

Aufbau eines funktionsorientierten Bezugspunktsystems als Tolerierungsbasis für eine Pkw-Karosserie

Dr.-Ing. Karin Spors

VW Wolfsburg, K-DOE 1,
Abteilung für IS Konstruktion und Simulation

Dipl.-Ing. Heiko Hennig

Audi AG Ingolstadt, I/EG-25,
Virtuelle Prototypenwerkstatt

Kurzfassung

Um für die verschiedenen Anwender, die im Produktentstehungsprozeß eines Pkw auf Toleranzinformationen zugreifen, eine gemeinsame und verbindliche Basis zu schaffen, wurden in den meisten Automobilunternehmen Konzepte aufgestellt, welche durch einfache geometrische Elemente die Bezugsebenen von Bauteilen und Baugruppen festlegen sollen. Da die daraus entstehenden Informationen zu spät im Entwicklungsprozeß zur Verfügung stehen und zu wenig funktionsorientiert sind, wurde im Rahmen einer Doktorandentätigkeit bei VW ein neues Konzept erarbeitet. Dieses sieht vor, durch den Einsatz eines Gestalt-Funktionsbaumes und bestimmte phasenspezifische Bausteine ein funktionsorientiertes Bezugspunktsystem schrittweise über die verschiedenen Phasen des Konstruktionsprozesses aufzubauen. Der Gestalt-Funktionsbaum enthält neben einer funktionsorientierten Ordnung des Produktes in Bauteile und Baugruppen noch weitere funktionsrelevante Informationen und bedient sich dabei der sogenannten Gestaltfunktionen, welche spezifisch für den Anwendungsfall einer Pkw-Karosserie aufgestellt werden können. Anhand dieser Gestaltfunktionen und deren Zusammenhänge im Gestalt-Funktionsbaum kann ein Bezugspunktsystem bereits in den frühesten Konstruktionsphasen funktionsorientiert aufgesetzt werden. Bestimmte geometrische Elemente erlauben auf Basis dieses frühen Bezugspunktsystems ein schrittweises Aufbauen und Ausarbeiten eines detaillierten funktionsorientierten Bezugspunktsystems.

1 Einleitung

Am Produktentstehungsprozeß eines Pkw sind eine Vielzahl von unterschiedlichen Bereichen beteiligt, von denen nicht wenige auch in den frühen Phasen des Prozesses auf Toleranzinformationen und andere, damit verbundene Informationen zugreifen müssen [1]. Um für diese verschiedenen Anwender der Toleranzinformationen eine gemeinsame Basis zu schaffen, wurden in den meisten Automobilunternehmen Konzepte eingeführt, welche für alle Bauteile und Baugruppen die Bezugsebenen festlegen sollen und für alle Anwender als verbindlich anzusehen sind. Beispiele für solche Konzepte oder Systeme sind das RPS (**R**eferenz**p**unk**s**ystem) von VW [2], das PLP-Schema (**p**ri**n**ci**p**al-**l**ocating-**p**oint) von Chrysler [3] und das FMK (**F**unktions**m**aß**k**onzept) von BMW [4], welche im allgemeinen als BED-Systeme (**B**ezug**e**benen-**D**efinierende-Systeme) bezeichnet werden sollen. Durch den fehlenden Einsatz von Funktionsstrukturen in der Entwicklung eines PKW und die späte Dokumentation in den technischen Zeichnungen, liegen die durch solche Systeme oder Konzepte definierten Informationen zu spät vor und weisen zu wenig Bezug zu den Funktionen der Bauteile und Baugruppen auf.

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, ist im Verlauf des letzten Jahres im Zuge des Projektes „Toleranzsimulation“ bei Volkswagen im Rahmen einer Doktorandentätigkeit ein Konzept entstanden, welches den Aufbau eines solchen BED-Systems bereits in den

frühen Phasen des Konstruktionsprozesses unterstützen und den Funktionsbezug sicherstellen soll. Da dieses System punktbasiert arbeitet, soll von ihm im folgenden als Bezugspunktsystem (BPS) gesprochen werden.

