

Kreis Alexander, BSc
1030851

Berechnung und Konzeption eines Fahrzeugseitenwandrahmens zur Herstellung einer Flush-Glass-Optik

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Titels
Master of Science (MSc)

im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

an der Technische Universität Graz
Institut für Fahrzeugtechnik

Betreuer: DI Rossbacher Patrick
Prüfer: Associate Prof. Dr. techn. Mario Hirz

Sperrvermerk bis 13.6.2018

***„Die Sklaven von heute werden nicht mit Peitschen,
sondern mit Terminkalendern angetrieben.“***

(John Steinbeck, 1902-1968, US-amerikanischer Schriftsteller, Literaturnobelpreis 1962)

Geheimhaltungserklärung / Sperrvermerk

Die Arbeit beinhaltet Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse der BMW Group, die der Geheimhaltung unterliegen. Aus diesem Grund darf die Arbeit nur den unmittelbar an der Prüfung des Studenten beteiligten Personen zugänglich gemacht werden.

Insbesondere darf die Arbeit ohne Zustimmung der BMW Group nicht vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

Dieser Zustimmungsvorbehalt endet am 13.6.2018.

Danksagung

Bevor ich meine Masterarbeit starte, möchte ich mich herzlich bei all jenen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit und auch bei meinem gesamten Studium fachlich und persönlich unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank meinem Betreuer Herrn DI Patrick Rossbacher, der mich bei dieser Arbeit betreut und bestmöglich unterstützt hat.

Weiterhin möchte ich mich bei den Industriepartnern BMW und Magna bedanken, da diese Firmen das Thema und die nötigen Mittel zur Verfügung gestellt haben. Ebenso gilt ein besonderes Dankeschön auch an alle Mitarbeiter der beiden Firmen, insbesondere meinen Betreuern Herrn DI Dirk Nelleßen (Magna), Andreas Holz und Norbert Brunner (beide BMW).

Das größte Dankeschön gilt jedoch meiner gesamten Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben und immer an meiner Seite standen.

Auch Herrn DI Andreas Suschnig möchte ich hiermit danken, ohne dessen Hilfe diese Masterarbeit nicht zustande gekommen wäre.

Schließlich danke ich auch meinen Freunden die mich während meiner Studienzeit immer unterstützt haben und mit denen ich auch mehrere, sehr schöne Jahre in Graz und München erlebt habe.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, 18.01.2016

(Ort, Datum)

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'H' followed by a horizontal line, written over a dotted line.

(Unterschrift)

Statutory declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material, which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, 18.01.2016

(place, date)

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'H' followed by a horizontal line, written over a dotted line.

(signature)

Kurzfassung

In der heutigen Zeit, in der eine fortschreitende Globalisierung einen ständig wechselnden Markt mit immer größer werdender Konkurrenz mit sich bringt, wird es besonders für Automobilhersteller immer schwieriger, die Wünsche der Kunden zu erkennen und deren Anforderungen gerecht zu werden. Damit die Absatzzahlen gehalten werden können bzw. es zu einer Erhöhung dieser kommen kann, spielen Marktsegmentierung über Designdifferenz eine wichtige Rolle.

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Bewertung, Konzeptionierung und Auslegung der Flush-Glass-Optik bei rahmengeführten Türen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die technischen Auswirkungen auf ein bestehendes Derivat des Industriepartners aufzuzeigen. Außerdem gilt es zu klären, ob gegenüber dem jetzigen System, Vorteile in den Bereichen Wirtschaftlichkeit, Design, Fertigung und Montage, erzielt werden können.

Da der Industriepartner BMW ein Hersteller von Premiumfahrzeugen ist, muss dieser auch sicherstellen, dass er sich gegenüber der Konkurrenz kundenwirksam hervorhebt. Dies wird mit den dafür nötigen Positionierungsmerkmalen, wie etwa einem ansprechenden Design oder technischen Vorsprung, sichergestellt. Diese Einhaltung der Positionierungsmerkmale bzw. der Vorsprung in gewissen Bereichen ist äußerst wichtig um am globalen Markt bestehen zu können.

Bei rahmenlosen Türen ist das System der Flush-Glass-Optik bereits im Einsatz. Im Rahmen dieser Arbeit gilt es daher abzuklären, ob eine Nutzung der Flush-Glass-Optik bei rahmengeführten Türen technologisch und kostentechnisch umsetzbar ist.

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt in der konstruktiven Auslegung des für die Herstellung einer Flush-Glass-Optik erforderlichen Dichtungssystems. Dieses muss so beschaffen sein, dass sich keine funktionalen und kostentechnischen Nachteile gegenüber dem bestehenden Dichtungskonzept ergeben. Dazu werden verschiedene Lösungsvarianten erarbeitet.

Für die Erstellung der verschiedenen Lösungsvarianten wird zuerst ein Benchmark ähnlicher, bereits bestehender Systeme durchgeführt. Überdies werden die üblichen Türsysteme - die derzeit in der Automobilindustrie eingesetzt werden - untersucht und beurteilt. Des Weiteren folgt eine Analyse des Bauraumes und Platzbedarfs am BMW Derivat G20.

Die Auslegung und Konstruktion des Dichtungskonzeptes erfolgt im CAD-Programm CATIA V5 und die Berechnungstätigkeiten werden mittels des FE-Programmes Marc Mentat (MSC Software) durchgeführt.

Mittels der aus der Wettbewerbsanalyse gewonnenen Erkenntnissen und der Bauraumanalyse werden zunächst verschiedene Lösungsvarianten erstellt. Diese werden nach den Vorgaben des Industriepartners umfassend bewertet. Die Bewertungen der verschiedenen Varianten beinhalten sowohl konstruktive, fertigungs- und montagespezifische Aspekte als auch die Betrachtung der Kostensituation.

Auf Basis der Bewertungskriterien erfolgt die Eingrenzung auf die vielversprechendste Variante, deren funktionale Eigenschaften anhand mehrerer FEM-Analysen bewertet werden soll. Mit den daraus gewonnenen Ergebnissen kann der konstruktive Entwurf zielgerichtet unter Berücksichtigung funktionaler Gesichtspunkte verbessert werden.

Auf Basis des erarbeiteten Dichtkonzeptes wird in weiterer Folge durch den Industriepartner ein Prototyp gefertigt. Darüber hinaus soll diese Arbeit als Grundlage und Anregung für weitere Forschungsanstrengungen in diese Richtung dienen.

Inhaltsverzeichnis

Geheimhaltungserklärung / Sperrvermerk	III
Danksagung	IV
Eidesstattliche Erklärung	V
Statutory declaration	V
Kurzfassung	VI
Inhaltsverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung und Motivation	12
2 Aufgabenstellung/Zielsetzung	14
3 Theoretische Grundlagen	17
3.1 Richtlinien und Vorgaben im Fahrzeugbau	17
3.1.1 Koordinatensysteme	17
3.1.2 Darstellung von Dichtungen	18
3.2 Rechnergestützte Konstruktion	18
3.3 Allgemeines zur FE-Berechnung	21
3.4 Datenaustausch zwischen CAx-Werkzeugen	22
4 Tür- und Dichtsysteme in der Automobilindustrie	24
4.1 Grundsätzliche Arten von Dichtungen	24
4.2 Dichtsysteme im Türbereich	24
4.2.1 Fensterführungsichtung	25
4.2.2 Türhauptdichtung	26
4.2.3 Kantenschutz	27
4.3 Türvarianten im Automobilbau	29
4.3.1 Rahmenlose Türen	29
4.3.2 Rahmengeführte Türen	30
4.3.3 Bewertung und Unterschiede der Varianten	31
5 Untersuchung bestehender Flush-Glass-Systeme (Benchmark)	35
5.1 Führung der Fensterscheiben beim Porsche Panamera	35
5.2 Die drei Dichtungsebenen des Porsche Panamera	36
5.2.1 Fensterführung	36

5.2.2	Türhauptdichtungsebene.....	37
5.2.3	Kantenschutz	38
5.3	CAD-Benchmark Porsche Panamera	38
5.4	Flush-Glass-Optik bei rahmenlosen Türen	40
5.5	Zusammenfassung der Benchmark-Ergebnisse	41
6	Aktueller Stand des BMW G20/F30 Derivats	42
6.1	Design und Komponenten	42
6.2	IST-Stand des Tür- und Dichtungssystems	43
6.3	Ist-Stand der Montagereihenfolge der Türen am BMW-Derivat G20.....	45
6.3.1	Montagereihenfolge Vordertür.....	45
6.3.2	Montagereihenfolge Hintertür	46
6.4	CAD-Schnitte	47
6.5	Messung des Versatzes in CAD	61
7	Auslegung und Konzeptionierung der Flush-Glass-Optik.....	65
7.1	Anforderungsprofil.....	65
7.2	Lösungsvorschläge	67
7.3	Konstruktionsvarianten.....	70
7.4	2D-Konstruktion des Bereiches B-Säule Vordertür	72
7.5	Bewertung und Auswahl der Vorschläge an der B-Säule Vordertür.....	75
7.6	Konstruktionsablauf und FEM-Analyse.....	77
7.7	2D-Konstruktionen der restlichen Bereiche	99
7.7.1	Bereich B-Säule Hintertür.....	99
7.7.2	Bereich A-Säule Spiegeldreieck	101
7.7.3	Bereich Fensterführungssteg	104
7.8	Diskussion der Ergebnisse	106
8	Zusammenfassung.....	108
	Literaturverzeichnis	CX
	Abbildungsverzeichnis.....	CXIV
	Tabellenverzeichnis.....	CXVII
	Diagrammverzeichnis	CXVII

A. Anhang..... CXVIII

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
AS	A-Säule
BI	Bewertungsindex (vgl. Abbildung 93)
BMW	Bayrische Motoren Werke
BS	B-Säule
BSTV	B-Säule Tür vorne
BSTH	B-Säule Tür hinten
CAD	Computer-Aided-Design
CATIA	Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application
C_w	Luftwiderstandsbeiwert
DMU	Digital Mock-Up, digitales Versuchsmodell
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
FEM	Finite-Elemente-Methode
FFSt	Fensterführungssteg
FH	Fensterheber
F10	Entwicklungsbezeichnung 5er BMW 6te Generation
F30	Entwicklungsbezeichnung 3er BMW 6te Generation
F34	Entwicklungsbezeichnung 3er GT BMW 1te Generation
G20	Entwicklungsbezeichnung 3er BMW 7te Generation
OEM	Original Equipment Manufacturer (Originalausrüstungshersteller)
PE	Polyethylen
SUV	Sport Utility Vehicle
TH	Tür hinten
TV	Tür vorne

1 Einleitung und Motivation

Aufgrund der fortschreitenden Globalisierung, der Änderung und Öffnung der Märkte, ergibt sich eine Verschärfung des Wettbewerbs in den meisten Industriebranchen. In der Automobilindustrie sind die Kernmärkte, wie etwa Europa, Nordamerika und Japan weitestgehend gesättigt. Das bedeutet, dass diese vor allem vom Ersatzbedarf bzw. von Neuerungen am Automobilmarkt leben. [1]

Damit Automobilhersteller sich am globalen Markt erfolgreich behaupten können, ist es für die Hersteller äußerst wichtig, dass sie sich durch kundenerlebbare Merkmale von der Konkurrenz abheben können. Im Segment der Oberklasse betrifft das vor allem Positionierungsmerkmale, wie etwa einem ansprechenden Design oder technischen Vorsprung.

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass sich vor allem das Kundenverhalten in den letzten Jahrzehnten grundsätzlich geändert hat. Diese Veränderung beinhaltet, dass die individuellen Bedürfnisse der Kunden entsprechend erfüllt werden sollen. Das Ziel für die Hersteller heißt also weg vom „Standardmodell“ und hin zur Individualität. Hierfür bieten die Hersteller beispielsweise die Möglichkeit, das Fahrzeug bereits im Voraus über die Homepage individuell zu konfigurieren.

Eine Schlüsselposition zur Erfüllung der Individualität wird hierbei dem Design, sowohl im Bereich des Interieurs als auch Exterieurs zugeschrieben. [2]

Der ähnliche technologische Stand bei Herstellern der gleichen Fahrzeugklassen liegt vor allem daran, dass das Know-how vieler neuerer Technologien nicht mehr bei den OEMs alleine liegt, sondern von den Zulieferern entwickelt bzw. mitentwickelt wird. [3]

Diese Erkenntnis gewinnt in der europäischen Automobilindustrie immer mehr an Bedeutung. Vergleicht man diese Entwicklung dagegen mit dem nordamerikanischen Markt, lässt sich erkennen, dass diese Erfahrung, vor allem durch den Fakt einer schnelleren Marktsättigung, schon länger bekannt ist. Dieser Sättigung wurde durch künstliche Produktdifferenzierung (Design) entgegengewirkt. [3]

Ein wesentlicher Aspekt dieser Arbeit ist die Bewertung und Konzeptionierung einer flächenbündigen Verglasung der Seitenscheiben. Dieses sowohl optisch ansprechende, als auch technisch anspruchsvolle Fahrzeugdesign hat einen wesentlichen Einfluss auf die

Kaufentscheidung des Kunden. Des Weiteren kann durch die bündige Verglasung eine geringere Störkontur erzeugt werden.

Die Masterarbeit fokussiert sich auf die Analyse und Erarbeitung möglicher Konstruktionsvarianten für die flächenbündige Verglasung im Bereich oberhalb der Brüstungslinie. Dabei sollen die Aspekte Änderungsaufwand, Montage, Kosten, usw. beleuchtet werden. Neben einer geometrischen Bewertung der Lösungsvarianten erfolgt eine funktionale Betrachtung über eine FEM-Analyse.

2 Aufgabenstellung/Zielsetzung

In Anlehnung an die Bachelorarbeit „Entwicklung einer flächenbündigen Festverglasung (Flush-Glazing-Optik) im C-Säulen-Bereich verschiedener BMW-Modelle“ von Herrn Jan Hecker (siehe Anhang), sollen in dieser Masterarbeit konstruktive Lösungsvorschläge für die Darstellung einer Flush-Glass-Optik im kompletten Bereich der Seitenscheiben und für bewegliche sowie feststehende Fensterscheiben, in Hinblick auf das BMW Derivat G20 entwickelt werden.

Das G20-Modell ist auf rahmengeführten Türen aufgebaut. Im Gegensatz zu den rahmenlosen Türen, bei denen BMW bereits die Flush-Glass-Optik nutzt, gibt es dieses System für Türen mit Rahmen noch nicht.

Was ist eine Flush-Glass-Optik bzw. wie wird diese definiert?

In dem im Oktober 1992 erschienen Patent der Firma Excel Industries heißt es, dass die Seitenflächen eines Fahrzeuges komplett bündig aufgebaut sind, sprich, dass es zwischen jeglichen Scheiben, Fugen, Blenden, Stützen, usw. keinen Versatz in y-Richtung (siehe Abbildung 5) gibt. [4]

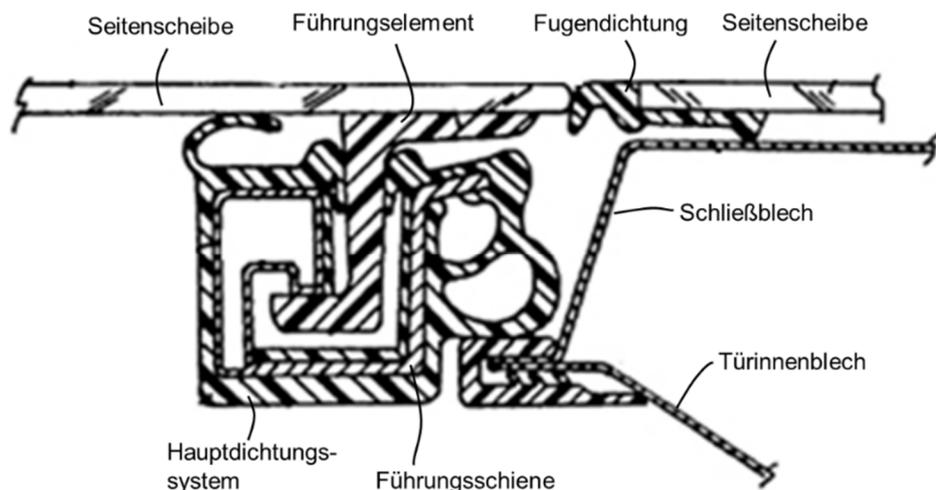


Abbildung 1: Darstellung Flush in Anlehnung an das Patent der Firma Excel Industries [4]

Der heutige Stand in der Automobilindustrie zeigt, dass zwischen Seitenscheibenaußenkante und Außenhaut des Fahrzeuges ein Versatz von 2-10 mm vorherrscht. [5]

In dem folgenden Diagramm wird der Entwicklungsverlauf der Flush-Optik bei rahmenlosen Türen gezeigt. Man kann erkennen, dass bereits 2012 die ersten Automobilhersteller Modelle

mit Flush-Optik auf den Markt brachten. Das gleiche System soll für rahmengeführte Türen entwickelt werden.

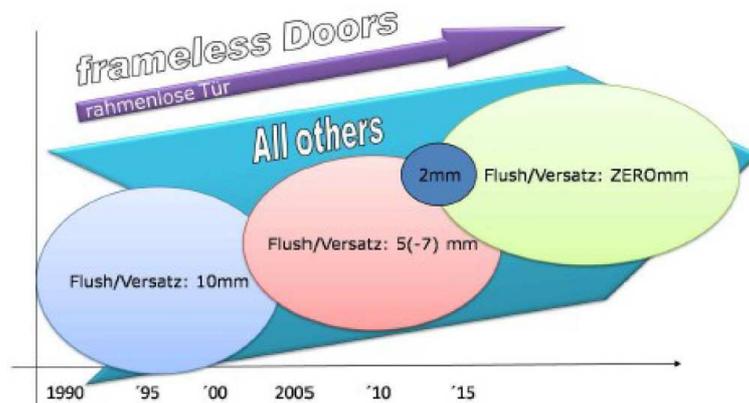


Abbildung 2: Entwicklung von Flush bei rahmenlosen Türen [5]

Um dieses System zu entwickeln, müssen außerdem eine umfangreiche Literaturrecherche (Benchmark) und eine Ausarbeitung zum derzeitigen Stand der Technik durchgeführt werden.

In der Abbildung 3 wird am Modell des Porsche Panamera gezeigt, wie die Flush-Glass-Optik an rahmengeführten Türen aussieht. Es ist weder ein Versatz in der y-Richtung zwischen Scheibe und Blende, Scheibe und Dichtung oder Dichtung und Blende zu erkennen.



Abbildung 3: Flush-Glas-Optik am Porsche Panamera

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Arbeit ist die grundsätzliche Bewertung der Vor- und Nachteile von rahmenlosen bzw. rahmengeführten Türen in Bezug auf das untersuchte Fahrzeug.

Für die konstruktiven Lösungsvorschläge sollen mehrere Schnitte und Konstruktionen erstellt, betrachtet und unter bestimmten Gesichtspunkten bewertet werden. Weiters soll eine Aussicht

bzgl. der Umsetzung der Flush-Glass-Optik in BMW Derivaten erstellt werden. Die Erstellung der Konstruktion soll mittels dem in der Automobilindustrie weit verbreiteten CAD-Programmpaket CATIA V5 und FEM-Programm Marc Mentat (MSC Software) erfolgen.

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass sich der Schwerpunkt dieser Arbeit auf die Auslegung des für die Umsetzung der Flush-Glass-Optik nötigen Dichtungssystems bezieht.

Allgemeine Vorteile der Flush Optik:

- Ästhetische Gestaltungsmöglichkeiten und markenspezifische Differenzierung
- Reduzierung der aerodynamischen Störkontur
- Wassermanagement bzw. geringere Verschmutzung des Sichtfeldes

Ein wesentlicher Vorteil in der Verwendung von Flush-Optik liegt in den designtechnischen Gestaltungsmöglichkeiten. Durch die Schaffung einer durchgängig flächenbündigen Formgebung entfallen störende Konturen und das Design wirkt fließender.

