

Toleranzsimulation in der Karosserieentwicklung bei VW

Dipl.-Ing. Heiko Hennig

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

Zusammenfassung

Da bei VW erste Pilotprojekte mit 3D-Simulationstools zur Toleranzanalyse in der Aggregate- und in der Fahrwerksentwicklung teilweise gute Erfolge erzielten, soll nun versucht werden, die Toleranzanalyse auch im Bereich der Karosserieentwicklung anzuwenden. Hierbei sind einige Eigenheiten der Karosserieentwicklung, wie z.B. das Referenzpunktsystem, die Surface-Konstruktion, die Tolerierung über Funktionsmaßpunkte und Allgemeintoleranzen und die Bedeutung der Tolerierung der Montagevorrichtungen zu berücksichtigen. Aufgabe der geplanten Pilotprojekte ist es unter anderem, den Einfluß der genannten Problemfelder abzuschätzen, Lösungen aufzuzeigen sowie einige grundsätzliche Fragen zu den Verantwortungen, Einsatzgebieten, der Verwendung von Toleranz- und Funktionsmaßketten, der statistischen Tolerierung und der Variantenproblematik zu beantworten.

1 Einleitung

Um den ständig steigenden Anforderungen bzgl. Qualität, Kosten und Entwicklungszeiten neuer Produkte gerecht werden zu können, müssen zeit- und kostenintensive Iterationsschleifen in den Entwicklungsphasen verkürzt bzw. vermieden werden.

Ein wirksames Hilfsmittel stellen dabei Simulationssysteme dar, welche es erlauben in frühen Phasen auf Basis der rechnerinternen Modelle Untersuchungen durchzuführen, die Aufschluß über das Verhalten des Produktes in der Realität geben.

In der Prozeßkette Toleranzen können solche Systeme genutzt werden, um vor dem Erstellen der ersten Zeichnungen, anhand der 3D-Geometriedaten der Bauteile, mit statistischen Methoden zu ermitteln, ob die geforderten Qualitätsmerkmale der Zusammenbauten (z.B. Spalt- und Fugenmaße) durch die vergebenen Einzelteiltoleranzen gewährleistet werden können. Der Effekt der Angsttoleranzen wird vermieden und es kann festgestellt werden, welche Toleranzen den dominierenden Einfluß auf die Zielgrößen haben. Bevor solche Simulationssysteme effektiv in der Linie eingesetzt werden können, muß ihre Tauglichkeit in Pilotprojekten überprüft werden. Der vorliegende Beitrag soll einige Problemfelder beschreiben, mit welchen bei der Anwendung eines Toleranzsimulationstools in der Karosserieentwicklung zu rechnen ist und welche von derzeit geplanten Pilotprojekten zu beachten sind.

2 Derzeitiger Stand der Toleranzsimulation bei VW

Für die Toleranzsimulation müssen heute im Fahrzeug die Aufgabengebiete Aggregate, Fahrwerk und Karosserie unterschieden werden.

Diese Unterteilung ergibt sich aus der organisatorischen Strukturierung innerhalb von VW und den system- (verwendete CAD-Systeme) und arbeitstechnischen (Solid- / Freiformflächenkonstruktion) Unterschieden zwischen den genannten Bereichen.

In der Aggregateentwicklung werden seit längerem einfache Berechnungstools genutzt, mit welchen bekannte Toleranzketten nach statistischen Methoden durchgerechnet werden, um zu überprüfen, ob die Toleranzwerte der Schließmaße erreicht werden können. Seit kurzem kommen hier auch 3D-Simulationssysteme in Pilotprojekten zum Einsatz, wobei das optimale System anscheinend noch nicht gefunden wurde, da immer wieder neue Systeme ausprobiert werden.

Ähnlich zeigt sich die Situation in der Fahrwerksentwicklung. Auch hier werden einfache Systeme für die Analyse linearer Toleranzketten eingesetzt. Die ersten Pilotprojekte für den Einsatz dreidimensional arbeitender Analysesysteme wurden vor kurzem mit großem Erfolg abgeschlossen, und es ist mit einem baldigen Einsatz der getesteten Tools in der Linie zu rechnen.