2 Allgemeine Grundlagen

Grundlage des RPS, des PLP und des FMK ist der Anspruch, durch Festlegen bestimmter Punktpositionen in Bauteilen und Baugruppen die Bezugsebenen dieser zu definieren. Diese Ebenen müssen punktbasiert festgelegt werden, da die in einer Pkw-Karosserie vorkommenden Freiformgeometrien selten saubere Regelgeometrien enthalten, welche direkt für die Definition von Ebenen genutzt werden können. Man stützt sich somit auf die DIN ISO 5459 [5], welche die Definition der Bezugsebenen von Bauteilen oder Baugruppen durch mehrere geometrische Elemente erlaubt. Solche geometrischen Elemente sind in einer Freiformgeometrie z.B. Löcher, Langlöcher, Kantenpunkte oder Punkte auf kleinen, ebenen Flächenelementen. Die Kombination solcher Elemente in einem Bauteil oder einer Baugruppe muß dort alle sechs Freiheitsgrade binden können, um die Bezugsebenen eindeutig zu definieren.

Die oben genannten BED-Systeme sind durchgängig gestaltet, d.h. in einer Baugruppe dürfen nur geometrische Elemente zur Definition der Bezugsebenen herangezogen werden, die dies bereits in den eingehenden Bauteilen oder Unterbaugruppen getan haben. Somit soll der Einfluß durch zusätzliche und unnötige Toleranzen vermieden werden.

Auch das hier beschriebene Bezugspunktsystem muß sich auf die Vorgaben der DIN ISO 5459 stützen und zudem eine Durchgängigkeit aufweisen. Es werden weiterhin für die unterschiedlichen Phasen des Konstruktionsprozesses verschiedene Bausteine genutzt, um das BPS zu definieren und darzustellen. Das BPS arbeitet nach einem Top-Down-Ansatz, das heißt, es wird ausgehend von den größten Baugruppen schrittweise nach unten bis in die Ebene der Einzelteile aufgebaut. Um den Funktionsbezug bereits in den frühesten Phasen sicherstellen zu können nutzt es als Grundlage nicht die Produktstruktur sondern eine neue Strukturbasis, den sogenannten Gestalt-Funktionsbaum. Dieser ist im folgenden erläutert.

3 Der Gestalt-Funktionsbaum als Strukturbasis

Da, wie bereits erwähnt, für ein komplexes Produkt wie einen Pkw keine Funktionsstruktur zur Verfügung steht, wird ein BED-System in der Regel in Anlehnung an die Produktstruktur aufgebaut. Da diese jedoch meist fertigungs- oder montage- und nicht funktionsorientiert ist und auch sonst keine Informationen über die Funktionen der darin aufgeführten Bauteile und Baugruppen enthält, wurde für das BPS eine neue Strukturform eingeführt, der Gestalt-Funktionsbaum.

Der Gestalt-Funktionsbaum eines Produktes ist die Gliederung des Produktes nach **funktionalen** Gesichtspunkten in Baugruppen und Bauteile unter Hinzunahme der produktspezifischen **Gestaltfunktionen** aller Bauteile und Baugruppen und der Kennzeichnung der **Hauptgestaltfunktionsträger** und **Montagefunktionsträger** aller Baugruppen.

Der Gestalt-Funktionsbaum bedient sich somit des von Ehrlenspiel definierten Funktionsbaumes [6] und der von Jung [7] eingeführten Gestaltfunktionen. Der Funktionsbaum ist die Darstellung eines Produktes in Form eines Stammbaumes oder einer Aufbauübersicht, in welche die Funktionen der Bauteile und Baugruppen in leicht abstrahierter Form eingetragen werden. Gestaltfunktionen werden von Jung zur Beschreibung seines Geometrie-Funktionsprinzips genutzt. Sie lösen die

Funktionsauswirkungen von den geometrischen Gestalten gerade soweit ab, daß die Funktionsbeschreibung zwar in einer abstrakten Form vorliegt, jedoch nicht zu weit von der Realität entrückt ist. Die Gestaltfunktionen eignen sich besonders für die funktionale Beschreibung von Bauteilen und Baugruppen, welche haltende, tragende oder positionierende Funktionen zu erfüllen haben, was für die meisten Bauteile und Baugruppen einer Pkw-Karosserie zutrifft. Die wichtigsten Gestaltfunktionen in einer solchen Karosserie sind Dichten, Tragen/Positionieren, Verstärken und optisch Beeinflussen (kurz Optik). Die Hauptgestaltfunktionsträger in einer Baugruppe sind die Bauteile oder Unterbaugruppen, welche primär die Gestaltfunktionen der Baugruppe erfüllen. Die Montagefunktionsträger sind die Bauteile oder Unterbaugruppen einer Baugruppe, an welchen die Baugruppe im nächsten Montageprozeß primär aufgenommen und fixiert wird. Bild 1 zeigt den Gestalt-Funktionsbaum für das Beispiel einer Pkw-Tür.