Angesichts von weniger hervorstehenden Ecken und Kanten ergibt sich ein besserer Strömungsverlauf an der Seitenhaut der Fahrzeuge. Dies könnte wiederum dazu führen, dass es zu einer Minimierung der Luftverwirbelungen kommt und somit ein geringerer akustischer Pegel an Störgeräuschen erzeugt wird. In weiterer Folge könnte es zu einer Reduktion des Verbrauchs und des CO₂-Ausstoßes des Fahrzeuges kommen.

In der folgenden Abbildung wird die Verschmutzung des Sichtfeldes an der vorderen Seitenscheibe eines Fahrzeugs gezeigt. Das linke Bild zeigt das Fahrzeug ohne Flush-Glass (Basis) und im rechten Bild ist das gleiche Fahrzeug mit Flush-Verglasung (Baustufe) dargestellt.

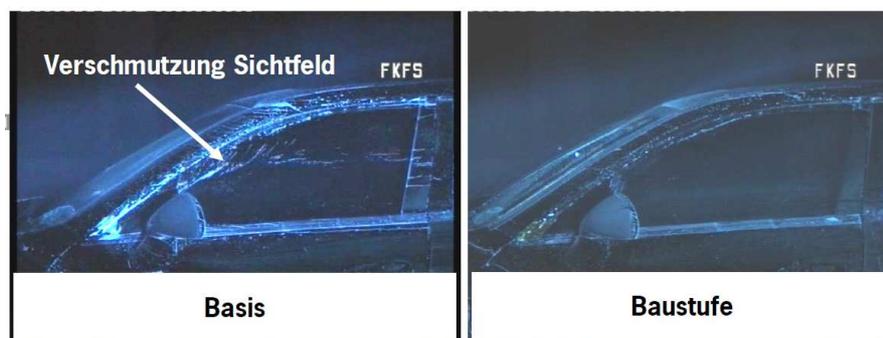


Abbildung 4: Verbesserung der Verschmutzungsneigung im Bereich der A-Säule durch den Einsatz einer flächenbündigen Verglasung [6]

3 Theoretische Grundlagen

Die für das Verständnis dieser Arbeit nötigen Begriffe werden in den Unterkapiteln (3.1 - 3.4) aufgegriffen und erklärt.

3.1 Richtlinien und Vorgaben im Fahrzeugbau

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die Darstellung von Dichtungssystemen, sowie auf die in der Fahrzeugindustrie eingesetzten Koordinatensysteme eingegangen.

3.1.1 Koordinatensysteme

In der Fahrzeugindustrie finden unterschiedliche Varianten von Koordinatensystemen Anwendung. Bei den meisten Automobilherstellern als auch Zulieferern befindet sich das Konstruktions-Koordinatensystem in der Nähe der Vorderachse des Fahrzeuges. Der Ursprung befindet sich dabei in der Mitte der Verbindungsstrecke zwischen den beiden Radzentren der Vorderachse. Dies wird in der folgenden Abbildung verdeutlicht.

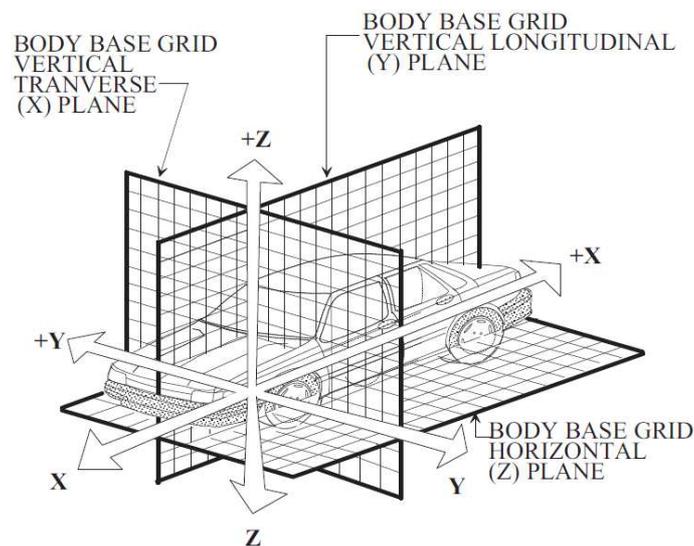


Abbildung 5: Konstruktions-Koordinatensystem in der Automobilindustrie [7]

Dabei verläuft die x-Achse vom Koordinatennullpunkt in positiver Richtung immer entgegen der Fahrtrichtung des Fahrzeuges. Die z-Achse geht in positiver Richtung weg vom Ursprung nach oben. Da es sich um ein rechtsdrehendes Koordinatensystem handelt, bleibt für die y-Achse nur noch die Option der positiven Richtung auf die rechte Seite (Sicht aus dem Fahrzeug).

Das fahrzeugbezogene Koordinatensystem ist vor allem bei der Anwendung von CAE-Techniken von besonderer Bedeutung, damit eine einheitliche Positionierung der Komponenten über alle erforderlichen CAE-Modelle gewährleistet werden kann. Das Koordinatensystem legt die Positionsreferenz von Komponenten im Digital Mock-Up (DMU - siehe Kapitel 3.2) fest. Daher muss den einzelnen Simulationsdisziplinen bekannt sein, auf welches Koordinatensystem sich die Koordinaten beziehen.

3.1.2 Darstellung von Dichtungen

In Bezug auf die Darstellung von Dichtungen ist es in der Automobilindustrie üblich, dass man die einzelnen Dichtungen und Dichtungssysteme im nicht deformierten (unverpressten) Zustand abbildet. Aus diesem Grund werden die Dichtungen in dieser Arbeit ebenfalls im unverpressten Zustand dargestellt.

Diese unverpresste Darstellung der Dichtungen resultiert daraus, dass der exakte verpresste Zustand nicht bekannt und somit im CAD nicht darstellbar ist. Dies bietet ebenfalls den Vorteil, dass die gleiche Dichtung, auch wenn sie sich unterschiedlich - je nach Einbau - verformt wird, nicht jedes Mal anders dargestellt werden muss.

3.2 Rechnergestützte Konstruktion

CATIA V5 (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application) ist ein CAD-Programmpaket der Firma Dassault Systèmes, welches sowohl Konstruktions-, Engineering- und Systementwicklungsanwendungen bietet, um den speziellen Anforderungen in vielen Branchen gerecht zu werden. [8] Entwickelt wurde es ursprünglich für den Flugzeugbau, jedoch etablierte sich CATIA auch im Bereich der Automobilindustrie. [9]

In Bezug auf diese Arbeit wird CATIA V5 als Konstruktionsanwendung angesehen. Das Programm wird sowohl bei den Industriepartnern, als auch bei vielen weiteren Firmen in der Automobilindustrie verwendet.

CATIA V5 ist ein parametrisch-assoziatives CAD-System. Das bedeutet, dass für jede angewandte Funktion ein neues parametrisch-assoziatives Geometrieelement erzeugt wird, welches sich Vorgabeparameter, Erzeugungsfunktion und Vorgabegeometrieelemente merkt. Das nun erstellte Vorgabeelement kann wieder als Basis für weitere Funktionen verwendet werden. Aufgrund der Speicherung der Informationen, welches ein jedes Geometrieelement

durchführt, entsteht eine in sich vernetzte Struktur, welche geometrische Verknüpfungen (Assoziationen) zwischen den Elementen aufweist. [10]

Mittels des Verfahrens der parametrisch-assoziativen Konstruktion, welches in den letzten Jahren, aufgrund von Weiterentwicklungen von Soft- und Hardwaretechnologie auch im Karosseriebau ermöglicht wurde, ist nun auch in diesem Anwendungsbereich eine einfachere Neuberechnung bzw. ein schnellerer Variantenvergleich möglich.

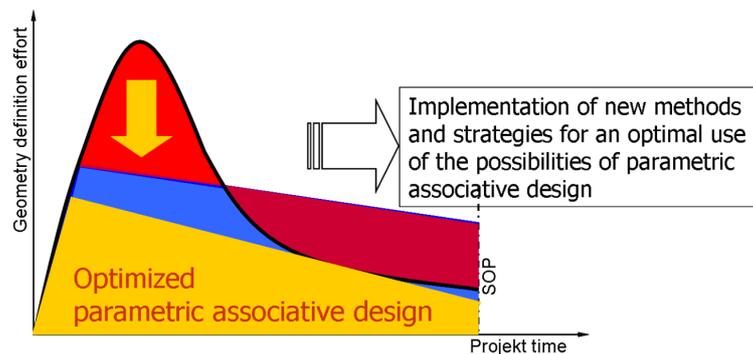


Abbildung 6: Optimale Nutzung von parametrisch assoziativen Möglichkeiten [11]

Der anfängliche Mehraufwand, in Form von vorangehenden Konzeptionsphasen, in denen die Modelle auf sich wiederholenden Geometrien untersucht werden müssen bzw. Abhängigkeiten zwischen betrachteten Bauteilen untersucht werden müssen, bewirkt auf längere Sicht gesehen, eine immer höher werdende Effizienz bzw. Produktivität bei Neuentwicklungen. Die vereinfachte Variantenstudie bewirkt eine Verkürzung der Entwicklungszeit, wobei zusätzlich eine qualitativ hochwertige Dokumentation erstellt wird. [12]

In Abbildung 6 lässt sich gut erkennen, dass sich der anfängliche Mehraufwand (roter Bereich unter der Kurve) im Laufe des Projektes rentiert, da der Aufwand während des Projektes verringert wird. (Die Kurve fällt unter den roten Bereich.)

Um das allgemeine Vorgehen zur Erschaffung eines fertigen Schnittes zu beschreiben, muss man sich zuerst einen Überblick über die derzeitige Situation verschaffen. Dies erfolgt mit mehreren Schnitten am BMW G20 Derivat. Diese Schnitte werden im Kapitel 6.4 gelistet und beschrieben. Dieser Schritt dient grundsätzlich zum besseren Verständnis der Aufgabenstellung und zur Realisierung des vorhandenen Bauraumes.

Auch bei der Erstellung des Musterschnittes an der B-Säule Vordertür am G20, wurde das oben beschriebene Verfahren verwendet. Als Musterschnitt bezeichnet man die Vorlage eines

Schnittes, welche ebenso auf andere Bereiche umsetzbar ist. Dieser Musterschnitt enthält alle relevanten Information die zur Erstellung eines fertigen Bauteils benötigt werden und er dient als Behelf, um den Bauraum darzustellen.

Nach der Konstruktion des Schnittes erfolgt das Hochziehen auf ein 3D-Modell. Dieses Zugprofil (3D-Modell) ist ein Teil des DMU. In einem DMU werden alle Geometriedaten der einzelnen Fahrzeugteile in ihrer vorgesehenen Einbauposition beschrieben. Außerdem beschreibt ein DMU ein möglichst wirklichkeitsgetreues, computergeneriertes Ersatzmodell, welches für Testungen und Simulationen verwendet werden kann. [13] [14]

Infolge der Verschärfung des globalen Wettbewerbs setzte sich die Industrie als Ziel, die Produktentwicklungszeit zu verkürzen. Eine Option war dabei der Einsatz von CAD-Methoden. Anfangs löste das 2D-CAD-System das Zeichenbrett ab. In weiterer Folge wurde jedoch von 2D-Systemen auf 3D-Systeme umgestellt, was ein erhebliches Umdenken der Konstrukteure zur Folge hatte. Da nun nicht mehr die Zeichnung im Mittelpunkt stand, sondern ein komplett durchstrukturiertes 3D-Modell, etablierte sich auch immer mehr die virtuelle Möglichkeit, Baugruppen zu erstellen, verändern und zu untersuchen. Dies wird als DMU bezeichnet. [15]

In der folgenden Abbildung wird außerdem gezeigt, auf welche Phasen des Produktlebenszyklus sich die Kosten aufteilen.

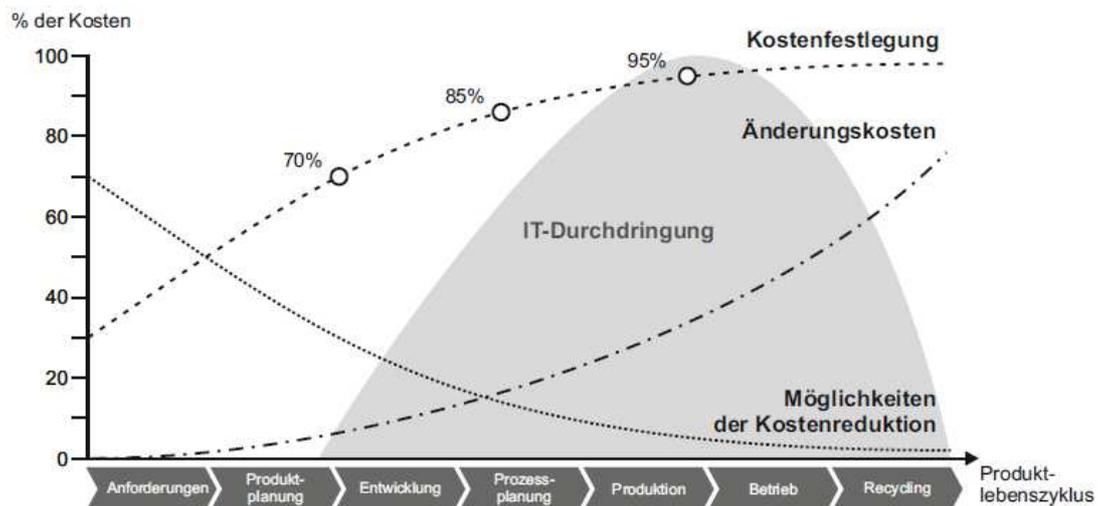


Abbildung 7: Kostenfestlegung und Änderungskosten im Produktlebenszyklus [16]

In den ersten Phasen (Anforderungen, Produktplanung und Entwicklung) des Produktlebenszyklus ist die Möglichkeit Kosten zu beeinflussen am größten. Die meisten Änderungskosten fallen in den späteren Phasen (Produktion, Betrieb und Recycling) statt.

Im nächsten Schritt folgt eine 2D-Detailkonstruktion an der B-Säule Vordertür, welche als Musterschnitt für eine später folgende 3D-Konstruktion fungieren soll. Dieser 2D-Musterschnitt wird mittels durchgeführten FE-Analysen sukzessive verfeinert und optimiert. Der Musterschnitt entspricht einer 2D-Linienkonstruktion ohne bestehende Flächen. Damit die Konstruktionsdaten in ein FE-Programm importiert werden können, müssen zuerst Flächen erzeugt werden.

3.3 Allgemeines zur FE-Berechnung

Für die FE-Berechnung wird das Programm Marc Mentat verwendet. Marc Mentat [<http://www.mscsoftware.com/de/product/marc>] kann sowohl für lineare als auch für nichtlineare Analysen verwendet werden. Da in dieser Arbeit das Verhalten von Kunststoffen - welche ein nichtlineares Verformungsverhalten aufweisen - unter einer bestimmten Belastung simuliert wird, eignet sich Marc Mentat hervorragend für die Analyse.

Des Weiteren liefert Marc Mentat eine große Auswahlmöglichkeit an Material- und Elementeneinstellungen. Auf die verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten wird im Kapitel 7.6 näher eingegangen.

Solche Analysen an physischen Prototypen sind mit hohen Kosten verbunden. Da diese erst nach der Produktion der Bauteile möglich sind, ist es sinnvoll, FE-Berechnungen im Vorfeld der Produktion durchzuführen.

Einen großen Vorteil bringen FE-Programme mit sich, indem sie auch Lösungen liefern können, wenn aufgrund von Randbedingungen und geometrischen Formen keine analytische Lösung geliefert werden kann. Jedoch ist zu beachten, dass jede FEM nur eine Näherungslösung nach einer bestimmten mathematischen Methode ist. [17]

Bei der Simulation und Auslegung von hochdynamisch belasteten Kunststoffen (z.B. Motorlager) ist der Mullins-Effekt zu berücksichtigen. Da sich diese Arbeit jedoch mit Dichtungen beschäftigt, welche keine hochdynamische Belastung erfahren sollten, kann dieser in der Simulation vernachlässigt werden.

Das genaue Vorgehen zur FE-Berechnung für die ausgewählten Konstruktionsvarianten wird in dem Kapitel 7.6 näher beschrieben.

3.4 Datenaustausch zwischen CAx-Werkzeugen

Grundlegend kann hier gesagt werden, dass aufgrund der kontinuierlichen Verringerung der Produktlebenszeiten und der Forderung nach niedrigen Herstellungskosten bei gleichzeitiger Forderung nach hoher Qualität, die Produktentwicklungszeiten und –kosten gesenkt werden müssen. Dies kann vor allem mittels frühzeitigen Einsatzes von Simulationsprogrammen, nämlich schon während der Konstruktionsphase, erreicht werden. [18]

Durch diese Simulationsprogramme, wie z.B. FE-Programme, lassen sich die Bauteileigenschaften schon frühzeitig darstellen und bewerten. Das Ziel solcher Programme ist, den Optimierungsprozess zu verkürzen und somit Zeit und Kosten zu sparen. [19]

Um CAD basierende Daten einer FE-Berechnung zuzuführen, ist ein erheblicher Aufwand nötig, da eine direkte Übernahme der Daten nicht möglich ist und somit über ein Kopplungsmodul bzw. eine gemeinsame Datenbank stattfinden muss. Für die FE-Berechnung werden nämlich nicht alle Geometrieabmessungen (aus dem CAD-Modell) miteinbezogen, sondern es wird ein vereinfachtes Modell erstellt. Die im FE-Modell verwendeten Bauteile werden in einer idealisierten Form verwendet. [19]

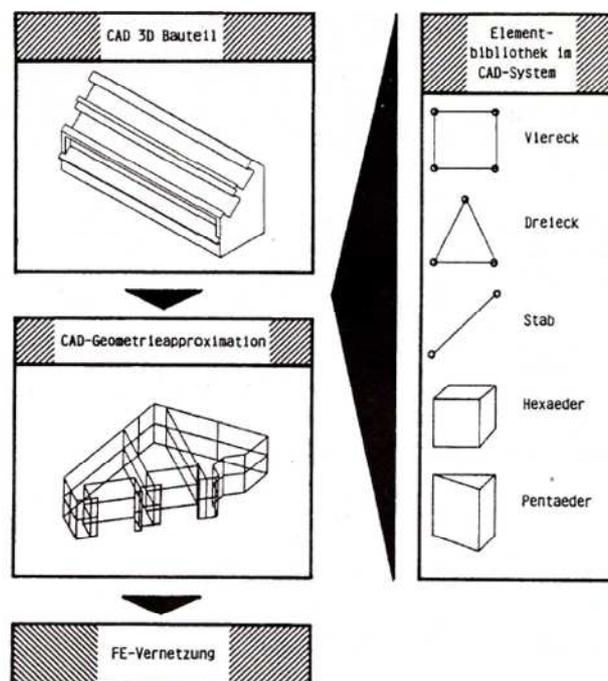


Abbildung 8: Bauteilidealisierung im CAD-System [19]

Dieser als Idealisierung bezeichnete Prozess rührt aus der Umsetzung der realen Geometrie in die Geometrie der Berechnungselemente. Diese Berechnungselemente können nur aus

bestimmten Geometrieelementen, wie z.B. Viereck, Dreieck, Balken, Hexaeder, Pentaeder, usw. bestehen. In Abbildung 8: Bauteilidealisation im CAD-System Abbildung 8 wird eine Bauteilidealisation von einem CAD-Modell beschrieben. [19]

Der bereits oben erwähnte Idealisierungsprozess wird in CATIA mittels der Analyse-Funktion, welche die Flächen bzw. Körper im nächsten Schritt in Teilkörper mit bekannter Geometrie zerlegt, realisiert. Da sich die Simulation im zweidimensionalen Bereich abspielt, wird ein 2D-Netz, welches aus Dreiecken und Vierecken besteht, generiert (siehe Abbildung 69).