In der Karosserieentwicklung dagegen kommen heute die einfachen Berechnungssysteme nur vereinzelt zum Einsatz. Viele Untersuchungen der Toleranzketten werden zusammen mit der Konstruktion der Bauteile an Fremdfirmen vergeben. Für den Einsatz von 3D-Simulationstools sind nun erste Prototypen geplant.

Um im folgenden auf die zu erwartenden Schwierigkeiten einer Toleranzsimulation in der Karosserieentwicklung verständlich eingehen zu können, soll kurz die Vorgehensweise bei einer dreidimensionalen Toleranzanalyse mit einem Simulationstool erläutert werden (in Anlehnung an VSA /1/).

Die Basis für die Simulation bilden die 3D-Geometriedaten der zu überprüfenden Bauteile. Diese Daten müssen vollständig und von Hilfsgeometrien u.ä. gesäubert vorliegen. Im CAD-System werden an diese Geometriedaten die Toleranzinformationen "geheftet", indem zuerst Bezugsflächen markiert und anschließend (mit systemtechnischer Unterstützung) die benötigten Toleranzinformationen mit den einzelnen geometrischen Elemente assoziiert werden. Im Anschluß daran muß ein "Assembly Tree" generiert werden, der definiert, in welcher Reihenfolge die Bauteile zu Baugruppen zusammengefügt werden. Auf Basis dieses "Assembly Trees" wird dann ein funktionales Modell für die Toleranzanalyse erstellt, in welchem festgelegt wird, wie die geometrischen Elemente unter welchen Zusammenbaubedingungen die Verbindungen zwischen den Bauteilen realisieren. Als letzter Schritt vor der eigentlichen Simulation sind die zu simulierenden Messungen (Spaltmaße, Winkligkeiten, etc.) zu definieren. Nach der Simulation werden die Berechnungsergebnisse - meist graphisch - aufbereitet und können vom Anwender ausgewertet werden. Auf Basis dieser Auswertungen gilt es nun, Toleranzwerte und Zusammenbaufolgen zu optimieren und ggf. eine erneute Analyse durchzuführen.

3 Eigenheiten und Problemfelder der Toleranzsimulation in der Karosserieentwicklung

In der Aggregateentwicklung werden die Bezugsebenen für Bemaßung und Tolerierung durch Bauteilflächen gebildet, welche in der Geometrie vollständig vorhanden sind und somit vom Analysesystem genutzt werden können. In der Karosserieentwicklung von VW werden die Bezugsebenen durch das Referenzpunktsystem (RPS) gebildet, welches in der VW-Norm 10550 /2/ definiert ist und der eindeutigen und verbindlichen Festlegung von Aufnahme- und Ausrichtepunkten für jedes Einzelteil und jeden Zusammenbau dient.

Die durch die Referenzpunkte aufgespannten Bezugsebenen existieren nicht als reale Geometrien. Es müssen folglich für jeden Zusammenbauschritt aus den Referenzpunkten temporäre Ebenen erzeugt werden, welche als Geometrie vorhanden sind und vom Analysetool zur Benennung der Bezugsebenen verwendet werden können (Bild 1). Ein weiteres Problem ergibt sich aus der Zusammensetzung des RPS für einen Zusammenbau. Die dort verwendeten Referenzpunkte werden aus der Menge der Referenzpunkte der eingehenden Einzelteile und Unterzusammenbauten zusammengestellt. Wird im Zuge einer Optimierung die Zusammenbaureihenfolge eines Produktes geändert, so ist nicht mehr gewährleistet, daß in einem Zusammenbau alle Referenzpunkte zur Verfügung stehen, die in der alten Zusammenbaufolge vorhanden waren. Es müssen ggf. alle Bezugsebenen neu definiert werden.