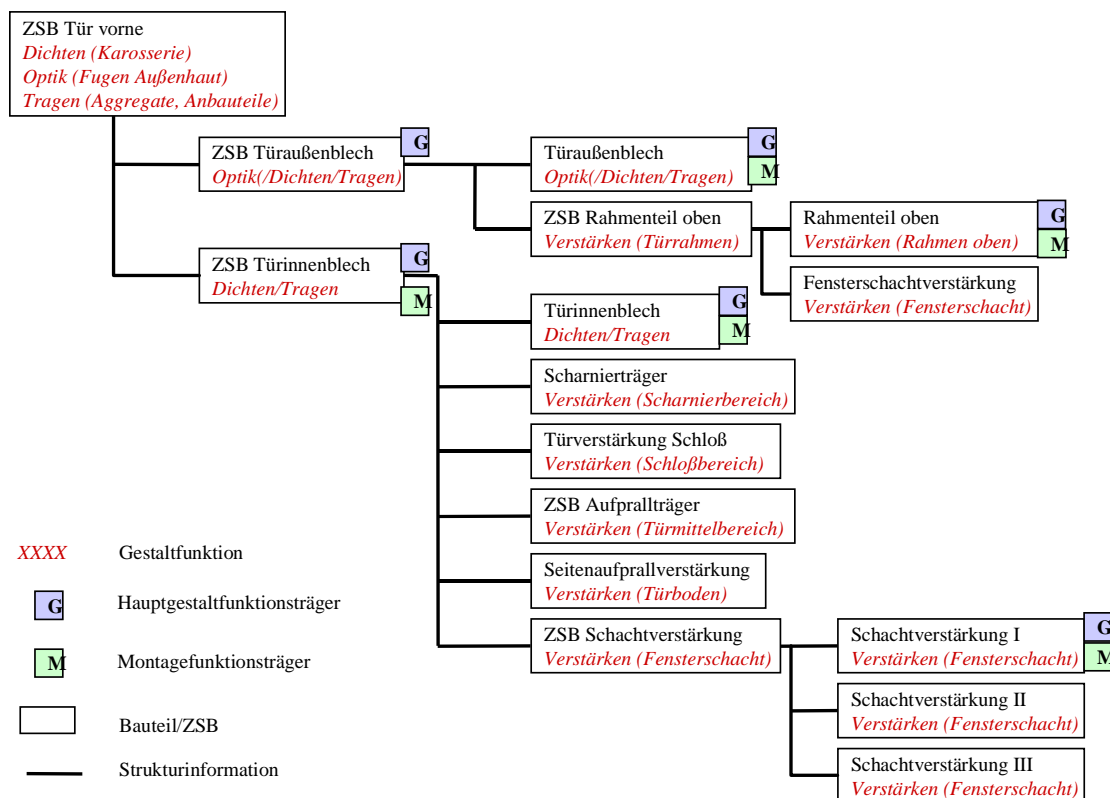


Bild 1: Der Gestalt-Funktionsbaum einer Pkw-Tür

Der Gestalt-Funktionsbaum bildet in dieser Form die Basis für den funktionsorientierten Aufbau des BPS, wie er im folgenden beschrieben ist.

4 Der Aufbau eines funktionsorientierten Bezugspunktsystems

Als Grundlage für den Aufbau des BPS dient der Gestalt-Funktionsbaum des Produktes, welcher aus einer Produktstruktur eines ähnlichen Vorgängerproduktes hergeleitet werden kann.