Wirkt nun eine Kraft auf die Teilkörper, kann deren Verformung/Verschiebung durch gewisse Ansatzfunktionen berechnet werden. Die Ansatzfunktionen, sowie viele weitere Parameter (wie z.B. Reibkoeffizienten, Materialkennwerte...) wurden seitens der Magna Steyr Fahrzeugtechnik vorgegeben. Mit Hilfe des richtigen Dateiformates kann der Import des Netzes in das ausgewählte FE-Programm erfolgen.

4 Tür- und Dichtsysteme in der Automobilindustrie

In den folgenden Unterkapiteln werden die grundsätzlichen Arten von Dichtungen und die verschiedenen Dichtsysteme und Türvarianten, die es derzeit in der Fahrzeugindustrie gibt, erklärt. Ferner wird auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme eingegangen.

4.1 Grundsätzliche Arten von Dichtungen

Die Hauptfunktion einer Dichtung ist, dass sie die Trennung zwischen zwei funktionsmäßig verschiedenen Räumen durchführt. Dabei soll es zu keinem Austausch fester, flüssiger oder gasförmiger Medien kommen. Grundsätzlich können Dichtungen in feststehende bzw. statische Dichtungen, bewegliche bzw. dynamische Dichtungen und berührungslose Dichtungen unterteilt werden. [20]

Eine Dichtung wird als statische Dichtung bezeichnet, wenn der Dichtprozess zwischen zwei ruhenden Dichtflächen stattfindet. Hingegen findet bei den dynamischen Dichtungen eine Relativbewegung zwischen den Dichtungsflächen statt. Diese beiden Arten von Dichtungen fallen unter die Gruppe der Berührungsdichtungen. [20]

Eine weitere Gruppe sind die berührungslosen Dichtungen. Bei dieser Art der Dichtung wird die Dichtwirkung von Engstellen, wie z.B. enger Spalten ausgenutzt. Der Vorteil von berührungslosen Dichtungen ist, dass ihre Lebensdauer aufgrund von reibungsfreier Arbeit maximiert wird. Jedoch sind die Leckageverluste höher als bei Berührungsdichtungen. [20]

Die Türhauptdichtung gehört ebenso wie die Fensterführungsdichtung und der Kantenschutz zu den statischen Dichtungen, deren Hauptaufgabe es ist, unerwünschte Störgeräusche, die bei der Fahrt entstehen, zu minimieren und das Eindringen gegen Fremdkörper zu unterbinden.

4.2 Dichtsysteme im Türbereich

Im Fahrzeugbau unterscheidet man zwischen drei wesentlichen Dichtungsebenen. Diese Ebenen werden in den Kapiteln 4.2.1, 4.2.2 und 4.2.3 näher beschrieben.

4.2.1 Fensterführungsdichtung

Die Fensterführungsdichtung soll die Dichtheit zwischen Scheibe und Rahmen gewährleisten und der Führung beweglicher Scheiben dienen. Bei rahmengeführten Türen führt dieses System um den gesamten Umfang der Fensterscheibe und ist am Türrahmen montiert. Im Gegensatz zur Türhauptdichtung und dem Kantenschutz ist sie bei den meisten Fahrzeugen von außen (geschlossene Türen) zu erkennen.

In der nächsten Abbildung ist die Position der Dichtung mit roten Pfeilen (→) dargestellt.



Abbildung 9: Position der Fensterführungsdichtung 523i

In der Abbildung 10 ist die Fensterführungsdichtung des Dachrahmenbereichs mit allen Komponenten abgebildet. Für ein besseres Verständnis der Größenverhältnisse ist die Fensterführungsdichtung in nachstehender Abbildung mit den Hauptabmessungen dargestellt.

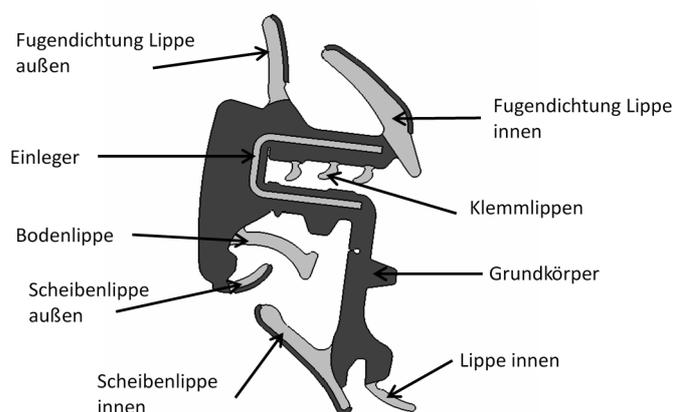


Abbildung 10: CAD-Schnitt der Fensterführung des BMW G20

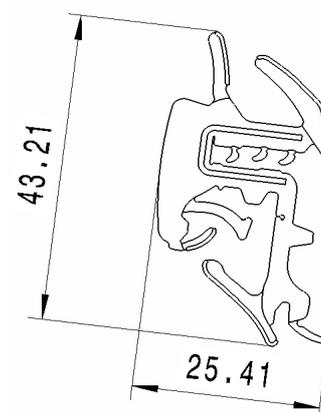


Abbildung 11: Bemaßter Schnitt der Fensterführungsdichtung (BMW G20)

Wie in der obigen Abbildung dargestellt, besteht die Fensterführungsdichtung aus einem Grundkörper (dunkelgrau), mehreren einzelnen Lippen und einem Einleger.

Der Einleger ist für die Stabilität der Dichtung verantwortlich und besteht meist aus Aluminium oder Stahl. Am Grundkörper sind die einzelnen Lippen befestigt und dieser wird über die Klemmlippen mit den Blechen des Türrohbaus befestigt.

Die Fugendichtlippen stellen die Dichtheit zwischen dem Grundkörper und der Fahrzeugaußenhaut dar. Die Bogenlippe sowie die beide Scheibenlippe dichten bei geschlossener Seitenscheibe ab.

4.2.2 Türhauptdichtung

Die Türhauptdichtung ist analog der Fensterführungsdichtung an der Türe montiert und verläuft bei rahmengeführten Türen einmal um den gesamten Umfang der Türe. In Abbildung 12 ist der Verlauf und die Montageposition der Türhauptdichtung am 5er BMW (F10) zusehen.



Abbildung 12: Türhauptdichtung am F10

Die Abbildung 13 zeigt einen Schnitt der Türhauptdichtung des G20 Derivats. Wie zu sehen ist, besteht die Türhauptdichtung aus 4 Hauptkomponenten. Diese sind der Träger auf den alle anderen Komponenten befestigt sind, der Klebestreifen, damit die Dichtung an der Tür befestigt werden kann, der Schwamm und Körper, damit die Dichtheit garantiert wird. Abbildung 14 zeigt die Abmessungen einer Türhauptdichtung bei einem G20 Derivat.

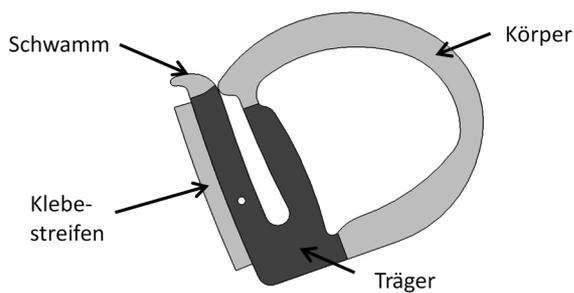


Abbildung 13: CAD-Schnitt der Türhauptdichtung des G20

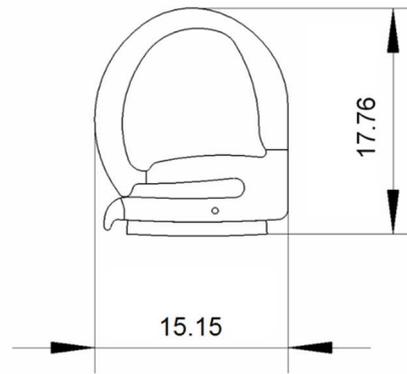


Abbildung 14: Türhauptdichtung mit Abmessungen, im unverpressten Zustand

Im Gegensatz zu Türen mit Rahmen, ist es bei rahmenlosen Türen nicht möglich, dass die Türhauptdichtung um den gesamten Umfang der Türe verläuft. Hier verläuft die Türhauptdichtung teilweise auf der Fahrzeugtür und teilweise ist sie an der Karosserie des Fahrzeuges angebracht.

4.2.3 Kantenschutz

Der Kantenschutz wird anders als die Türhauptdichtung und die Fensterführungsichtung nicht an der Türe des Fahrzeuges befestigt (Ausnahme „Hybridmodell“ bei rahmenlosen Türen), sondern an der Fahrzeugkarosserie angebracht (siehe Abbildung 15).



Abbildung 15: Kantenschutz am 5er BMW

Im Wesentlichen hat der Kantenschutz zwei Hauptaufgaben. Er soll analog zur Türdichtung eine Reduzierung von Störgeräuschen ermöglichen und das Verletzungsrisiko beim Ein- und

Aussteigen in das Fahrzeug minimieren. Außerdem bietet auch diese Dichtungsebene einen Schutz gegen das Eindringen von unerwünschten Festkörpern, Fluiden und Störgeräuschen.

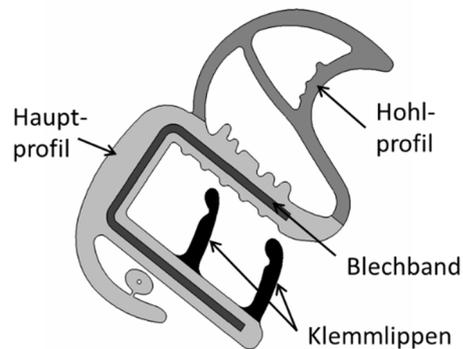


Abbildung 16: Kantenschutzprofil im nicht deformierten Zustand CAD

Die oben angeführte Abbildung zeigt einen CAD-Schnitt eines Kantenschutzes des G20 Derivats im unverpressten Zustand.

Der Kantenschutz besteht aus den Elementen, Hauptprofil, Hohlprofil, dem Blechband und den Klemmlippen.

Das Haupt- und Hohlprofil bestehen aus dem Material Moosgummi (Dichte $0,6 \text{ g/cm}^3$ und Härtegrad 60 shore) und sind somit weich ausgeführt. Da das Hauptprofil jedoch mittels Alu-Einleger bzw. Blechband stabilisiert wird, ist dieses schwerer deformierbar, als ein vergleichbares Hohlprofil.

Die Aufgabe der Klemmlippen ist es, eine stabile Befestigung zu Blechen zu garantieren. Abbildung 17 zeigt die Abmessungen des Kantenschutzes im nicht eingebauten Zustand (G20).

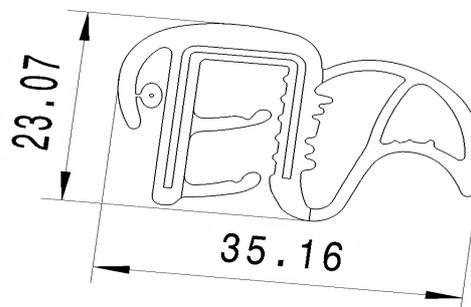


Abbildung 17: Kantenschutz mit Abmessungen im unverpressten Zustand

4.3 Türvarianten im Automobilbau

Im Fahrzeugbau lassen sich grundsätzlich zwei unterschiedliche Türkonzepte differenzieren – rahmenlose Türen und rahmengeführten Türen. Diese beiden Varianten sollen in den nachstehenden Kapiteln näher beschrieben und abschließend gegenübergestellt werden.

4.3.1 Rahmenlose Türen

Heutzutage werden immer öfters rahmenlose Türen in der Fahrzeugindustrie verwendet. Sie werden vor allem bei Cabrios und Coupés, aber auch immer öfters bei anderen Fahrzeugtypen eingesetzt.

Die Grundidee die dahinter steckt, bei Cabrios und Coupés rahmenlose Türen einzusetzen, ist jene, dass aufgrund des fehlenden Rahmens das Design einer solchen Türe eleganter und sportlicher wirkt.



Abbildung 18: Außenansicht Hecktür Audi A7

Wie in Abbildung 18 zu sehen ist, fehlt hier der Türrahmen oberhalb der Brüstungslinie, welcher bei der rahmengeführten Tür die Fensterscheibe umschließt. Bei diesem System muss die Seitenscheibe einen Teil des fehlenden Rahmens kompensieren und daher Druck, Torsions- und Biegekräfte aufnehmen können. Des Weiteren ist eine Sicherung erforderlich, dass bei höheren Geschwindigkeiten bzw. bei höheren Kräften die Scheibe nicht hinaus gesogen wird. [21] Dies kann mittels hoher Vorspannung der Scheibe, Erhöhung der Materialstärke der Türscheibe und Verstärkung des Türschachts realisiert werden. [21]

Die Führung der Seitenscheibe erfolgt bei rahmenlosen Türen über die Fensterheber und das Dichtsystem an sich. Hingegen kann bei rahmengeführten Türen der Rahmen für die Führung der Scheibe ausgenutzt werden. Dass die Führung über die Fensterheber garantiert werden

kann, müssen diese vorgespannt werden. Außerdem sind mindestens zwei Fensterheber pro Scheibe nötig, wobei hingegen bei rahmengeführten Türen auch mit einem Fensterheber pro Scheibe „geführt“ werden kann.

Bei rahmenlosen Türen ist es üblich, dass beim Öffnen und Schließen der Türen ein Hub der Fensterscheiben stattfindet. Dieser Hub kommt dadurch zustande, dass die Fensterscheibe beim Schließen in das Führungselement des Dachrahmens einfährt, damit die Dichtheit an der Oberkante der Scheibe garantiert werden kann.

4.3.2 Rahmengeführte Türen

Rahmengeführte Türen besitzen einen feststehenden Rahmen oberhalb der Brüstungslinie. Diese werden vermehrt bei SUVs, Limousinen und Kombis verbaut.



Abbildung 19: Außenansicht Hecktür eines 5er BMW

In der Abbildung 19 ist die hintere Tür eines 5er BMW (Generation F10) zusehen. Zu erkennen ist, dass die kleine feststehende Scheibe von der größeren beweglichen Scheibe durch den Fensterführungssteg getrennt ist. Es gibt jedoch Fahrzeugmodelle, die nur über die größere bewegliche Seitenscheibe verfügen.

Bei diesem Türkonzept ist nur eine geringe bzw. keine Vorspannung der Scheiben bzw. des Fensterhebersystems erforderlich, da das Herausfallen der Scheibe durch die Führungsfunktion des Rahmens unterbunden wird.

4.3.3 Bewertung und Unterschiede der Varianten

Abseits der offensichtlichen bereits diskutierten Unterschiede, ergeben sich prinzipbedingt weitere Unterschiede zwischen den beiden Varianten. Diese beziehen sich sowohl auf den strukturellen Aufbau der Türe als auch das Dichtungskonzept.

Aufgrund des fehlenden Rahmens oberhalb der Brüstungslinie besitzen rahmenlose Türen kein umlaufendes Dichtungssystem. Stattdessen ist dieses zwischen Türe und Rohbau aufgeteilt. Abbildung 20 zeigt hierzu den Verlauf einer umlaufenden Dichtung am Beispiel eines 5er BMW. Im Gegensatz dazu wird in Abbildung 21 ein mögliches Dichtsystem einer rahmenlosen Tür anhand eines Audi A7 gezeigt.



Abbildung 20: Innenansicht einer Hecktür eines 5er BMW



Abbildung 21: Innenansicht einer Hecktür eines Audi A7

Im linken Bild (Abbildung 20) sieht man, dass die Türhauptdichtung die komplette Kontur der Türe umläuft. Außerdem benötigt man an mehreren Seiten Fensterführungsdichtungen. Im Gegensatz dazu verläuft die Türhauptdichtung bei rahmenlosen Türen nicht um die ganze Türe. Die hier nicht abgebildete Fensterführungsdichtung ist nicht in der Türe verbaut und muss somit in der Karosserie Platz finden.

Ein wesentlicher Unterschied der beiden Varianten ist, dass rahmenlose Türen aufgrund ihres Aufbaus eine Verstärkung des Türrohbaus benötigen. Diese Maßnahme führt zur Erhöhung der Stabilität der Türen, jedoch aber auch zu einem höheren Gewicht.

Auch in Bezug auf die Formteile die für die beiden Türen nötig sind, lassen sich Unterschiede feststellen. Eine rahmengeführte Türe ist aufgrund der wenigen Formteile leichter zu fertigen

und zu dichten, als eine Türe ohne Rahmen. Dies spiegelt sich auch in kostentechnischer Sicht wider.

Ein weiterer Punkt, auf den in diesem Vergleich noch eingegangen wird, ist die Optik bzw. das Design der beiden Varianten.



Abbildung 22: BMW mit rahmengeführten Türen B-Säulen Bereich

Vergleicht man die beiden Gesamtkonzepte ist in der unteren Abbildung ein wesentlich weicherer und optisch homogenerer Verlauf gegenüber dem obigen Modell zu erkennen.



Abbildung 23: BMW 430i Gran Coupé mit rahmenlosen Türen B-Säulen Bereich [22]

Der ästhetische Vorteil von rahmenlosen Türen wird in der obigen Darstellung dadurch verstärkt, dass bei diesem Modell bereits die Flush-Optik integriert ist. Dadurch entsteht der Eindruck eines „aufgeräumten“ Designs, das ansprechender auf den Kunden wirken soll. Diese Modelle wirken viel aufgeräumter und dadurch ansprechender auf die Kunden.

Aus kostentechnischer Sicht ergeben sich Unterschiede von über 50 Euro pro Fahrzeug (siehe Anhang). Dies wirkt sich bei einer Produktionskapazität von über 2 Millionen Fahrzeuge pro Jahr entsprechend auf die Bilanz und den Unternehmenserfolg aus. [23]

Eine exakte kostentechnische Differenzierung ist schwer darzustellen, da sie von mehreren Faktoren abhängig ist. Es ist zum Beispiel wichtig ob im jeweiligen Derivat Türen aus Alu oder Stahl verbaut werden oder ob es auf 2 oder 4 Türen aufgebaut ist.

Der Preisunterschied, um den Fahrzeuge mit rahmenlosen Türen teurer sind, als eines welches Türen mit Rahmen besitzt, resultiert vor allem aus den folgenden Komponenten:

- Dichtungssystem
- Fensterheber
- Montage
- Materialersparnis (weniger Verstärkungsmaßnahmen nötig)

Ein weiterer Vorteil ergibt sich durch die Gewichtsersparnis von ca. 16kg pro Fahrzeug. Die Reduktion resultiert zum größten Teil aus dem Entfall der erforderlichen Verstärkungsmaßnahmen zur Sicherung der Scheibe gegen das Herausfallen. Durch den direkten Einfluss des Gewichts auf die entstehenden CO₂-Emissionen kommt der Gewichtsreduktion in allen Bereichen des Fahrzeugs eine hohe Bedeutung zu.

Aus der Perspektive Gewichts- und Kostenersparnis ist es folglich erstrebenswert, dass rahmengeführte Türen verbaut werden. Durch die Nutzung der Flush-Glass-Optik sollen daher die ästhetischen Vorteile von rahmenlosen Türen mit den funktionalen Vorteilen von rahmengeführten Türen kombiniert werden, um so eine optimale Kombination aus wertigem Design und hoher Funktionalität zu erzielen.

