oriented matching: A new research direction for Case-Based Reasoning", in "Professionelles Wissensmanagement: Erfahrungen und Visionen", Proceedings of the 1st Conference on Professional Knowledge Management. Shaker, 2001.
- [6] Aamodt A., Plaza E.: "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches", AI Communications, 7(1):39-59, 1994.
- [7] Dankwort C.W., Podehl G. "Industrial CAD/CAM Application and System Architecture - a Closed Loop", in Horvath I., Varadi K. (Eds.): TMCE '96, Proceedings of the International Symposium "The Tools and Methods for Concurrent Engineering", Budapest, 29-31 May, 1996.
- [8] Dankwort C.W., "Reality in Design", in Kimura F., Ohtaka A.(eds.): Proceedings of the "4th. Workshop on Current CAx-Problems", Nov. 13th. - 15th. 2000, Shizouka, Sanbi Printing Co., Ltd 2001.

Prof. Dr. rer. nat. C. Werner Dankwort
Lehrstuhl für Rechneranwendung in der Konstruktion (RKK)
Universität Kaiserslautern,
Postfach 3049, 67653 Kaiserslautern
Tel: + 49 631 - 205 3871,
Fax: + 49 631 - 205 3872
E-Mail: dankwort@mv.uni-kl.de

Dipl.-Ing. Karl-Gerhard Faißt
Lehrstuhl für Rechneranwendung in der Konstruktion (RKK)
Universität Kaiserslautern,
Postfach 3049, 67653 Kaiserslautern
Tel: + 49 631 - 205 3965,
Fax: + 49 631 - 205 3872
E-Mail: faisst@mv.uni-kl.de