Damit eine Baugruppe ihre Gestaltfunktion(en) optimal erfüllen kann ist es notwendig, daß die Punktpositionen, an denen sie beim Montageprozeß an die nächst höhere Baugruppe ausgerichtet wird, auch gleichzeitig als Bezugspunkte zum Festlegen der Bezugsebenen dienen. Da der Hauptgestaltfunktionsträger einer Baugruppe primär für die Erfüllung der Gestaltfunktion(en) der Baugruppe verantwortlich ist, müssen alle

Ausrichtepunkte (=Bezugspunkte) der Baugruppe auf dem Hauptgestaltfunktionsträger positioniert sein und somit die Bezugsebenen für die Tolerierung der Baugruppe festlegen.

Um die Durchgängigkeit des Systems zu wahren, müssen die Ausrichtepunkte der Unterbaugruppe, welche in einer Baugruppe die Rolle des Hauptgestaltfunktionsträgers spielt, immer gleich den Ausrichtepunkten der Baugruppe sein. Diese Unterbaugruppe muß ihrerseits ihre Ausrichtepunkte auf ihren eigenen Hauptgestaltfunktionsträger übertragen. Es entsteht somit ein Fluß der Ausrichtepunkte durch den gesamten Gestalt-Funktionsbaum ausgehend von den größten Baugruppen bis in die Ebene der Einzelteile. Dies ist für das Beispiel der Pkw-Tür in Bild 2 dargestellt. Somit kann bereits in den frühesten Phasen des Konstruktionsprozesses funktionsorientiert festgelegt werden, auf welchen Bauteilen und Baugruppen die jeweiligen Ausrichtepunkte (Bezugspunkte) plaziert werden müssen.