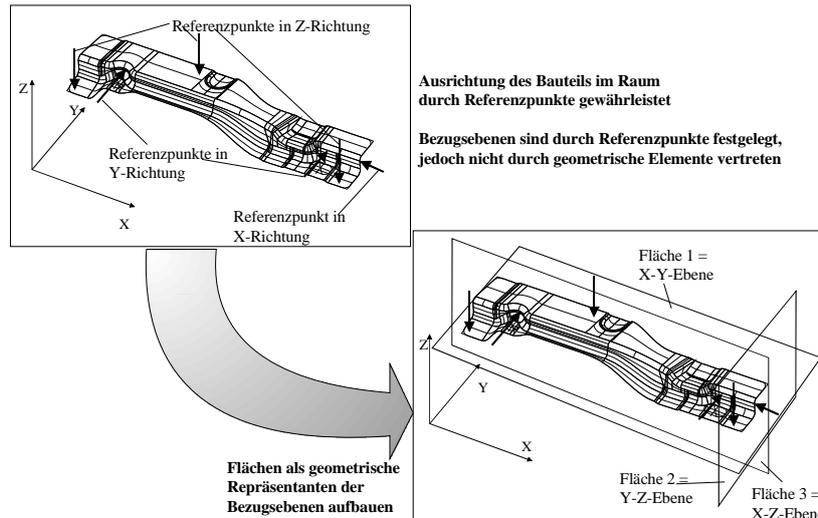


Bild 1: Bezugsebenen als temporäre Geometrien erzeugen

Ebenfalls systemtechnische Schwierigkeiten wird die, nach Pahl /3/ in der Karosserieentwicklung übliche, Surface-Konstruktion machen, in welcher die Geometrien der Bauteile keine Materialdicke aufweisen. Diese wird in der Regel durch eine Flächennormale gekennzeichnet, welche die Richtung des Materialauftrages kennzeichnet und deren Länge das einhundertfache der Materialdicke beträgt.

Für den Aufbau des funktionalen Modells muß im System definiert werden, über welche geometrischen Elemente die Bauteile miteinander verbunden sind, wie sich also die Toleranzen innerhalb der Baugruppen fortpflanzen. Bei der Solid-Konstruktion, wie sie im Aggregate- und Fahrwerksbereich üblich ist, stoßen die Geometrien an den Verbindungsstellen real zusammen. Es ist nicht geklärt, ob die Simulationssysteme zulassen, daß zwei Geometrien als miteinander verbunden definiert sind, die geometrischen Elemente aufgrund der fehlenden Materialdicke jedoch um einen bestimmten Betrag auseinander liegen.

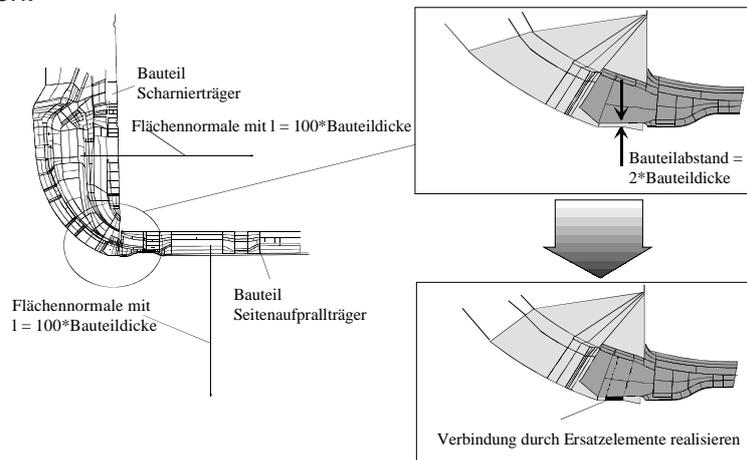


Bild 2: Verwendung von Ersatzelementen zum Schließen der Geometrischen Modelle

Sollte sich herausstellen, daß dieser Umstand für das System nicht handhabbar ist, so muß versucht werden, die Geometrieabstände mit einfachen geometrischen Ersatzelementen zu überbrücken (Bild 2). Dies scheint möglich, da auch bei Solid-Konstruktionen beispielsweise Bolzen und Schrauben in Form von Ersatzelementen in die Simulation mit eingebaut werden können.