	Rahmenlos	Mit Rahmen
Dichtsystem	Bewertungsbasis	Einfacher zu gestalten
Wirtschaftlichkeit	Bewertungsbasis	Günstiger
Montierbarkeit	Bewertungsbasis	Leichter
Fensterhebersystem	Bewertungsbasis	Einfacheres System
Gewicht	Bewertungsbasis	Leichter

Tabelle 1: Zusammenfassung Rahmenlos vs. Rahmen

Ein weiterer Mehrwert in der Nutzung der Flush-Glass-Optik besteht in einer verbesserten Umströmung des Fahrzeuges. Durch die verminderte Anzahl an Verwirbelungen ergibt sich eine geringere Verschmutzung und Geräuschbildung im Bereich der Seitenscheiben.

5 Untersuchung bestehender Flush-Glass-Systeme (Benchmark)

In diesem Kapitel sollen bestehende Flush-Glass-Systeme analysiert werden. Aktuell setzt nur die Porsche AG im aktuellen Modell des Panamera die Flush-Glass-Optik bei rahmengenführten Türen ein. In der folgenden Abbildung ist ein Porsche Panamera S e-Hybrid abgebildet.



Abbildung 24: Porsche Panamera S e-Hybrid [24]

In den folgenden Unterkapiteln werden das Dichtungssystem und die Führungselemente am Porsche Panamera analysiert.

5.1 Führung der Fensterscheiben beim Porsche Panamera

Bei hohen Geschwindigkeiten kann eine starke Sogwirkung auftreten. Dieser Sog bedingt starke Kräfte, welche die Scheibe komplett herauszuziehen vermögen oder ein ordnungsgemäßes Schließen verhindern, wodurch die Dichtfunktion nicht mehr vollständig gewährleistet werden kann. Damit dieses Problem verhindert wird, ist es sinnvoll die Seitenscheiben mit Hilfe eines Führungssystems zu unterstützen.

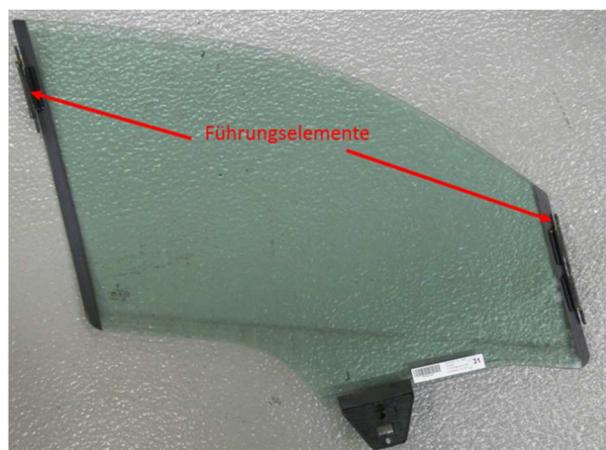


Abbildung 25: Fensterscheibe vorne mit Führungselementen

In Abbildung 25 ist zu sehen, dass auf der Seitenscheibe ein Fensterführungselement aufgeklebt ist. Die Führungselemente befinden sich ungefähr 50mm unterhalb der Oberkante der Seitenscheibe. Sie sind auf jeder Seite nur einmal angebracht und ca. 80mm lang.



Abbildung 26: Türe vorne mit Fensterheber und Führungssystem

In der Abbildung 26 wird verdeutlicht, wie das System beim Porsche Panamera funktioniert. Die Führungselemente werden in einem U-Kanal geführt. Zusätzlich zu den beiden Führungselementen ist die Scheibe noch am unteren Ende mit dem Fensterhebersystem verbunden. Somit wird die Stabilität und Führung gewährleistet.

5.2 Die drei Dichtungsebenen des Porsche Panamera

In den folgenden drei Unterkapiteln werden die verschiedenen Dichtungsebenen beim Porsche Panamera beschrieben.

5.2.1 Fensterführung

Eine andere wichtige Komponente bei der Lösung von Porsche ist das Dichtsystem für die Flush-Glass-Optik. Diese stellt aufgrund der hohen nötigen Fertigungstoleranz und Genauigkeit eine große Herausforderung dar.

In Abbildung 27 ist zu sehen, dass sich unter der Dichtung der U-Kanal versteckt. Dieser ausgebaute U-Kanal, in dem sich die Führungselemente befinden, ist im rechten Bild zu sehen. Es befindet sich noch eine zweite Dichtungsfläche im Rahmen.

Abschließend ist hier zu erwähnen, dass das Dichtungssystem sehr dünn ausgeführt ist. Dies führt wiederum zu einer hohen erforderlichen Toleranzgenauigkeit (Herstellung und Einbau) und somit zu höheren Kosten.



Abbildung 27: Hauptdichtungslippe mit U-Kanal



Abbildung 28: Ausgebauter U-Kanal

5.2.2 Türhauptdichtungsebene

Abgeschlossen wird das System noch von der Türhauptdichtung, welche einmal komplett um den gesamten Umfang der Türe verläuft. Sie ist in dem unten angeführten Bild mit einem roten Pfeil gekennzeichnet.



Abbildung 29: Türe Porsche Panamera mit Türhauptdichtung

5.2.3 Kantenschutz

In der Abbildung 30 ist zu sehen, dass der Kantenschutz des Porsche Panamera (wieder mit einem roten Pfeil gekennzeichnet), wie auch bei den BMW-Derivaten, an der Karosserie angebracht ist.



Abbildung 30: Kantenschutz Porsche Panamera

5.3 CAD-Benchmark Porsche Panamera

Die folgende Abbildung zeigt die Positionierung des Schnittes (P-P) der in der Abbildung 32 dargestellt wird. Es handelt sich hierbei um einen Schnitt durch den kompletten Seitenrahmenbereich (von der A-Säule bis zum Heck) des Fahrzeugs.



Abbildung 31: Position des Schnittes P-P [25]

Angefangen an der A-Säule erkennt man, dass der Seitenspiegel an der Karosserie befestigt wurde und das Spiegeldreieck durch eine feststehende Dreieckscheibe ersetzt wurde. Diese

wurde gleichzeitig nach innen versetzt, was für einen flächenbündigen Übergang zwischen Dreiecksscheibe und Dichtung und in weiterer Folge auf alle weiteren Flächen sorgt.

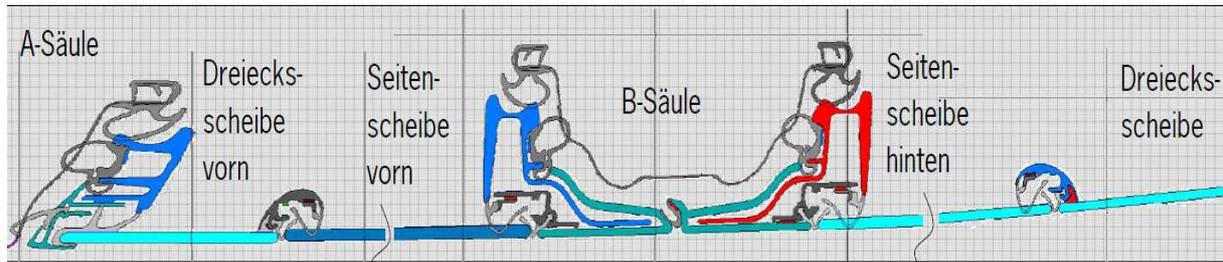


Abbildung 32: Schnitt durch die komplette linke Seite beim Porsche Panamera [6]

Es ist auch sehr gut zu erkennen, dass hier noch ein Versatz zwischen Dreiecksscheibe und Blende bzw. Fensterführung an der A-Säule existiert. Dieser rührt daraus, dass die Dreiecksscheibe am linken Ende geführt wird.

Die Abbildung 33 zeigt den vergrößerten Ausschnitt der B-Säule der Abbildung 32. Hier ist das System besser zu erkennen - vor allem wie die Fensterführung und das Dichtsystem aufgebaut sind.

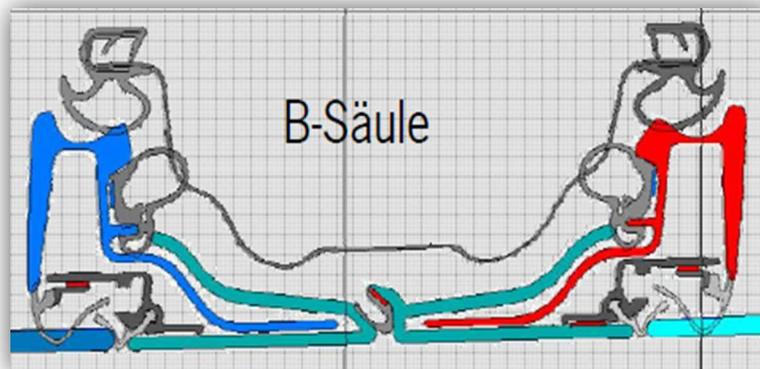


Abbildung 33: Vergrößerter Ausschnitt B-Säule Porsche Panamera [6]

Es ist außerdem sehr gut zu erkennen, dass sich die Blende (hier in grün dargestellt) auf einer Höhe mit der vorderen Seitenscheibe (hier dunkelblau dargestellt) bzw. mit der hinteren Seitenscheibe (hier türkis dargestellt) befindet.

Ebenfalls gut zu sehen ist das Dichtungssystem. Der Kantenschutz und die Türhauptdichtung (beide hier in dunkelgrau dargestellt) befinden sich am roten bzw. blauen Blech. Das Fensterführungssystem und die Blenden wurden nach innen verschoben, wodurch bei gleichbleibender y-Position der Scheiben, ein flächenbündiger Abschluss aller Außenkanten entsteht.

Betrachtet man zuletzt noch die Fensterführung genauer, lässt sich feststellen, dass diese hinter den beiden Dichtlippen (Sicht direkt auf die xy-Ebene) noch einen U-Kanal für die Führungselemente versteckt. Die Führungselemente und der U-Kanal garantieren eine sichere Führung, ohne dass die Scheiben in y-Richtung auswandern können.

5.4 Flush-Glass-Optik bei rahmenlosen Türen

Bei den meisten Automobilherstellern wird bereits die Flush-Glass-Optik im Bereich der rahmenlosen Türen eingesetzt. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen anhand des BMW M6 und des Audi A7 die Umsetzung einer Flush-Glass-Optik bei rahmenlosen Türen.



Abbildung 34: Flush-Glass-Optik beim Audi A7

In Abbildung 35 wird noch deutlicher, dass zwischen Seitenscheibe und Dichtung kein Versatz in y-Richtung besteht.



Abbildung 35: Flush-Glass-Optik beim BMW M6

5.5 Zusammenfassung der Benchmark-Ergebnisse

Die Porsche AG verwendet bei ihrer Version der Flush-Glass-Optik für rahmengeführte Türen ein zweiteiliges Dichtungssystem. Beide Dichtungen sind in die Blende integriert. Der Unterschied ist jedoch, dass die eine Dichtung eingeknüpft und die andere geklebt ist.

Da der Klebevorgang (Montage) einer Dichtung sehr aufwendig ist und außerdem zu einer schwierigeren Demontage führt, soll laut Vorgaben des Industriepartners darauf verzichtet werden. Aufgrund der hohen Fertigungstoleranzen und Passgenauigkeit ist das System außerdem teuer. Der Ansatz der eingeknüpften Dichtung wird jedoch weiterverfolgt, da vor allem die Montage und Demontage einfacher durchzuführen sind.

Des Weiteren sind beim Porsche Panamera Führungselemente an den Seitenscheiben angebracht. Diese garantieren eine genaue Führung der Scheibe mit nur einem Fensterheber und verhindern somit, dass die Scheibe bei höheren Geschwindigkeiten herausgezogen wird.

Diese Führungselemente sind partiell an den Seiten der Scheibe angebracht und werden in einem U-Kanal geführt, der in der Blende integriert ist. Die Türhauptdichtung und der Kantenschutz sind ähnlich ausgeführt wie beim Industriepartner.

Des Weiteren sind im Anhang (A2 und A3) Abbildungen zu finden, die unterschiedliche Bauformen an einem Fahrzeug widerspiegeln sollen. Diese unterschiedlichen Bauformen stellen einen Vergleich zwischen den Basis Modell (Version des derzeitigen Modells) eines Fahrzeuges und der Flush-Variante (mittels Fotomontage) des gleichen Fahrzeuges dar.

6 Aktueller Stand des BMW G20/F30 Derivats

In diesem Kapitel findet man die Darstellung des derzeitigen 3er BMWs (F30), dessen Design und die Komponentenbezeichnung für ein besseres Verständnis in den nachfolgenden Kapiteln. Außerdem folgen einige Schnitte im CAD des neuen BMW Derivats G20, um einen Überblick über den IST-Stand zu geben.

6.1 Design und Komponenten

Das Licht der Welt erblickte der erste 3er BMW 1975. Die sportliche Limousine ist bereits in der 6. Generation auf den Markt und trägt die interne Bezeichnung F30. Sein Nachfolger G20 soll in den nächsten 2 Jahren auf den Markt erscheinen. [26]



Abbildung 36: BMW 340i [27]

Sowohl das derzeitige Modell des 3er BMW, als auch dessen Nachfolger verfügen über rahmengeführte Türen. Um daher auf den G20 oder dessen Nachfolger die Flush-Glas-Optik anwenden zu können, ist es wichtig den aktuellen technischen Stand des Fahrzeugs zu erfassen und zu bewerten.

Die folgende Abbildung umfasst die Bezeichnungen aller wesentlichen Komponenten oberhalb der Brüstungslinie.



Abbildung 37: Komponentenbezeichnung des F30 [27]

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Bewegliche Seitenscheibe vorne | 2. Blende B-Säule |
| 3. Bewegliche Seitenscheibe hinten | 4. Feststehende Seitenscheibe hinten |
| 5. Fensterführungssteg | 6. Schachtabdeckung |
| 7. Spiegeldreieck A-Säule | 8. Dachrahmen |

6.2 IST-Stand des Tür- und Dichtungssystems

In diesem Kapitel wird die Funktion des Dichtungssystems und der Fensterführung mittels geeigneter CAD-Daten erklärt.

In der Abbildung 38 ist der komplette Türbereich des G20 dargestellt. Sowohl Vorder- als auch Hintertür verfügen über einen Kantenschutz, eine Türhauptdichtung und auch über die entsprechende Fensterführungsdichtung, wie bereits in Kapitel 4.2 erklärt.

Vorne befindet sich eine große bewegliche Seitenscheibe die mittels Führungen und zwei Fensterhebern hinauf- und hinunterfahren kann. Das System hinten besteht aus einer großen beweglichen Seitenscheibe und einer kleineren feststehenden. Diese beiden Scheiben sind über den Fensterführungssteg mit einander verbunden.

Im Gegensatz zur Vordertür, bei der die Fensterscheibe mittels zweier Fensterheber bewegt wird, reicht an der hinteren beweglichen Scheibe bereits ein Mechanismus. Die Fensterheber sind mit roten Pfeilen (→) in der unteren Abbildung markiert.

Prinzipiell ließe sich die Vordertür mit nur einem Fensterheber realisieren, was jedoch einen hohen konstruktiven Änderungsaufwand bedeuten würde.

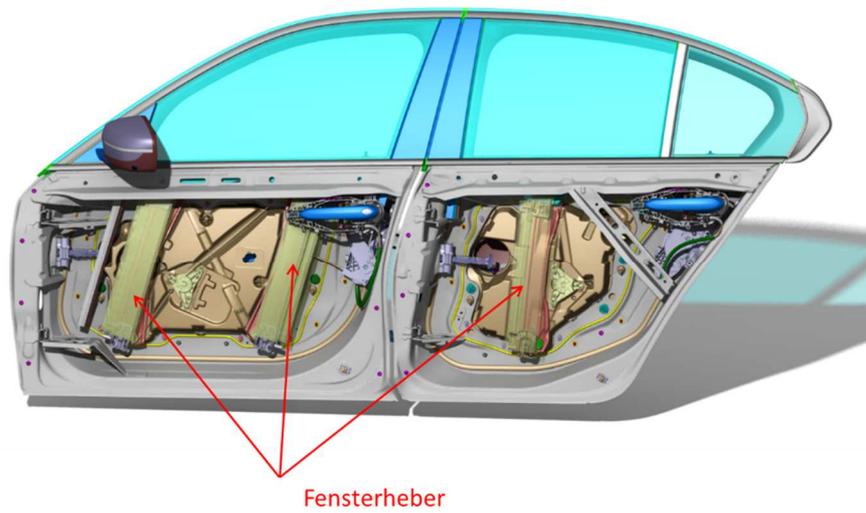


Abbildung 38: CAD-Modell G20 Tür- und Einstiegssystem Fahrerseite

6.3 Ist-Stand der Montagereihenfolge der Türen am BMW-Derivat G20

Ein wichtiger Aspekt für die Auslegung der Flush-Glass-Optik bzw. für die Konzeptbewertung ist die Einhaltung der Montagereihenfolge, da deren Änderung mit hohen Kosten verbunden wäre. In dem nächsten Kapitel wird anhand von Bildern die aktuelle Montagereihenfolge dargestellt und beschrieben.

6.3.1 Montagereihenfolge Vordertür

In der Abbildung 39 wird der Montageverlauf der Vordertür am G20 Derivat verdeutlicht. Zu Beginn wird am Türrohbau die Hauptdichtung mittels Klebestreifen um den gesamten Türumfang angebracht.

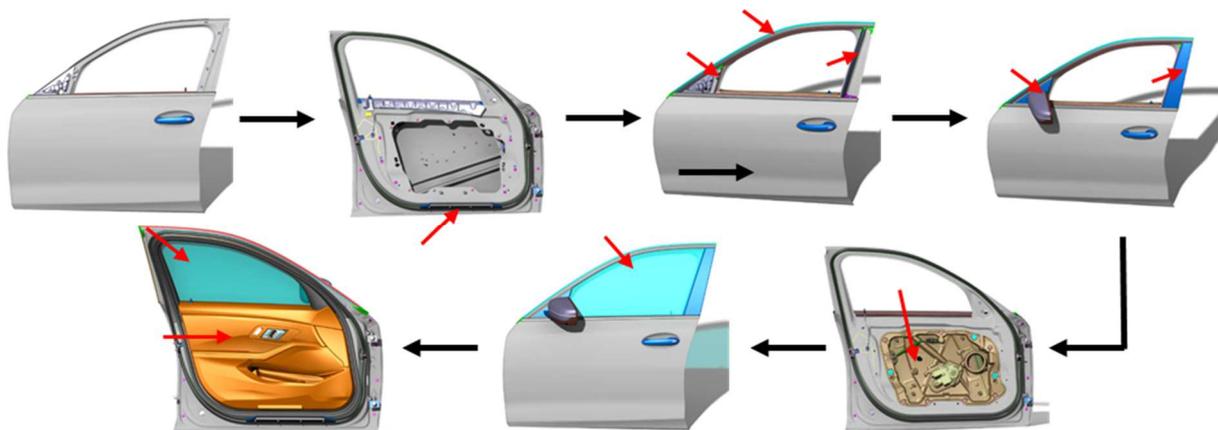


Abbildung 39: Montagereihenfolge Vordertür G20

Im nächsten Schritt wird die Fensterführungsabdichtung angebracht und in weiterer Folge werden die Blenden montiert. Im Schritt 5 wird der Leichtbauträger, welcher das Fensterhebersystem beinhaltet integriert, damit das Einschleiben der Seitenscheibe erfolgen kann.

Diese wird aufgrund ihrer Geometrie erst gegen Ende verbaut. Üblicherweise wird sie solange nach unten geschoben bis ein „klicken“ zu hören ist und danach wird mittels Zugprobe der feste Sitz der Scheibe sichergestellt.