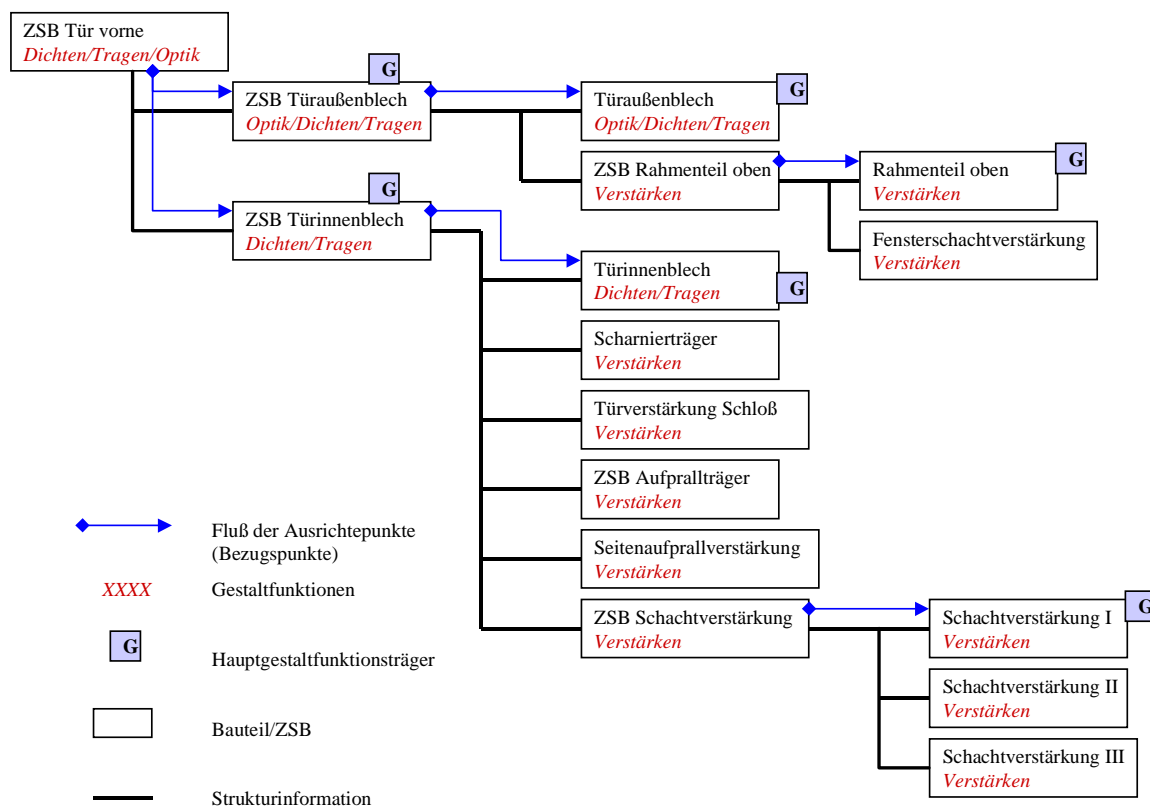


Bild 2: Der Fluß der Ausrichtepunkte im Gestalt-Funktionsbaum einer Pkw-Tür

Nachdem nun bekannt ist, auf welche Bauteile und jeweilige Unterbaugruppen die Bezugspunkte einer Baugruppen gesetzt werden müssen, können in der Entwurfsphase auf Skizzenebene die geometrischen Elemente im groben festgelegt und positioniert werden, welche die Bezugsebenen der einzelnen Baugruppen und Bauteile definieren. Als geometrische Elemente dienen einige fest vorgegebene Elemente für die frühe Phase, welche es erlauben, die Ebenen in Anpassung an die Eigenheiten der Freiformgeometrien grob zu definieren, ohne die endgültige geometrische Ausgestaltung der Bauteile zu weit einzuschränken und das BPS endgültig festzulegen. Einige Beispiele für diese Elemente der frühen Phase sind in Bild 3 aufgeführt.

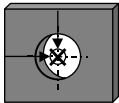
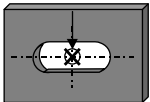
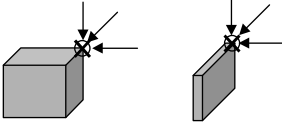
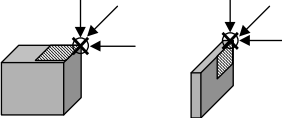
Art	Skizze	Gebundene Achsen
Mittelpunkt Loch		2
Mittelpunkt Langloch		1
Punkt auf Ecke		3
Fläche an Ecke		3

Bild 3: Die Elemente der frühen Phase zum Festlegen des BPS

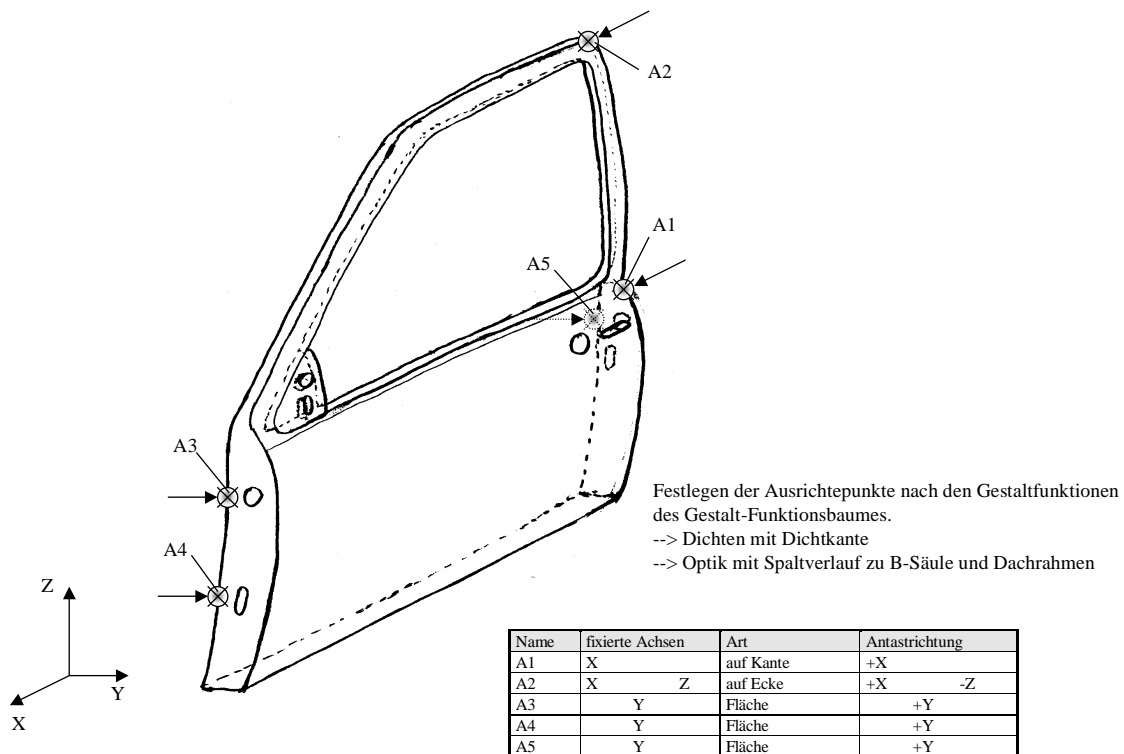


Bild 4: Die Ausrichtepunkte (Bezugspunkte) einer Pkw-Tür in der frühen Entwurfsphase