Ein weiterer Unterschied zwischen der Toleranzsimulation von Aggregaten und Karosserieteilen ist die Art der verwendeten Toleranzen. Während im Aggregate- und Fahrwerksbereich fast alle Toleranzarten (Maß-, Form- und Lagetoleranzen) zum Einsatz kommen, beschränkt man sich in der Karosseriekonstruktion meist auf die Verwendung von

Positions- und Allgemeintoleranzen. Dieser Umstand, welcher nach Eversheim /4/ für die Blechkonstruktion typisch ist, äußert sich bei VW in der Vergabe von Funktionsmaßpunkten, welche auf den Zeichnungen in tabellarischer Form mit ihren Koordinaten, bezogen auf die Referenzpunkte, und einer Positionstoleranz abgelegt sind. Dieser Umstand erleichtert die Vergabe der Toleranzinformationen im Analysesystem. Es bedarf jedoch einer gewissen Erfahrung, die Allgemeintoleranzen auf die Bauteilgeometrien anzuwenden, da bekannt sein muß, wie in der Regel Anlageflächen, freie Flächen u.ä. zu tolerieren sind. Entsprechend der Verwendung von Positionstoleranzen werden in der Linie an den Meßmaschinen meist nur Positionen und Stichmaße überprüft, was bedeutet, nur solche Messungen simulieren zu müssen.

Ein wichtiger Punkt, der bei Toleranzbetrachtungen in der Karosserieentwicklung nicht zu vernachlässigen ist, sind die Montagevorrichtungen, deren Genauigkeiten maßgeblich an der Güte eines Karosseriezusammenbaus beteiligt sind. Während beispielsweise im Aggregatebau viele Komponenten beim Zusammenbau selbstausrichtend wirken und gut mit Justierelementen versehen werden können, müssen die großflächigen und "weichen" Karosserieblechteile komplett mit Fremdelementen aufgenommen und ausgerichtet werden. Des weiteren werden meist keine Verbindungselemente genutzt, welche eine irgendwie ausrichtende oder justierende Wirkung haben (z.B. Bolzen oder Schrauben) sondern es wird in den meisten Fällen punktgeschweißt oder geklebt. Diese Fügeverfahren machen zusätzlich zur Bauteiltolerierung eine sehr genaue Tolerierung der Montage- und Aufnahmeanlagen nötig. Es gilt die Faustregel, daß Bauteilaufnahmen immer 10% genauer als das aufzunehmende Bauteil sein müssen.

Somit ergibt sich für die Toleranzsimulation die Notwendigkeit, die Montagevorrichtungen mit in den Simulationsumfang aufzunehmen. Die Frage, wie diese Vorrichtungen am besten in die Toleranzanalyse integriert werden können, ist durch die geplanten Prototypen zu beantworten.

4 Allgemeine Problemfelder der Toleranzsimulation

Neben den oben aufgeführten Problemfeldern und Randbedingungen, welche durch die Eigenheiten der Karosserieentwicklung entstehen, gibt es eine Reihe von allgemeinen Schwierigkeiten zu lösen und Fragen zum Einsatz von Toleranzsimulationssystemen zu beantworten.

Als erstes ist zu klären, welche Abteilung für die Toleranzsimulation zuständig ist und wer welche Aufgaben durchzuführen hat. Mehrere Bereiche kommen für den Einsatz eines Toleranzanalysetools in Frage. Diese sind:

- Die Konstruktion, welche heute für die, in den Zeichnungen eingetragenen, Toleranzwerte verantwortlich ist;
- Der Versuchsbau, welcher durch das dort angesiedelte DMU-Thema (Digital-Mock-Up = virtueller Zusammenbau) bereits Erfahrungen mit Zusammenbausimulationen hat;
- Die Meßtechnik bzw. das Qualitätswesen, welche die zu simulierenden Messungen am realen Objekt durchführen;
- Die Produktions- und Montageplanung, welche das nötige Know-How über die Funktionsmaß- und Toleranzketten einbringen können.