Im letzten Schritt folgen nun noch die Montage der Schachtabdeckung an der Außenseite und das Anbringen der Abdeckung Fensterrahmens und die Anbringung der Dekoreinlage an der Innenseite der Türe.

6.3.2 Montager Reihenfolge Hintertür

Auch hier wird ausgehend vom Türrohbau, die Türhauptdichtung aufgeklebt. Im dritten Schritt wird die feststehende Seitenscheibe inklusive bereits angebrachter Umspritzungen montiert, danach erfolgt die Montage der Fensterführungsdichtung.

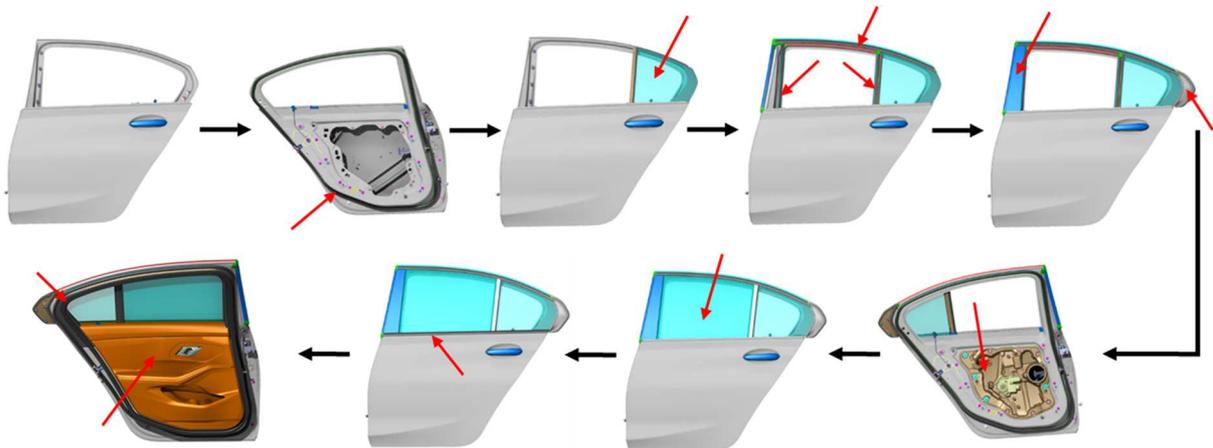


Abbildung 40: Montager Reihenfolge Hintertür G20

Hier ist zu beachten, dass die vertikale Dichtung, die an dem Fensterführungssteg hinunterläuft, erst nach der Montage der beweglichen Seitenscheibe fixiert werden kann. Nun folgt die Integration der Blenden an der B-Säule und am Fensterführungssteg. In weiterer Folge wird wie bereits bei der Vordertür der Leichtbauträger verbaut.

An dieser Stelle kann nun die bewegliche Seitenscheibe hineingeschoben werden, bis wieder ein „Klicken“ zu vernehmen ist. Nach der Zugprobe der Scheibe wird wieder die Schachtabdeckung an der Außenseite der Tür und die Abdeckung Fensterrahmens angebracht.

Als letzter Schritt folgt auch hier die Montage der Dekoreinlagen an der Innenseite.

6.4 CAD-Schnitte

In der folgenden Abbildung werden die Anzahl und die Position der erforderlichen Schnitte festgelegt. Die Beschreibungen zu den einzelnen Schnitten finden sich in der Tabelle 2. An den Übergängen zwischen Seitenscheibe und Fensterführung/Blende werden mehrere Schnitte gesetzt, um einen besseren Überblick über die Bauraumsituation zu erlangen.

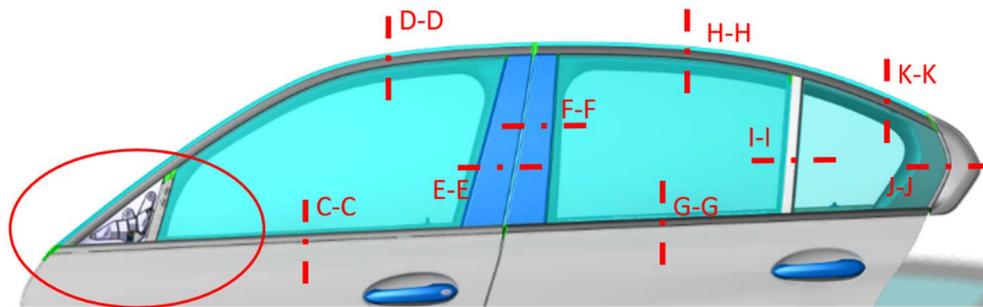


Abbildung 41: Positionierung und Anzahl der Schnitte

Zur besseren Übersicht und Verständlichkeit sind die Schnitte im Bereich des Spiegeldreiecks an der A-Säule in einer separaten Abbildung vergrößert dargestellt.

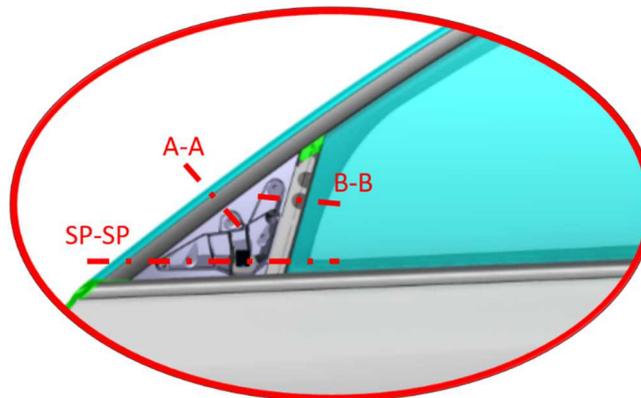


Abbildung 42: Schnitte im Bereich des Spiegeldreiecks

Alle Schnitte die in der Tabelle 2 verzeichnet sind, befinden sich an der linken Seite des Fahrzeuges (Fahrerseite) und deren Position kann aus Abbildung 41 bzw. Abbildung 42 entnommen werden. Außerdem sind die Schnitte normal zu den jeweiligen Bezugsflächen erstellt. Das bedeutet, dass diese sich nicht in den Hauptebenen (x, y, z) befinden, womit die Verzerrung minimiert wird und eine getreue Darstellung entsteht.

Schnitt	Bezeichnung
A-A	Schnitt Spiegeldreieck A-Säule
B-B	Schnitt Fensterführung an der A-Säule
C-C	Schnitt Schachtabdeckung Vordertür
D-D	Dachrahmenschnitt der beweglichen Seitenscheibe Vordertür
E-E	Schnitt Blende Vordertür B-Säule
F-F	Schnitt Blende Hintertür B-Säule
G-G	Schnitt Schachtabdeckung Hintertür
H-H	Dachrahmenschnitt bewegliche Seitenscheibe Hintertür
I-I	Schnitt Fensterführungssteg
J-J	Schnitt feststehende Scheibe C-Säule mit Blende
K-K	Dachrahmenschnitt feststehende Seitenscheibe
SP-SP	Schnitt Spiegeldreieck parallel zum waagrechten Fensterrahmen

Tabelle 2: Bezeichnung der Schnitte

Schnitt A-A

Der in Abbildung 43 dargestellte Schnitt A-A zeigt die einzelnen Bauteilkomponenten die sich im Spiegeldreieck im Bereich der A-Säule befinden. Das Dichtungssystem in diesem Bereich basiert auf der Türhauptdichtung, dem Kantenschutz, der Fensterführung inklusive der Fugendichtung und der in blau dargestellten Abdichtung des Spiegeldreiecks. Die ersten drei Dichtungssysteme sind bereits in Kapitel 4.2 näher beschrieben. Zusätzlich zur Dichtfunktion, hat die Abdichtung des Spiegeldreiecks auch noch den Vorteil, dass eine höhere Stabilität in diesem Bereich entsteht.

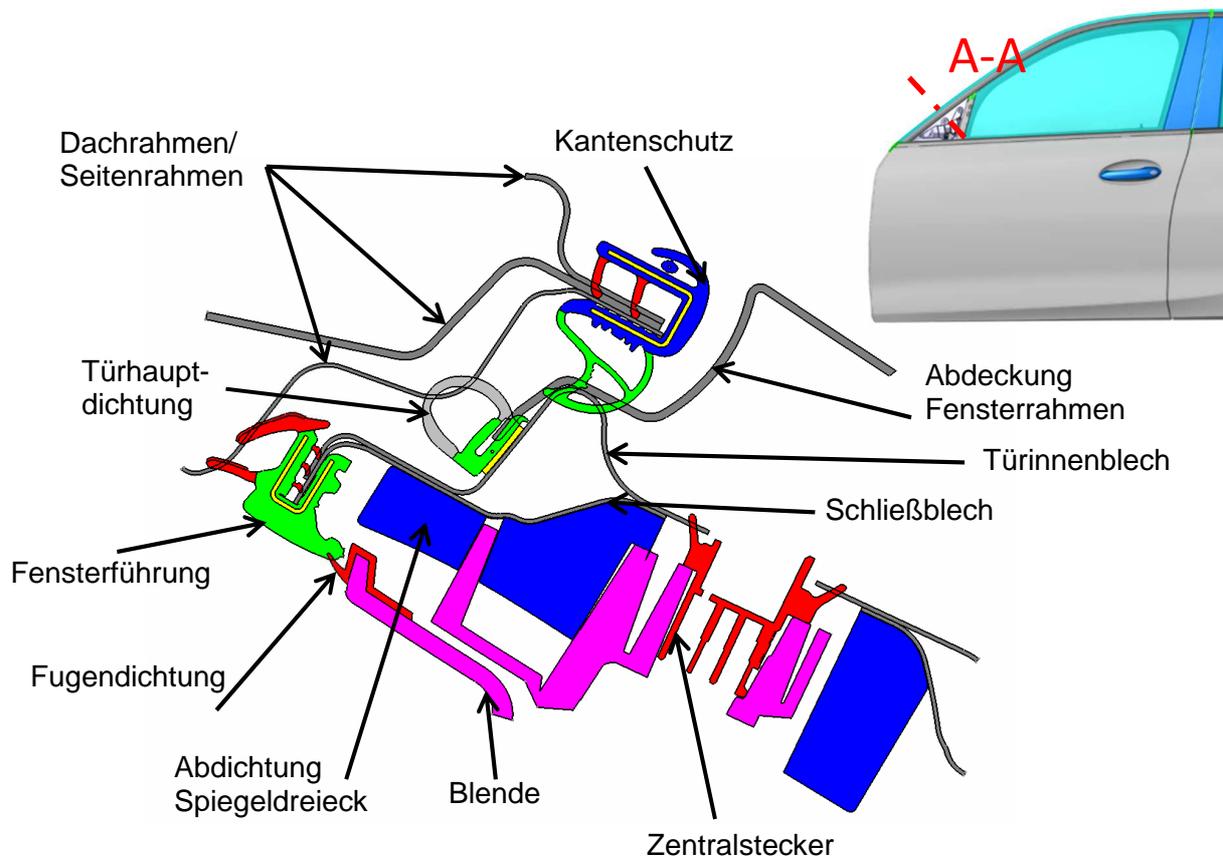


Abbildung 43: Schnitt A-A (Ansicht von oben)

Des Weiteren sieht man in dieser Abbildung den Verlauf des Dachrahmens und Seitenrahmens, das Schließ- und Türinnenblech und die Abdeckung des Fensterrahmens. An der, in rosa eingefärbten Blende ist der Außenspiegel des Fahrzeuges befestigt. Die weiteren Schnitte im Bereich der A-Säule sind der Schnitt B-B, welcher den Schnitt durch die Fensterführung zeigt und der Schnitt SP-SP, der den Schnitt parallel zur Schachtabdeckung zeigt. Des Weiteren ist zu erkennen, dass der Zentralstecker die notwendige Durchführung der Kabel gewährleistet und somit die Strom- und Datenversorgung sicherstellt.

Schnitt C-C

Die folgende Abbildung zeigt den Schnitt durch die Schachtabdeckung der Vordertür. Hier ist anders als bei Schnitt A-A und Schnitt B-B nur mittels Fensterführung gegen das Eindringen unerwünschter Materialien abgedichtet.

Die in hellblau gekennzeichnete Seitenscheibe kann mittels des entsprechenden Fensterhebersystems rauf und runter bewegt werden, wodurch auch die Dichtlippen sehr flexibel agieren müssen.

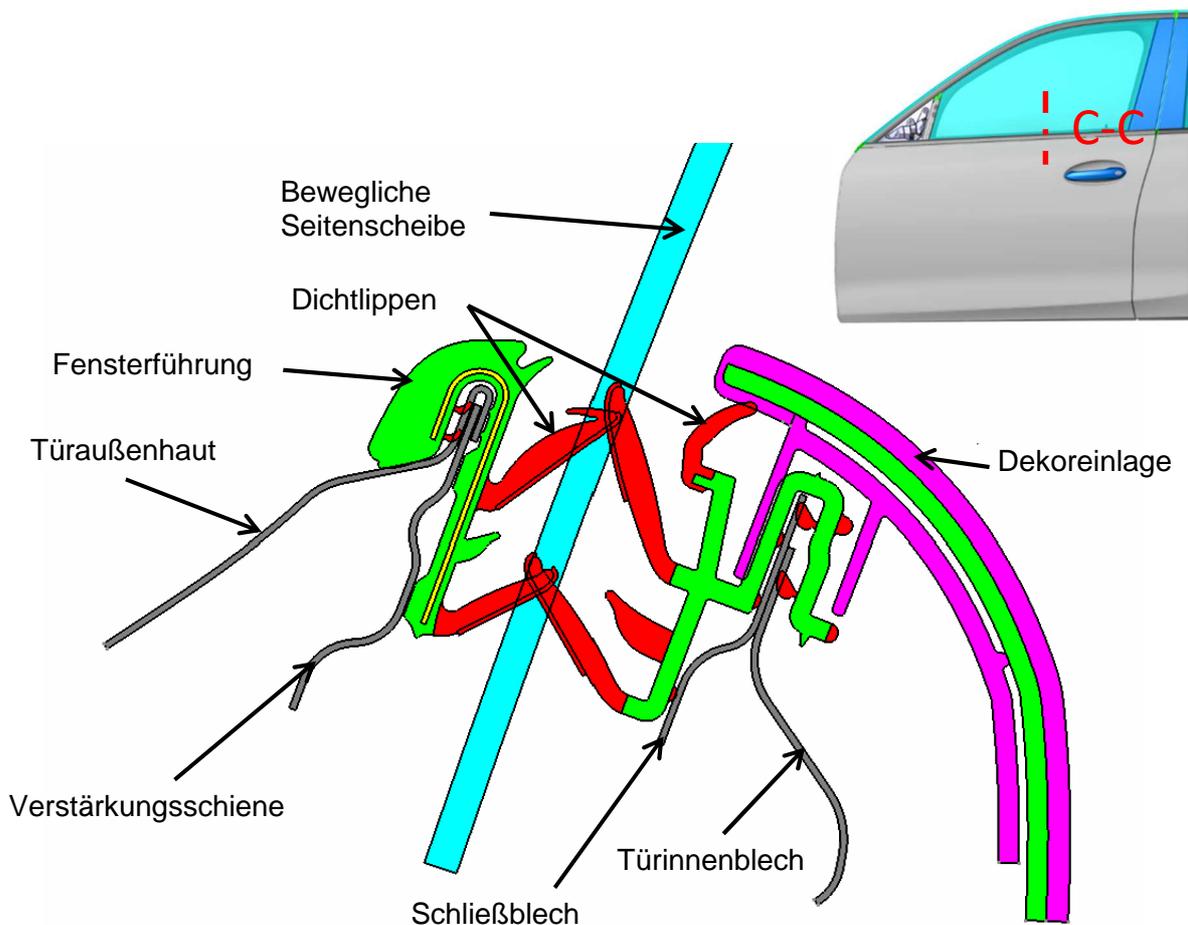


Abbildung 45: Schnitt C-C (Ansicht von hinten)

Außerdem wird zusätzlich zwischen dem Blech der Türaußenhaut, der Verstärkungsschiene, dem Türinnenblech bzw. den Schließblech und der Fensterführung gedichtet. Der Verlauf der Innenausstattung (Dekoreinlage) wird in dieser Abbildung in rosa angedeutet.

Schnitt D-D

Das nächste Bild zeigt die Darstellung des Schnittes durch den Dachrahmen der Vordertür des Fahrzeuges. Dieser Schnitt ist ähnlich dem Schnitt A-A, jedoch befindet sich hier anstatt der Abdichtung des Spiegeldreiecks die bewegliche Seitenscheibe.

Diese muss aufgrund ihrer lokalen Flexibilität wieder mit einer Fensterführungsichtung gedichtet werden. Auch der Kantenschutz und die Türinnendichtung sind hier wieder vorhanden.

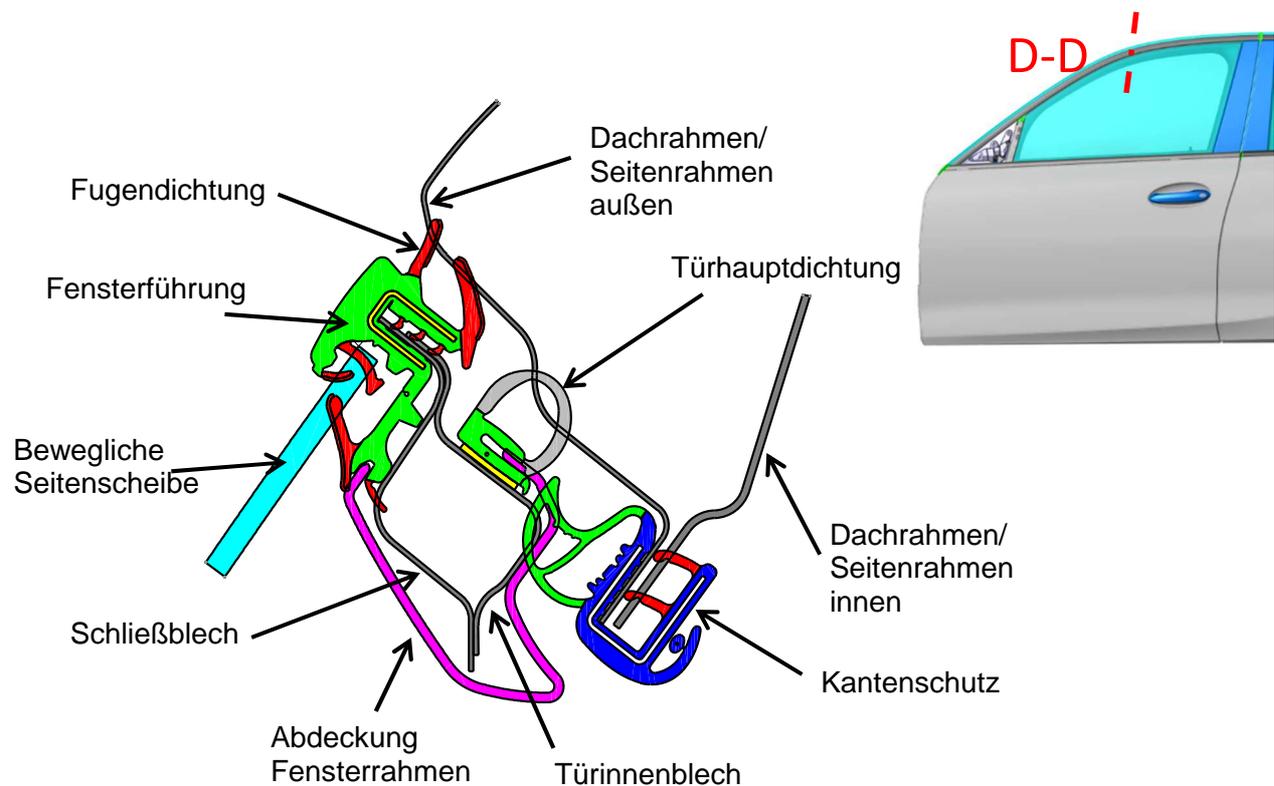


Abbildung 46: Schnitt D-D (Ansicht von hinten)

Damit auch zwischen der Fensterführung und dem Dach- bzw. Seitenrahmen, nichts eindringen kann, wird hier mittels einer Fugendichtung der Spalt geschlossen. Dies ist ein sehr einfaches und unkompliziertes System, jedoch ist es auch hier eine Überlegung wert, ob es nicht andere Dichtungsmöglichkeiten gibt um das Ziel, eine komplett ebene Seitenhaut (Flush-Glass) zu erreichen.