Um das BPS aufzustellen, werden in einer Baugruppe mit Hilfe der geometrischen Elemente die Ausrichtepunkte so platziert, daß die Baugruppe durch ihre Ausrichtung an diesen Punktpositionen ihre im Gestalt-Funktionsbaum beschriebenen Gestaltfunktionen

optimal erfüllen kann (Bild 4). Zudem müssen diese Bezugspunkte innerhalb der Baugruppe auf dem Einzelteil liegen, welches das letzte Glied im jeweiligen Fluß der Ausrichtepunkte ist. Die so für eine Baugruppe festgelegten Bezugspunkte werden direkt auf die Unterbaugruppe übertragen, welche im Gestalt-Funktionsbaum als Hauptgestaltfunktionsträger gekennzeichnet ist, um auch dort die Bezugsebenen festzulegen. Für alle anderen Bausteine der Baugruppe müssen die Ausrichtepunkte entsprechend der zu erfüllenden Gestaltfunktionen neu definiert werden. Dieser Vorgang wiederholt sich nun für den Hauptgestaltfunktionsträger und alle anderen Bauteile und Unterbaugruppen, bis in der Ebene der Einzelteile alle Bauteile mit Ausrichtepunkten versehen worden sind.

In Anlehnung an den Gestalt-Funktionsbaum kann nun dargestellt werden, wie sich der Fluß der Ausrichtepunkte unter Nutzung der geometrischen Elemente gestaltet. Es ist sofort zu erkennen, ob in jedem Bauteil und jeder Baugruppe alle sechs Freiheitsgrade gebunden sind und welche Punktposition welche Freiheitsgrade fixiert (Bild 5). Weiterhin kann auf einfache Art und Weise festgestellt werden, ob das BPS durchgängig gestaltet wurde.

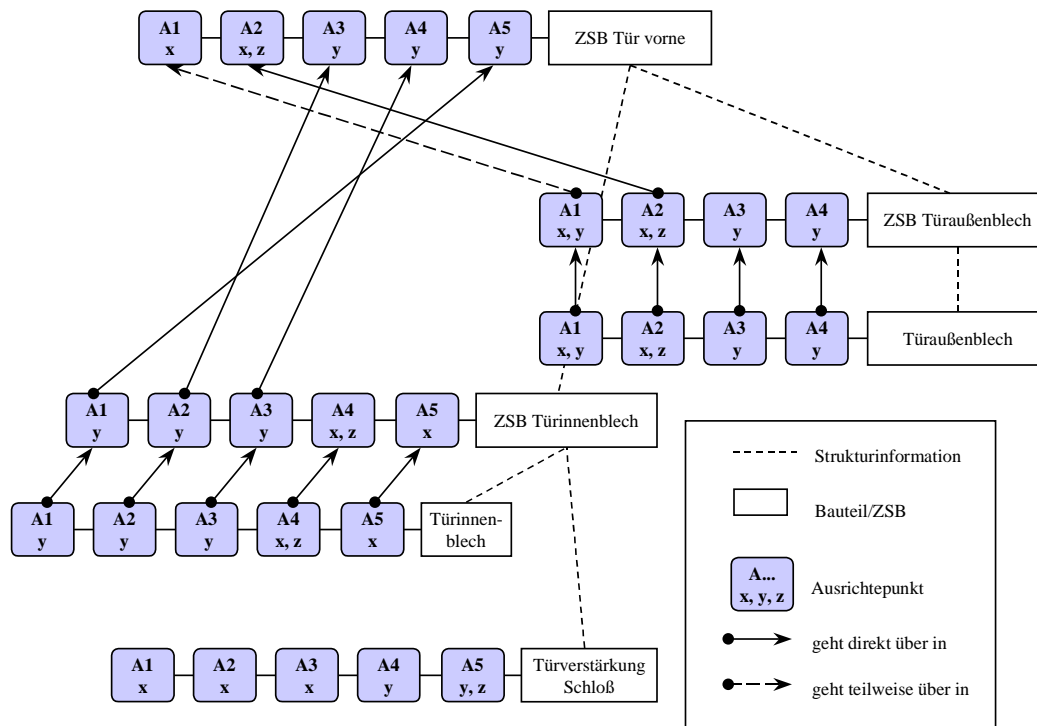


Bild 5: Der Fluß der Ausrichtepunkte (Bezugspunkte) in der frühen Entwurfsphase (Ausschnitt)