Feldmann und Jörgensen-Rechter /5/ schlagen vor, eine Toleranzanalyse in die Entwurfsphase im Bereich der Konstruktion anzusiedeln. In der Karosserieentwicklung von VW soll jedoch versucht werden, ein einfaches Berechnungstool für die Konstruktion zur Verfügung zu stellen, mit welchem die aufgestellten Toleranzketten in erster Näherung überprüft werden können. Das eigentliche 3D-Simulationssystem sollte im Simulationsbereich des Versuchsbaus eingesetzt werden, wobei hier ein sogenanntes "Dimensional-Management-Team" unterstützende Arbeit leisten sollte. Dieses Team ist einem SET (Simultaneous-Engineering-Team) ähnlich und hat einzig das Toleranzthema zu

bearbeiten. Über die genauen Tätigkeiten und die optimale Zusammensetzung dieses Teams sollen die Pilotprojekte Aufschluß geben. (Bild 3)

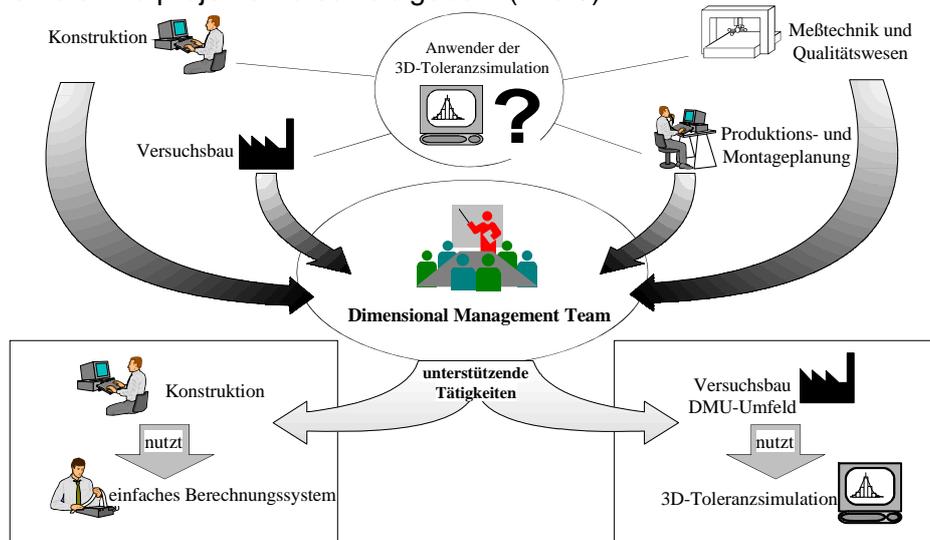


Bild 3: Einsatz eines Toleranzanalyse-Systems

Für den Einsatz eines einfachen Analysesystems sind das Wissen, wie die Toleranzketten aufgebaut sind, sowie die Grundlagen der statistischen Tolerierung unabdingbar.

Bis vor einiger Zeit war die Erstellung der Toleranzinformation dadurch geprägt, daß jeder Konstrukteur, abgeschottet für seine Einzelteile, die Toleranzen ohne Berücksichtigung der Zielwerte und zu erfüllenden Funktionen des Gesamtzusammenbaus vergab. Beim Erstellen der Zusammenbauzeichnungen stellte sich häufig heraus, daß die Summe der Einzeltoleranzen nicht die Gesamttoleranz gewährleisten konnte. Dieses Ergebnis entsprang den Tatsachen, daß die Konstrukteure die Einzeltoleranzen ohne Bezug auf den Zusammenbau vergeben hatten und daß die Toleranzsummenbildung einfach den "Worst-Case" ermittelte, indem jeweils der größt- und kleinstmögliche Summenwert errechnet wurde. Es wurden nicht, wie von Koller /6/ vorgeschlagen, einer oder mehrere statistische Faktoren in die Rechnung mit eingebracht.

Um diese Situation zu verbessern, wurden mehrere Fahrzeuge analysiert und weitestgehend allgemeingültige Funktionsmaß- und Prüfpläne erstellt. In diesen sind für die wichtigsten Karosserievarianten die Zielwerte (Stichmaße, Spaltmaße, etc.) angegeben, sowie die Qualitätsmerkmale der Einzelteile und Unterbaugruppen, welche diese Zielwerte sicherstellen. Auf diese Kataloge und das darin enthaltene Wissen über den Aufbau der Toleranz- und Funktionsmaßketten kann von allen Bereichen zugegriffen werden.