Schnitt E-E

Der in Abbildung 47 dargestellte Schnitt E-E, ist der letzte Schnitt der in dieser Arbeit an der Vordertür des Fahrzeuges abgebildet wird. Er befindet sich an der Blende der Vordertür, im Bereich der B-Säule und ist parallel zur Schachabdeckung positioniert.

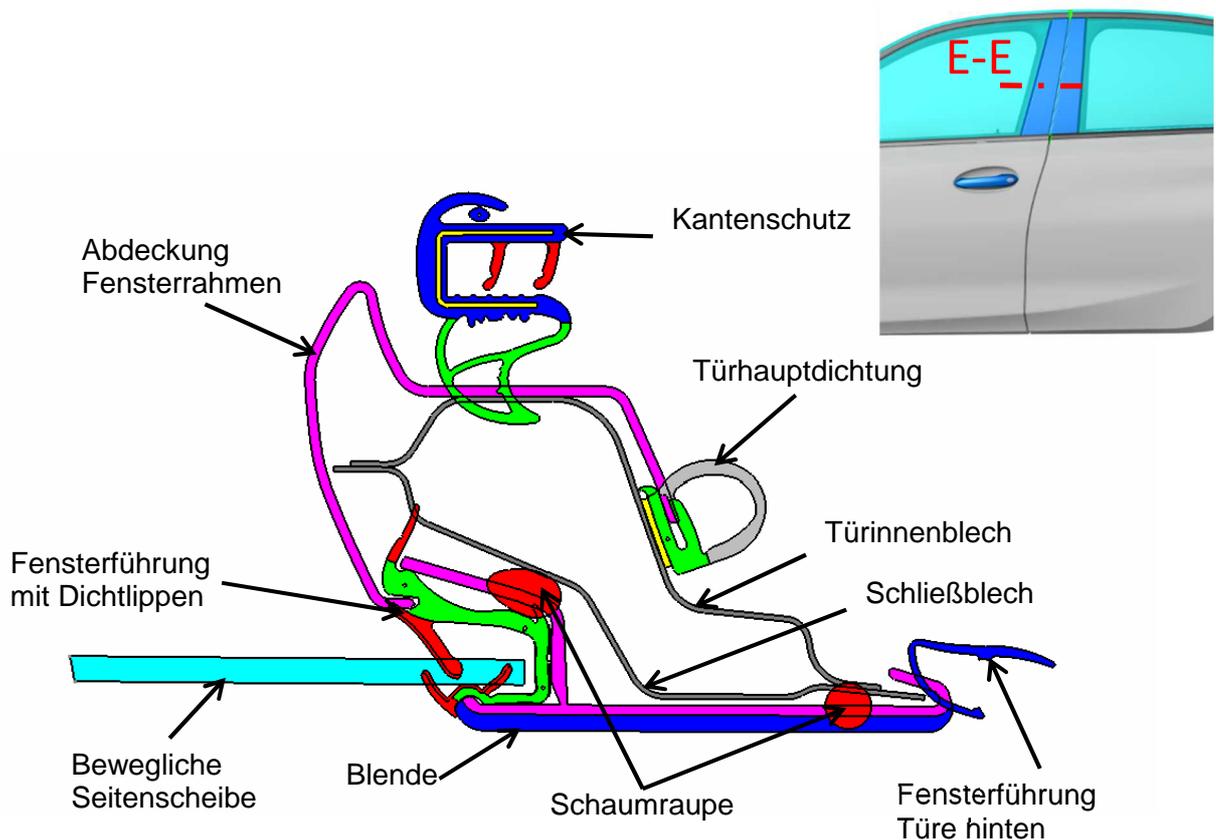


Abbildung 47: Schnitt E-E (Ansicht von oben)

Man kann auch hier wieder die Dichtungsebenen Kantenschutz, Türhauptdichtung und Fensterführung erkennen. Zwischen dem Bereich der hinteren Türe (hier dargestellt durch die in blau markierte Fensterführung Türe hinten, im rechten unteren Bereich der Abbildung) und der Blende der Vordertür befindet sich eine Dichtung.

Die in Rot dargestellten, runden Elemente werden als Schaumraupe bezeichnet. Schaumraupen müssen wasserdicht ausgeführt werden und wirken auch gegen Störgeräusche wie Quietschen, Knarzen und Klappern. Sie werden vor allem in Bereichen eingesetzt, die nicht dynamisch belastet werden.

Schnitt F-F

Der Schnitt F-F der in der Abbildung 48 zu sehen ist, ist die Fortsetzung des Schnittes E-E, aus der vorherigen Abbildung. Er befindet sich ebenfalls an der B-Säule des Fahrzeuges, allerdings handelt es sich hierbei um die Hintertür.

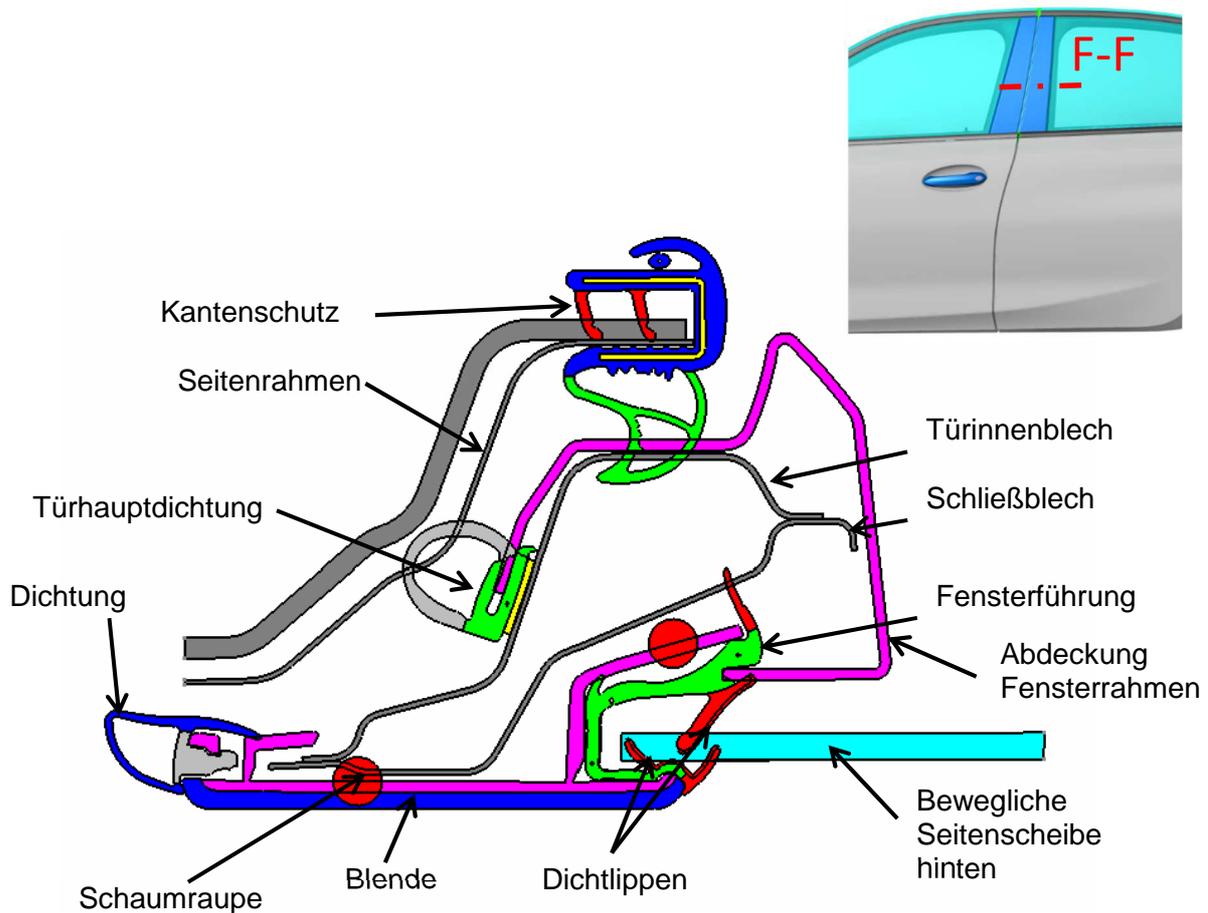


Abbildung 48: Schnitt F-F (Ansicht von oben)

Wie bei den meisten hier dargestellten Schnitten, sind auch hier wieder die drei Dichtungsebenen gekennzeichnet. Die Funktionen der restlichen Komponenten sind bereits in den vorherigen Schnitten erklärt.

Auch hier muss eine Änderung durchgeführt werden, damit eine komplett ebene Fläche zwischen Seitenscheibe, Fugendichtung und Blende erreicht werden kann.

Schnitt G-G

Die Abbildung 49 zeigt den Schnitt G-G, der sich durch die Schachtabdeckung der Hintertür bewegt. Es ist hier wieder zu erkennen, dass kein Kantenschutz und keine Türhauptdichtung vorhanden sind, sondern alleine die Fensterführung die Dichtheit garantieren muss.

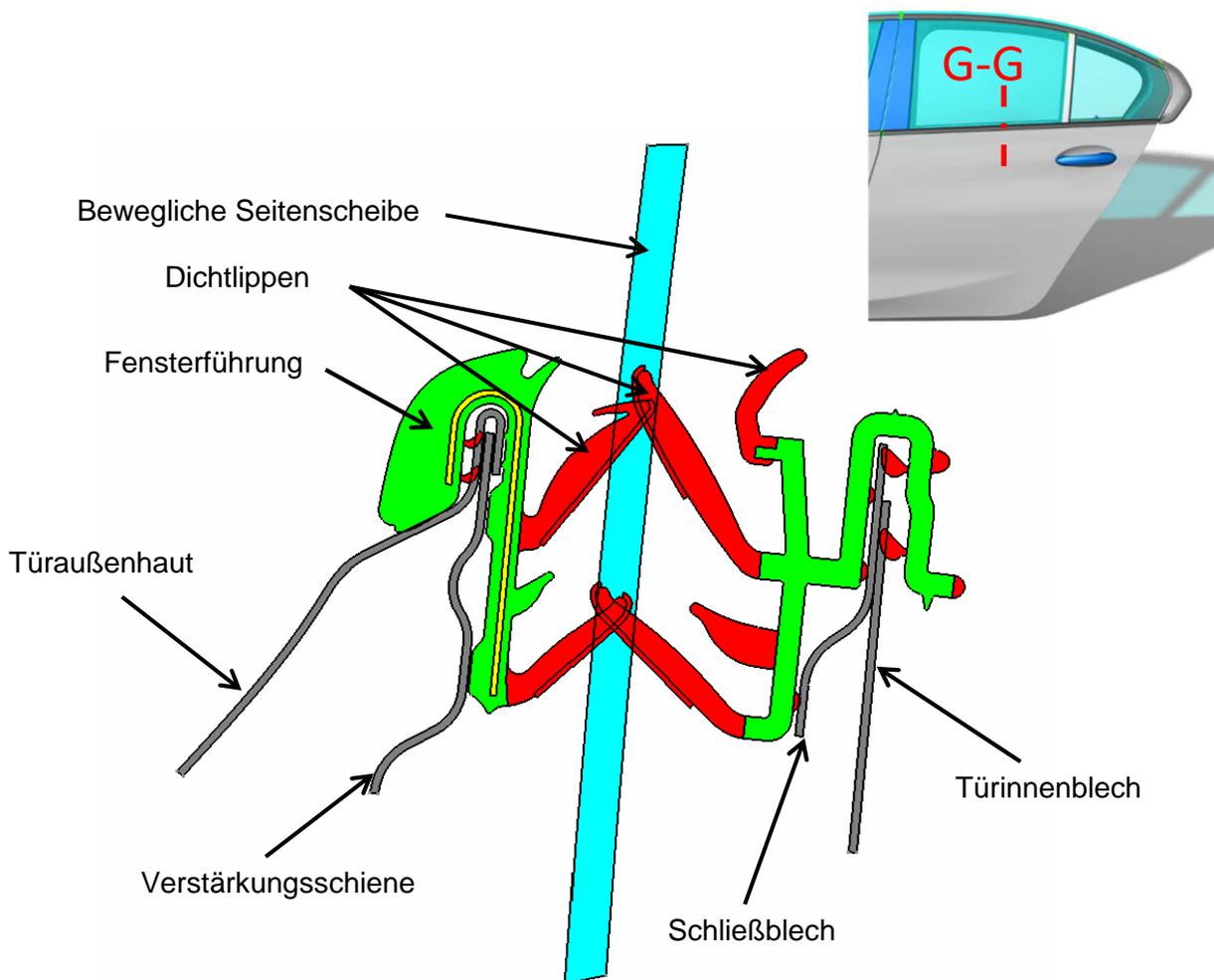


Abbildung 49: Schnitt G-G (Ansicht von hinten)

Das Schließblech, Türinnenblech bzw. die Türaußenhaut und die Verstärkungsschiene sind wieder mit der Fensterführung verbunden. Hier wird das unerwünschte Eindringen durch mehrere kleine Dichtlippen verhindert.

Schnitt H-H

In der Abbildung 50 ist der Schnitt H-H zu sehen der ähnlich den Schnitten A-A und D-D durch den Dachrahmen führt, jedoch ist dieser diesmal an der Hintertür positioniert und auch die Ansicht von vorne ist unterschiedlich zu den anderen Schnitten.

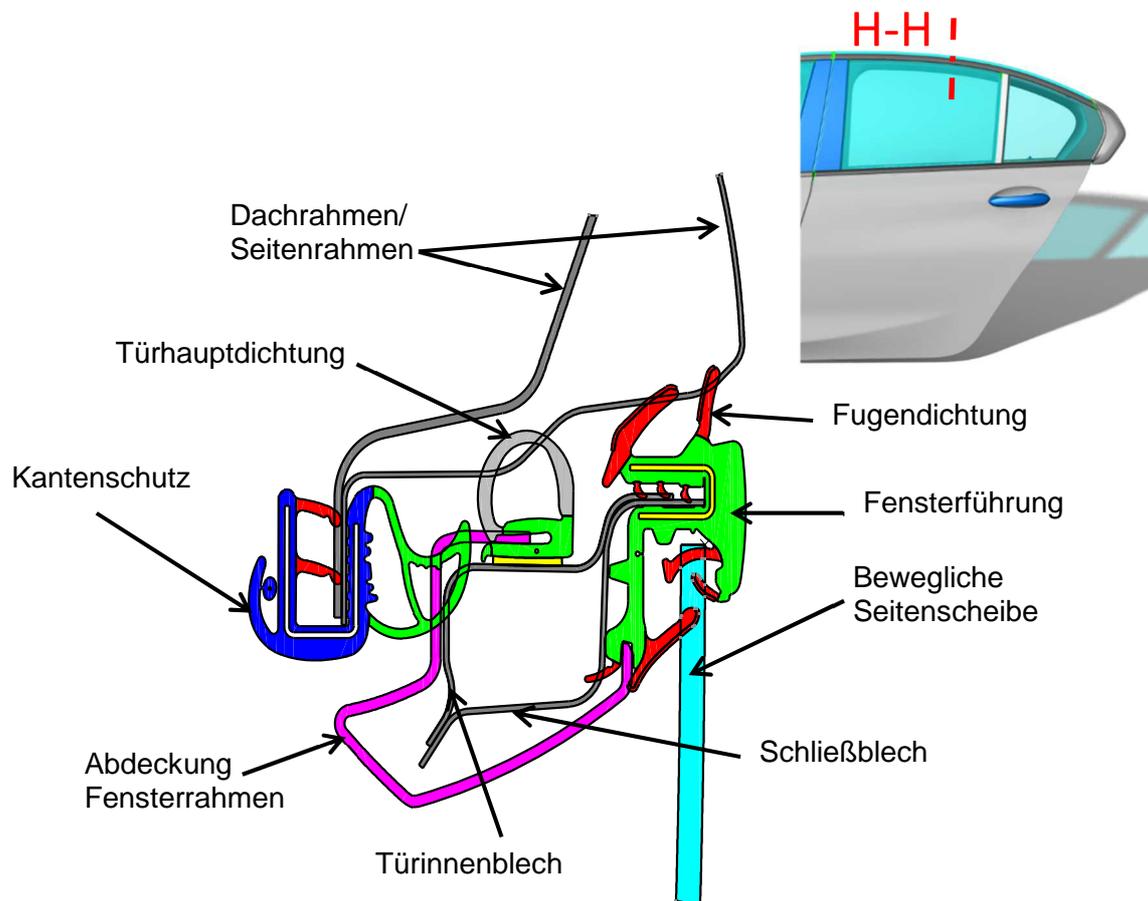


Abbildung 50: Schnitt H-H (Ansicht von vorne)

Alle hier dargestellten Komponenten sind ähnlich oder gleich jenen in den Schnitten A-A bzw. D-D. Für weitere Details vgl. mit den Schnitten A-A bzw. D-D. Auch hier sieht man wieder, dass die Fensterführung in y-Richtung weiter herausragt als die Seitenscheibe des Fahrzeuges.

Schnitt I-I

In diesem Bereich ist die feststehende Seitenscheibe mittels einer Umspritzung mit dem Fensterführungssteg verbunden. Dieser umfasst ebenfalls die Fensterführung, in der wiederum die bewegliche Seitenscheibe geführt wird.

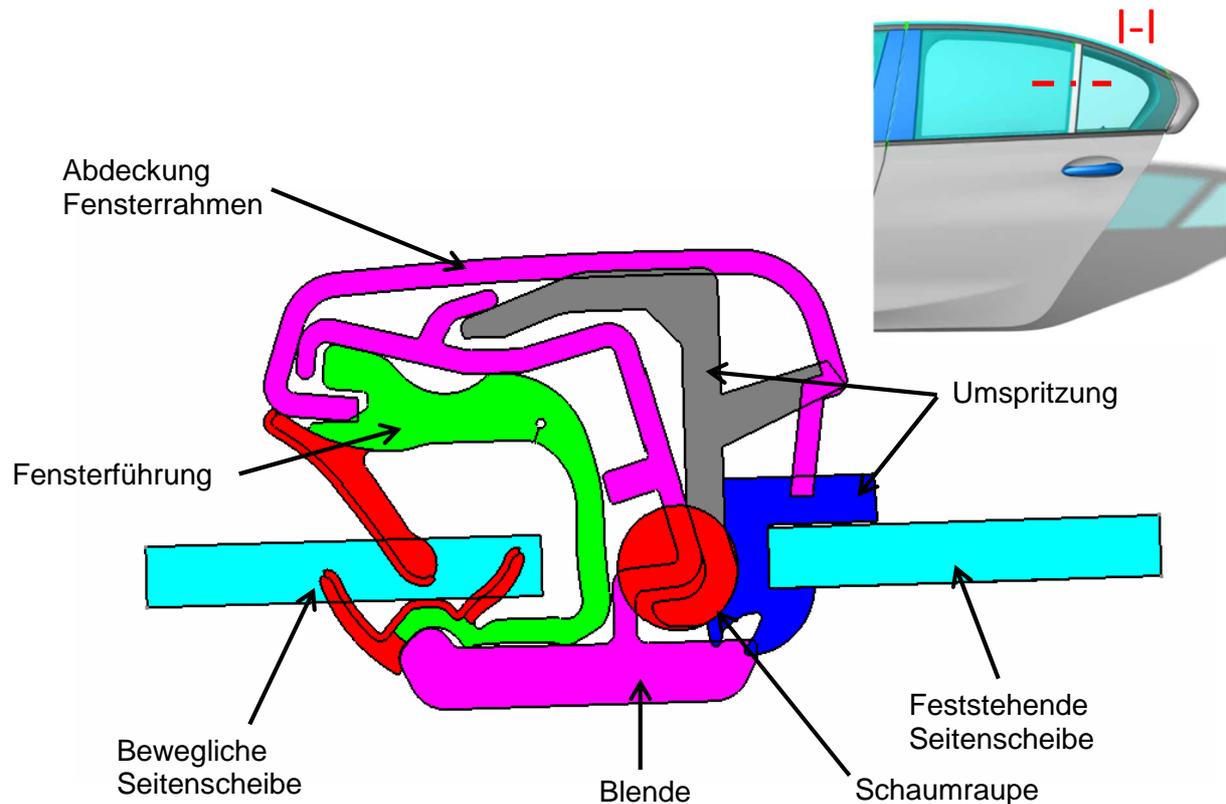


Abbildung 51: Schnitt I-I (Ansicht von oben)

Hier garantieren die beiden Dichtungssysteme, die Umspritzung (dunkelblau) und die Fensterführung (grün) die komplette Dichtung und Führung der Scheiben. Das unerwünschte Eindringen von Stoffen wird bei der Gummiumspritzen von zwei Lippen verhindert.