In der weiteren geometrischen Ausgestaltung der Bauteile werden die Positionen der Bezugspunkte nach und nach weiter konkretisiert, wobei einige geometrische Elemente der frühen Phase in sogenannten Elemente der späten Phase umgewandelt werden müssen. So z.B. Eckpunkte, die aufgrund der meist abgerundeten Formen in Karosserieteilen von der Eckposition entfernt und in zwei Kantenpunkte aufgeteilt werden müssen (Bild 6).

Geometrische Elemente in der **frühen** Phase:
Eckpunkt (A2) mit zwei gebundenen Achsrichtungen

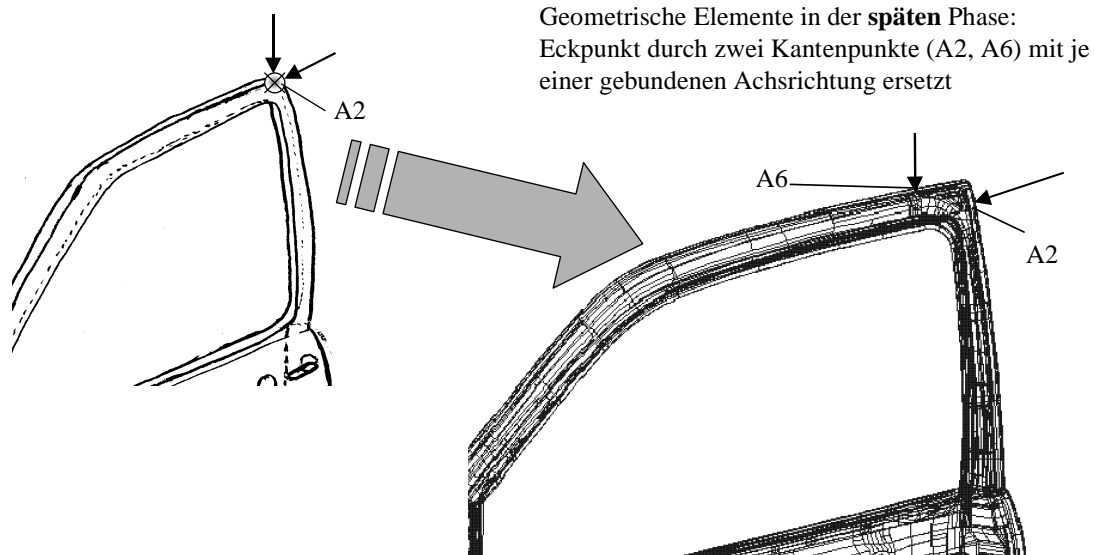


Bild 6: Der Übergang von geometrischen Elementen der frühen Phase zu Elementen der späten Phase

Wurde somit im Zuge der geometrischen Ausgestaltung der Bauteile das BPS endgültig festgelegt, so kann es in der Ausarbeitungsphase wieder in Anlehnung an den Gestalt-Funktionsbaum dargestellt werden (Bild 7).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Anwendung des Gestalt-Funktionsbaumes als Strukturbasis wird es möglich, ein funktionsorientiertes Bezugspunktsystem für ein komplexes Produkt bereits in den frühen Phasen des Konstruktionsprozesses aufzustellen. Die für die verschiedenen Phasen definierten, geometrischen Elemente ermöglichen schrittweise ein an die Randbedingungen der Freiformflächenkonstruktion angepaßtes Festlegen der Bezugsebenen. Wird der Gestalt-Funktionsbaum als Strukturbasis im Rechner abgebildet, so wird es möglich, den Fluß der Ausrichtepunkte und somit die Basis des BPS rechnergestützt zu erstellen. Des weiteren erlaubt ein rechnerinternes Abbilden des BPS in den späteren Phasen des Konstruktionsprozesses ein automatisches Überprüfen der Logik und Durchgängigkeit des Systems.