Die als nächstes anstehende Aufgabe, um eine sinnvolle Vergabe von Toleranzwerten zu gewährleisten, ist es, die Konstrukteure mit den Grundlagen der statistischen Tolerierung vertraut zu machen.

Als letztes soll das Problem der Variantenvielfalt angesprochen werden. Es gibt Tausende von verschiedenen Möglichkeiten, ein Fahrzeug eines bestimmten Typs zusammenzubauen. Die Toleranzen der in den verschiedenen Varianten vorkommenden Einzelteile müssen für jede dieser Möglichkeiten die geforderten Zielwerte sicherstellen können. Da nicht alle möglichen Varianten simuliert werden können, ist bei der Toleranzsimulation, wie bei allen anderen Simulationen und Berechnungen auch, die Frage zu beantworten, welche Basisvarianten der Fahrzeuge analysiert werden müssen, um möglichst global gültige Aussagen zu erhalten. Zum Vergleich sei genannt, daß in der FEM-Berechnung ca. 5 - 10 Fahrzeugvarianten berechnet werden, also nur die Basiskarosserievarianten jedes Fahrzeuges, für DMU werden von jedem Fahrzeug etwa 200 verschiedene Varianten im Rechner als Zusammenbau simuliert.

Letztlich können nur die Pilotprojekte Antwort geben, ob es ausreicht, z.B. die in den oben genannten Prüfkatalogen aufgeführten Varianten zu simulieren, oder ob andere oder weitere Basismodelle benötigt werden.

5 Ausblick

Neben den geplanten Pilotprojekten stehen in naher Zukunft weitere Aktivitäten an, welche die Prozeßkette Toleranzen unterstützen und optimieren sollen.

So werden beispielsweise die oben erwähnten Funktionsmaßkataloge derzeit bei VW in das Intranet gestellt, um den Zugriff auf diese Daten zu beschleunigen und zu erleichtern.

Das RPS soll in Kürze so überarbeitet werden, daß es im CAD-System erzeugt und in digitaler Form weitergeleitet und verarbeitet werden kann. In diese Überarbeitung sollen auch die Erfahrungen der ersten Pilotprojekte der Toleranzsimulation mit einfließen.

Die SET-Arbeiten sollen auf dem Gebiet der Toleranzen verbessert werden und somit die Grundlage für die bereits erwähnten Dimensional-Management-Teams bilden. Auch hier sollen die gemachten Erfahrungen der ersten Toleranzsimulationen eingebracht werden.

Falls die Ergebnisse der Pilotprojekte positiv ausfallen, werden weitere Schritte in Richtung eines Einsatzes in der Serie eingeleitet.

Es zeigt sich also, daß das bloßen Anwenden eines Simulationssystems für die Toleranzanalyse nicht ausreicht, um die Prozeßkette zu optimieren, sondern daß zahlreiche Aufgaben im Umfeld zu erledigen sind, um die Simulation zu einem wirksamen Hilfsmittel zu machen.

6 Literaturverzeichnis

- /1/ VSA-3D/Catia Training Manual;
Variation Systems Analysis, Inc. 1997
- /2/ Konzernnorm VW 01055;
Referenzpunktsystem - RPS; Stand Dezember '96
- /3/ Pahl, G.; Konstruieren mit 3D-CAD Systemen
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, u.a. 1990
- /4/ Eversheim, W.; CAD-, CAM-Einführung: Leitfaden mit Arbeitsmitteln für den
Maschinenbau; Köln Verlag TÜV Rheinland, 1989
- /5/ Feldmann, D.G, Jörgensen-Rechter, S.; ATAIR – ein Programm zur CAD-
unterstützten Toleranzanalyse für Maß-, Form- und Lageabweichungen
Konstruktion 44 (1992), Springer-Verlag 1992
- /6/ Koller, R.; CAD - Automatisiertes Zeichnen, Darstellen und Konstruieren
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, u.a. 1989

Autor: Dipl.-Ing. Heiko Hennig
Volkswagen AG
D-38436 Wolfsburg
Kst.: 1811; Abt.: K-DOE 1, Is Konstruktion und Simulation
Tel.: +49 5361 / 9-77621; Fax: +49 5361 / 9-21136; e-mail: henni5@vw-mail.de