Mittels der Abdeckung Fensterrahmen werden alle Komponenten verdeckt, sodass sie vom Innenraum nicht mehr sichtbar sind.

Hier kann man erkennen, dass die Blende des Fensterführungssteiges nicht eben mit den beiden umschließenden Scheiben verläuft. Auch die derzeitige Umspritzung schließt in y-Richtung nicht bündig mit den Seitenscheiben ab.

Schnitt J-J

Die untere Abbildung zeigt den Schnitt J-J der durch die feststehende Seitenscheibe der hinteren Türe und der Zierblende an der C-Säule geht. Es lässt sich sehr gut erkennen, dass die Scheibe mittels Gummispritzung fixiert ist. Die Abdeckung Fensterrahmen ist ebenfalls in dieser Gummispritzung angebracht.

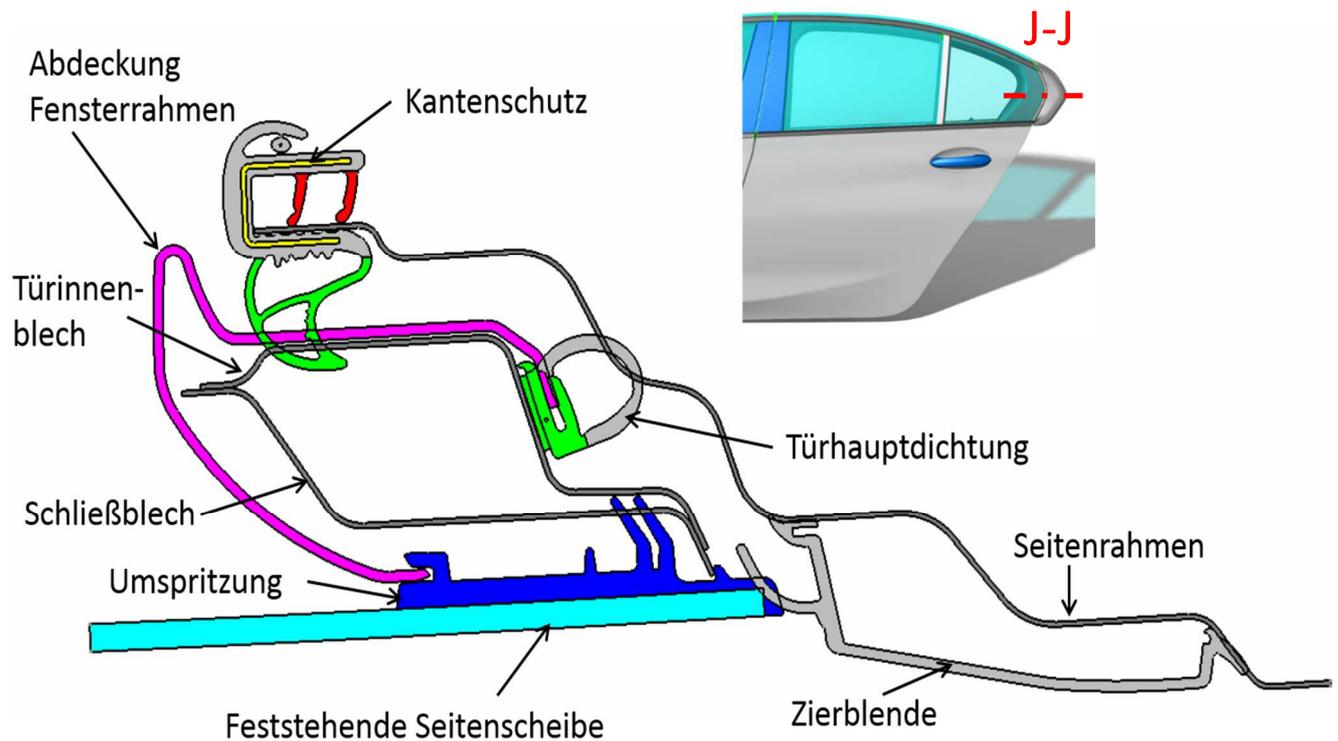


Abbildung 52: Schnitt J-J (Ansicht von oben)

Des Weiteren sind auch der Kantenschutz und die Türhauptdichtung gut zu erkennen.

Schnitt K-K

Der Schnitt K-K ist wiederum ähnlich zu den Schnitten A-A, D-D und H-H. Um genauere Informationen zu den einzelnen Komponenten zu entnehmen vgl. mit den oben genannten Schnitten.

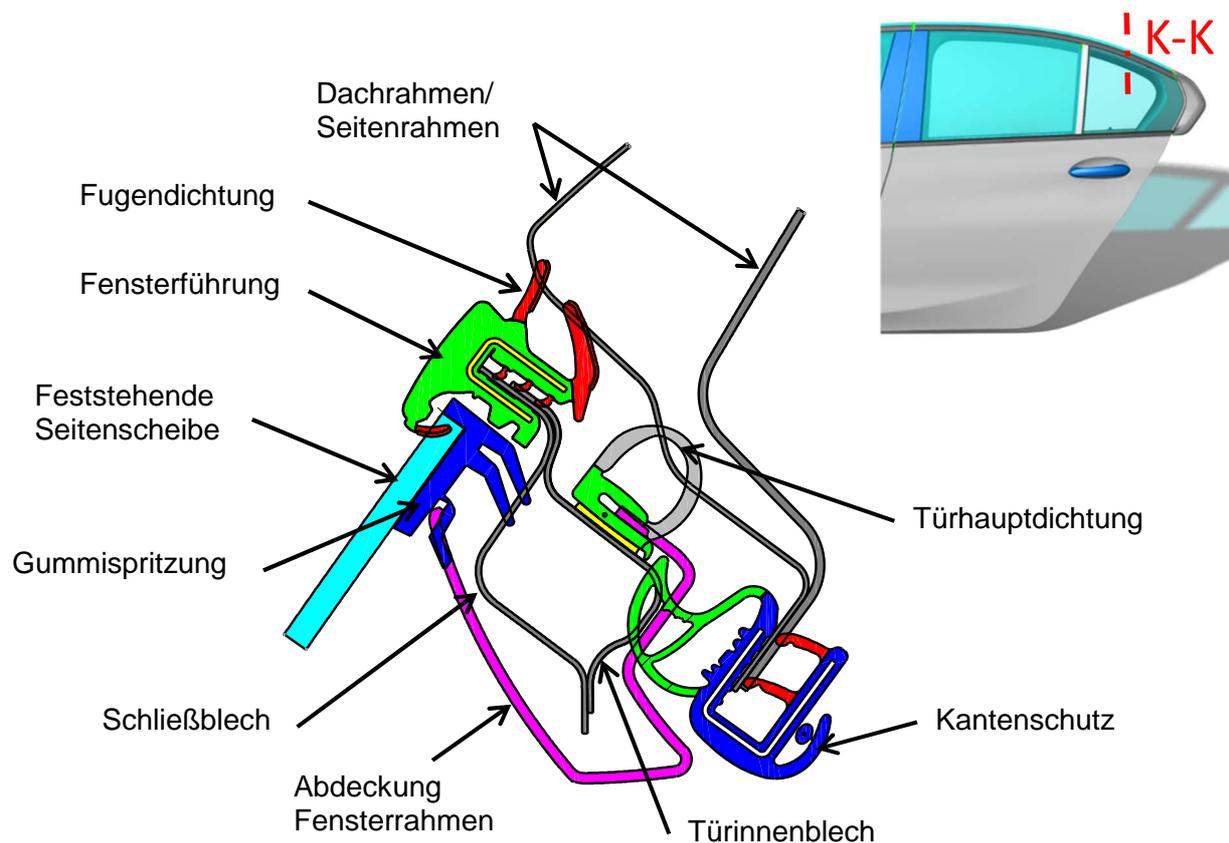


Abbildung 53: Schnitt K-K (Ansicht von hinten)

Es besteht jedoch noch ein Unterschied zu den ähnlichen Schnitten. Hier ist die Seitenscheibe des G20 feststehend, sprich sie kann nicht bewegt werden. Als Dichtungssystem dient hier wieder die Fensterführungseinheit, welche mittels Gummiumspritzen (wieder in blau dargestellt) mit der Seitenscheibe verbunden ist.

In Bezug auf die Flush-Glass-Optik besteht hier wieder dasselbe Problem wie bei den meisten Schnitten bzw. Positionen davor.

Schnitt SP-SP

Im folgenden Bild sieht man den Schnitt SP-SP, welcher sich parallel zum horizontalen Fensterrahmen an der A-Säule des G20 befindet. Dieser Schnitt geht wie in der Abbildung 42 zu sehen, vom Dachrahmen über das komplette Spiegeldreieck bis hin zu beweglichen Seitenscheibe. Hier erkennt man auch sehr gut die Dicke der Abdichtung (in dunkelblau dargestellt) und wie der Spiegel befestigt ist.

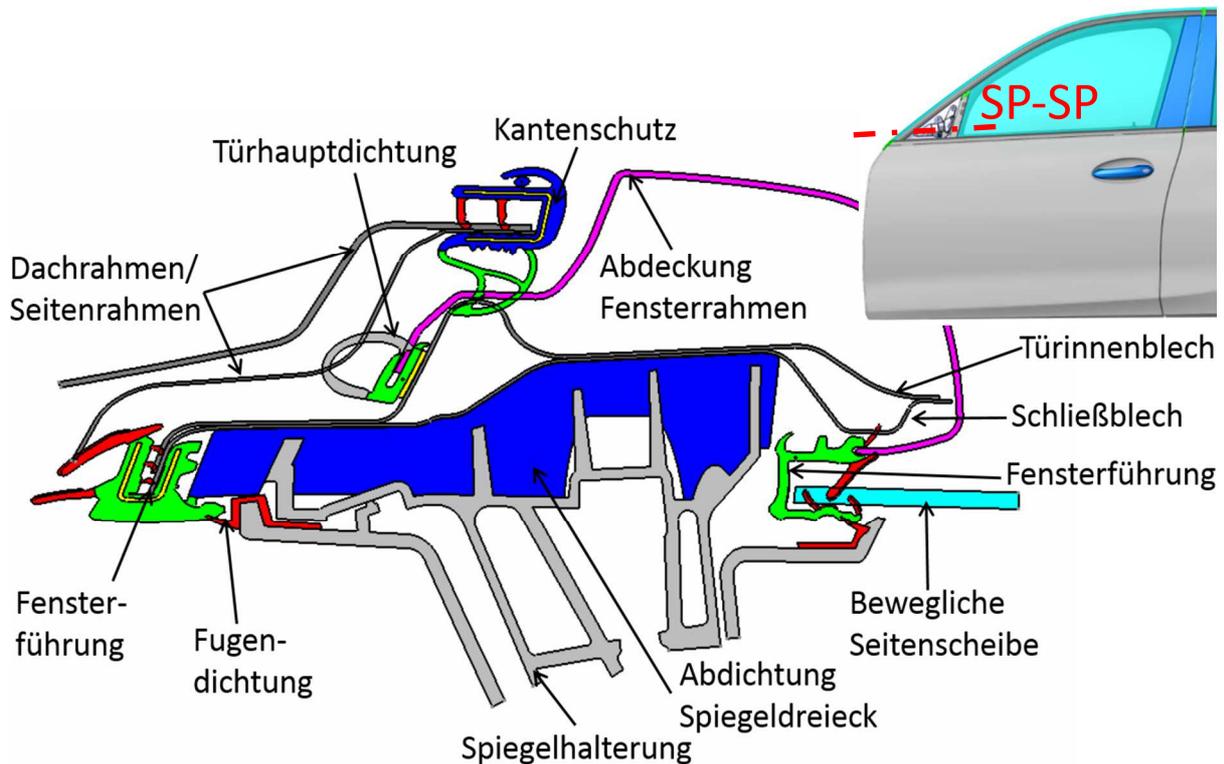


Abbildung 54: Schnitt SP-SP (Ansicht von oben)

Damit sich im Bereich der A-Säule eine komplette ebene Fläche erreichen lässt, sind in diesem Bereich die meisten Änderungen erforderlich.

Wenn der Spiegel weiterhin nicht an der Karosserie befestigt werden soll, muss hier die Blenden- und die Fensterführungsaußenkante auf eine Ebene mit der Außenkante der Seitenscheibe gezogen werden.

6.5 Messung des Versatzes in CAD

In diesem Kapitel wird im CAD der Versatz zwischen zwei Bauteilen (z.B. zwischen Blende und Fensterscheibe) gemessen und in der am Ende dieses Kapitels folgenden Tabelle 3 festgehalten.

A-Säule Fensterführung-Seitenscheibe (B-B)

Mit dem Schnitt B-B an der A-Säule des G20 lässt sich der Versatz in y-Richtung zwischen der beweglichen Frontseitenscheibe und der Fensterführung bzw. Spiegeldreiecksabdeckung erkennen. Der Versatz an dieser Stelle beträgt 11,69 mm und ist damit der größte gemessene Versatz.

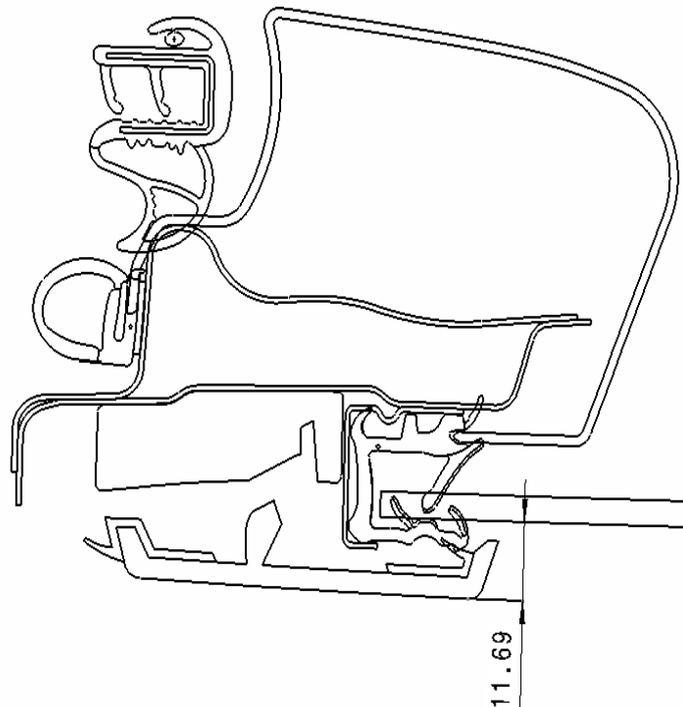


Abbildung 55: Versatz Schnitt B-B

Dies bedeutet, dass an dieser Stelle der meiste konstruktive Aufwand nötig ist, damit die gewünschte Flush-Glass-Optik erreicht werden kann.

B-Säule Blende-Seitenscheibe (E-E und F-F)

Die beiden Schnitte E-E und F-F führen durch die Blenden der B-Säule. Hier erkennt man, dass der Versatz zwischen den Blendenaußenkanten und den Seitenscheibenaußenkanten ungefähr gleich groß ist.

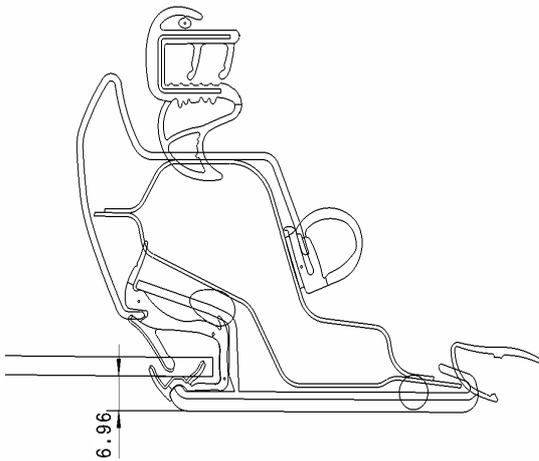


Abbildung 56: Versatz Schnitt E-E

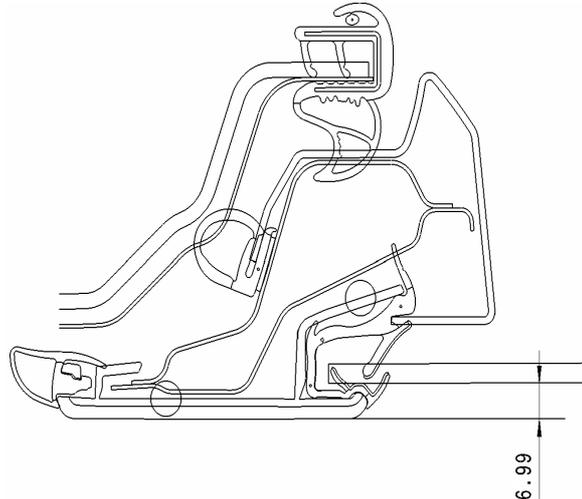


Abbildung 57: Versatz Schnitt F-F

Fensterführung-bewegliche/feststehende Seitenscheibe (I-I)

In den beiden Abbildungen darüber wird deutlich, dass sich der Versatz in der Größenordnung von ca. 7 mm bewegt. Dies ist auch bei Abbildung 58 der Fall. Dieser Wert entspricht ca. dem mittleren Versatz in y-Richtung und kommt vor allem durch die Blende und die Fensterführung an der B-Säule zustande.