Der hier beschriebene Gestalt-Funktionsbaum und das Grundprinzip des BPS können in einer weitläufigeren Ausführung als Basis für ein komplettes, funktionsorientiertes Tolerierungssystem für eine Pkw-Karosserie genutzt werden.

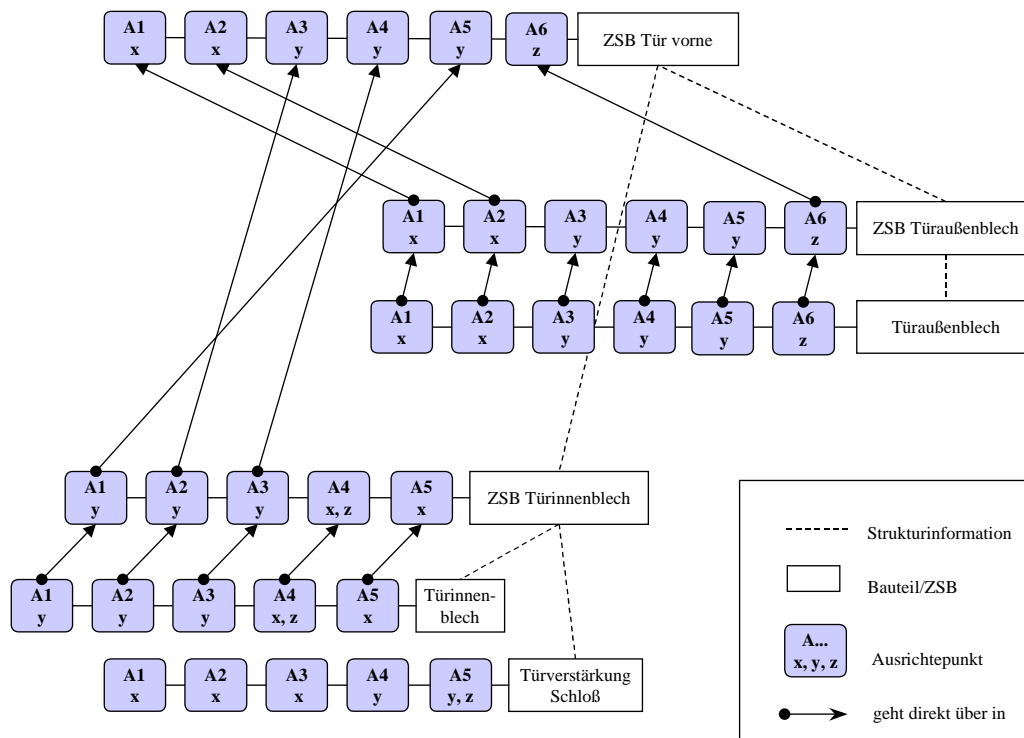


Bild 7: Der Fluß der Ausrichtepunkte (Bezugspunkte) in der Ausarbeitungsphase (Ausschnitt)

6 Literaturverzeichnis

- [1] Interne Analyse der Volkswagen AG: Analyse der Prozeßkette Toleranzen K-DOE 1, Juni 1997
- [2] Volkswagen Konzernnorm VW 01055: Referenzpunktsystem – RPS Stand Dezember '96
- [3] Reynolds, T.; Rosink, K.-E.: Guidelines For Establishing A Robust PLP Scheme Tagungsband der IBEC (Internattional Body Engineering Conference) Detroit Michigan USA 1996
- [4] Warmedinger, M.; Treptow, N.: Qualitätsmanagement in der Karosserieentwicklung durch integrierten Einsatz von CAD und Modelltechnik VDI-Berichte Nr. 1264 VDI-Verlag GmbH Düsseldorf 1996
- [5] DIN ISO 5459: Technische Zeichnungen, Form- und Lagetolerierung. Bezüge und Bezugssysteme für geometrische Toleranzen Beuth Verlag GmbH Berlin 1982
- [6] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung Carl Hanser Verlag München Wien 1995
- [7] Jung, A.: Funktionale Gestaltbildung Springer Verlag Berlin Heidelberg u.a. 1989