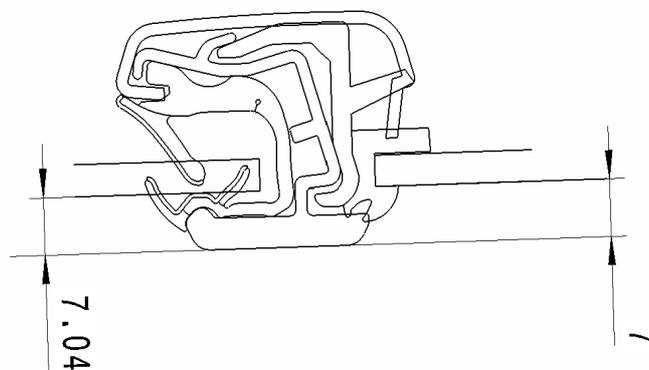
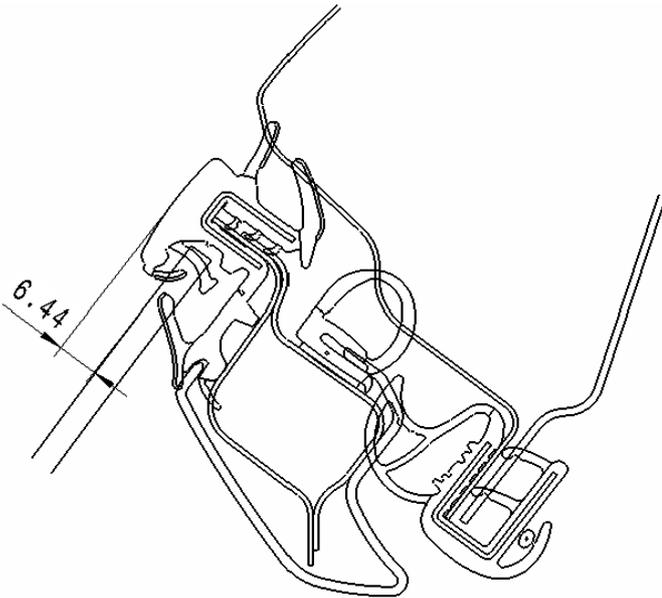


Abbildung 58: Versatz Schnitt I-I

Dachrahmen Schnitte (D-D, H-H und K-K)



In den drei nun folgenden Abbildungen (Abbildung 59, Abbildung 60 und Abbildung 61) geht es um die Schnitte durch den Dachrahmen. Die erste der drei Abbildungen zeigt den Schnitt D-D an der Vordertür des Fahrzeuges. Es ist zu erkennen, dass an dieser Stelle ein maximaler Versatz zwischen Seitenscheibenaußenkante und Fensterführungsaußenkante von 6,44mm ist.

Abbildung 59: Versatz Schnitt D-D

Derselbe Abstand in y-Richtung lässt sich auch an der Hintertür bzw. im Schnitt H-H feststellen. Dies ist gut in Abbildung 60 zu erkennen. Somit ergibt sich an der Vorder- und Hintertür an diesem Derivat kein wesentlicher Unterschied.

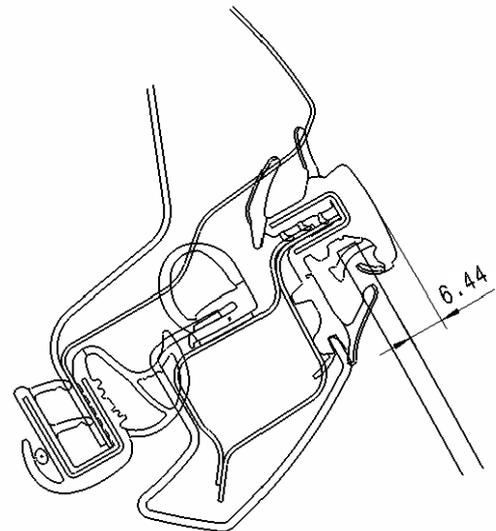


Abbildung 60: Versatz Schnitt H-H

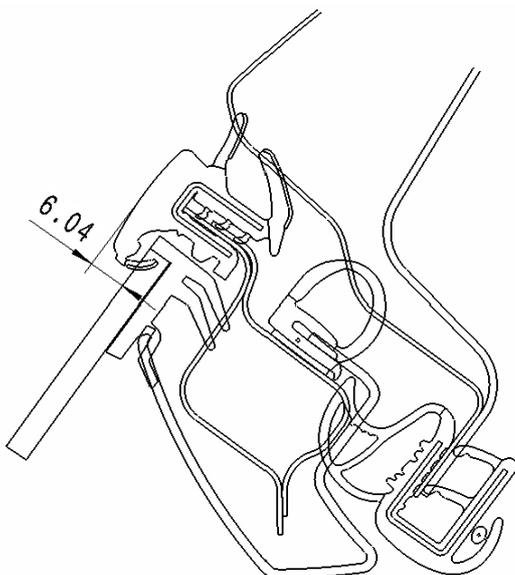


Abbildung 61: Versatz Schnitt K-K

Die letzte der drei Abbildungen bestätigt auch hier die Tendenz, dass im hinteren Bereich des Fahrzeuges der maximale Abstand geringer wird. Er beträgt hier jedoch immer noch 6,04mm.

Tabelle der Messergebnisse

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenfassung über alle gemessenen Positionen und der zugehörigen Messwerte.

Positionierung	Versatz [mm]
A-Säule Fensterführung Seitenscheibe (B-B)	11,69
B-Säule Blende Seitenscheibe (E-E)	6,96
B-Säule Blende Seitenscheibe (F-F)	6,99
Fensterführung bewegliche Seitenscheibe (I-I)	7,04
Fensterführung feststehende Seitenscheibe (I-I)	7,00
Dachrahmen bewegliche Seitenscheibe vorne (D-D)	6,44
Dachrahmen bewegliche Seitenscheibe vorne (H-H)	6,44
Dachrahmen feststehende Seitenscheibe vorne (K-K)	6,04

Tabelle 3: Messung des Versatzes in y-Richtung

Zusammengefasst - lässt sich wie bereits oben erwähnt - erkennen, dass der größte Versatz zwischen Seitenscheibe und einer anderen Komponente an der A-Säule des G20 aufzufinden ist. Hier wird es im konstruktiven Bereich am ehesten zu Problemen in der Umsetzung einer flächenbündigen Verglasung kommen.

Der Versatz an anderen Stellen wurde nicht erfasst, da das für diese Arbeit nicht erforderlich ist. Es soll hier kein System ausgelegt werden, welches Flush zwischen den Seitenscheiben und den Dachrahmen bzw. zwischen den Seitenscheiben und der Brüstung garantiert. In erster Linie soll Flush-Glass nur zwischen den Seitenscheiben, Dichtungen und Blenden erstellt werden.

7 Auslegung und Konzeptionierung der Flush-Glass-Optik

Die Überlegungen der vorigen Kapitel sollen im vorliegenden Abschnitt genutzt werden, um die erforderlichen Änderungen und Maßnahmen zur Umsetzung einer Flush-Glass-Optik abzuleiten. Außerdem soll anhand einer Mustervariante an der B-Säulen Vordertür auch für alle restlichen Bereiche ein Schnitt erstellt werden.

7.1 Anforderungsprofil

Zunächst sollen die gestellten Anforderungen an die Umsetzung einer Flush-Glass-Optik gewichtet werden, um eine systematische Identifikation von zielführenden Lösungsvarianten zu ermöglichen. Die Gewichtung soll hierbei entsprechend eines Schulnotensystems von 1 bis 5 erfolgen.

Anforderungen	Gewichtung				
	1	2	3	4	5
Ansprechende und sportliche Optik	X				
Intaktes Dichtungssystem	X				
Schnelle Umsetzbarkeit			X		
Einhaltung der Fugengröße		X			
Kosten für die Entwicklung		X			
Wirtschaftlichkeit	X				
Fensterführungssystem		X			
Einsatzmöglichkeit bei allen BMW-Derivaten		X			
Berücksichtigung Herstellmöglichkeiten	X				
Berücksichtigung der Toleranzen	X				
Berücksichtigung des Bauraumes		X			

Tabelle 4: Anforderungsliste

Das Bewertungsschema geht von 1 (sehr wichtig), über die Stufe 3 (mittel wichtig) bis hin zu 5 (unwichtig). „Sehr wichtig“ bedeutet im vorliegenden Fall, dass diese Anforderung nach Möglichkeit auf jeden Fall umgesetzt werden soll. „Unwichtig“ bedeutet, dass eine Erfüllung wünschenswert wäre, aber ein entsprechender Aufwand in der Umsetzung nicht in Kauf genommen wird. Auf der nächsten Seite folgt eine kurze Erklärung zu den in der Tabelle 4 angeführten Prämissen.

Ansprechende und sportliche Optik: Aufgrund der stark designfokussierten Marktpositionierung des Industriepartners, kommt den optischen Formgebungsmöglichkeiten mit Flush-Glass-Optik eine hohe Bedeutung zu. Daher soll ein sportliches und für den Kunden ansprechendes Design dargestellt werden.

Intaktes Dichtungssystem: Ein intaktes Dichtungssystem ist Voraussetzung, um das Eindringen von unerwünschten Fluiden und Medien zu verhindern und die Entstehung von Störgeräuschen im Innenraum zu unterbinden.

Schnelle Umsetzbarkeit: Der Änderungsumfang der Konstruktion soll so gering wie möglich gehalten werden, um eine rasche Umsetzung in der nächsten Serie ermöglichen zu können.

Einhaltung der Fugengröße: Die Angegebene Fugengröße von $3,8 \pm 0,8$ mm soll eingehalten werden. In der obigen Tabelle ist das X in der Spalte rot markiert. Dies ist deshalb der Fall, da in dem Kapitel 7.8 eine Änderung der Fugengröße auf 4,5mm vorgeschlagen wird. Die errechneten Toleranzen (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9) ergeben einen Wert von $\pm 1,5$ mm in x-Richtung und +1,5mm in y-Richtung.

Kosten für die Entwicklung: Die Kosten beziehen sich auf die Entwicklung des Systems Flush-Glass-Optik (z.B. Konstruktionskosten...).

Wirtschaftlichkeit: Kosten von Flush gegenüber den aktuell etablierten Systemen in Bezug auf die Montage-, Material- und Herstellkosten.

Einsatzmöglichkeit bei allen BMW-Derivaten: Das entwickelte System soll sich möglichst in allen Modellen mit rahmengeführten Türen integrieren lassen. Daher soll der Änderungsumfang für alle Derivate so gering wie möglich gehalten werden.

Berücksichtigung der Herstellmöglichkeiten bzw. Toleranzen: Die angegebenen Herstellmöglichkeiten und Toleranzen sind zu prüfen und einzuhalten.

Berücksichtigung des Bauraumes: Der aktuelle Bauraumbedarf soll nicht erhöht werden, da dessen geometrische Gestaltung große Auswirkungen auf die herrschenden Sichtverhältnisse (Rundumsicht) im Fahrzeuginnenraum aufweist. Grund dafür sind die Einschränkung des Sichtwinkels und die Verkleinerung des Querschnittes zwischen Türinnenblech und Schließblech

7.2 Lösungsvorschläge

In diesem Kapitel wird erläutert, wieso eine Eingrenzung auf die folgenden Konstruktionsvarianten erfolgt.

Zuerst kann erwähnt werden, dass es mehrere Möglichkeiten gibt, die hier ins Auge gefasst werden. In den meisten Fällen ist eine Fensterführung nötig, jedoch wäre es theoretisch auch ohne Fensterführung möglich. Dies ist z.B. bei Cabrios der Fall, bei denen die Führung der Seitenscheibe über die Fensterheber geschieht.

Im Allgemeinen wird eine Seitenscheibe eines Fahrzeuges durch die Sogkräfte bei hohen Geschwindigkeiten und durch die Dichtlippen die auf die Scheibe pressen belastet. Dieses Dichtsystem ist auch zum Großteil an der Führung der Seitenscheiben beteiligt. Das Fensterhebersystem kann nur eine geringe bis keine Führungsaufgaben übernehmen.

Die erste Möglichkeit, die Aufgabenstellung zu lösen, ist eine Variante wie sie bei Cabrios und vielen Coupés (keine zusätzlichen Führungselemente nötig) verwendet wird. Die Führung der Scheibe erfolgt mittels Vorspannung, das Dichtungssystem müsste sehr viel weicher ausgeführt werden (höhere Toleranzgenauigkeit nötig) und auch der Dachrahmen bzw. die Türe müsste adoptiert werden. Diese Möglichkeit wird aufgrund der hohen Toleranzgenauigkeit, des hohen konstruktiven Aufwands und der „unnötigen“ Vorspannung nicht weiter betrachtet. Außerdem würde sich hier kein wirtschaftlicher Vorteil ergeben, da die Kosten dann ähnlich hoch wären, wie bei den rahmenlosen Türen.

Eine andere Option wäre es die Scheibe zu versteifen und ebenfalls ohne Führungssystem auszukommen. Jedoch ist auch dieser Lösungsansatz sehr problematisch, da auf die Scheibe, beim Hoch- und Runterfahren kurz vor Einfahrt bzw. kurz nach Ausfahrt aus dem Führungssystem des Dachrahmens, ein hohes Moment auf der Scheibenoberkante wirkt und dieses nur mittels des Fensterhebersystems an der Scheibenunterkante aufgenommen werden kann. Aufgrund des hohen einwirkenden Momentes an der Scheibenoberkante, wird es auch hier fast unmöglich die Scheibe ohne Führung in Position zu halten.

Somit kann an dieser Stelle erwähnt werden, dass für alle folgenden Konstruktionsvarianten ein Führungssystem konstruiert werden sollte.

Des Weiteren ist zu beachten, dass der Querschnitt, der sich zwischen Türinnenblech und Schließblech aufspannt, nicht wesentlich verringert wird, da dies zu einem Steifigkeitsverlust des Rahmens führen würde. Dies ist unerwünscht, vor allem in Bezug auf Crash-Tests.

Da bis zu diesem Punkt bereits viele Varianten ausgeschlossen werden können, werden in den folgenden beiden Abbildungen Varianten mit Fensterführung vorgestellt. Um Flush zu erreichen gibt es die Möglichkeit die Blende nach innen zu versetzen bzw. die Seitenscheibe nach außen.

Flush-Variante: Seitenscheibe nach außen versetzt:

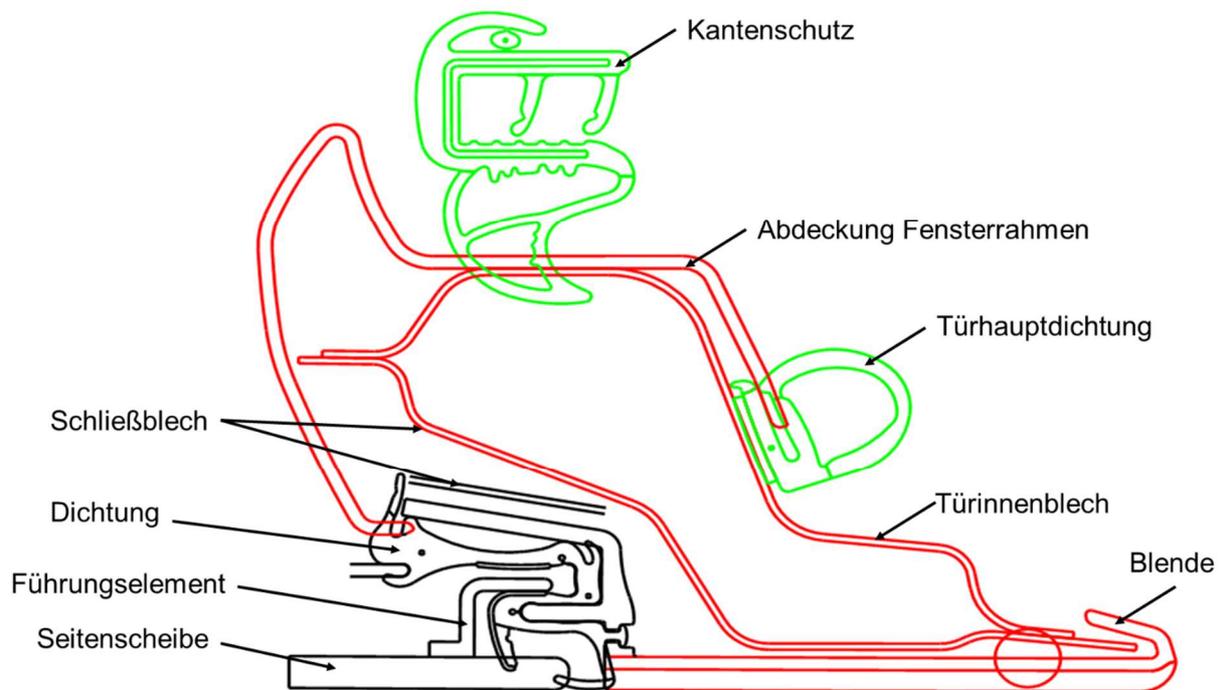


Abbildung 62: Flush-Variante: Seitenscheibe nach außen versetzt

In der Abbildung 62 sind in rot und grün die Komponenten des G20 dargestellt. Sie befinden sich an der Position, die sie auch derzeit einnehmen. Mit schwarzen Strichen wird das System eines Flush-Glass-Entwurfes dargestellt. Hiermit soll aufgezeigt werden, dass ein größerer Bauraum zur Verfügung steht, als bei der Varianten: „Blende nach innen versetzt“.

Dieser kann vor allem dafür genutzt werden, dass der Querschnitt zwischen Schließ- und Türinnenblech vergrößert wird. Die Nachteile dieser Variante werden in der Zusammenfassung dieses Kapitels erwähnt.

Flush-Variante: Blende nach innen versetzt:

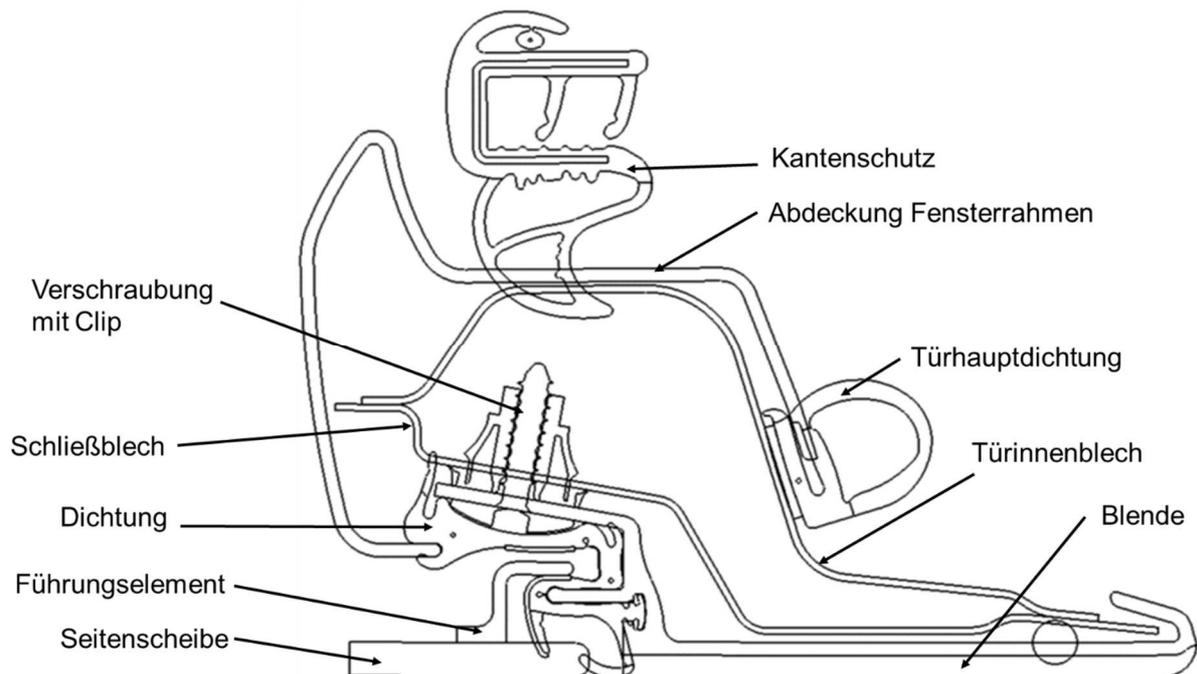


Abbildung 63: Flush-Variante: Blende nach innen versetzt

In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass aufgrund der nach innenversetzten Blende der verfügbare Bauraum geringer ist als in der Version: „Seitenscheibe nach außen versetzt“. Aufgrund der geringeren Änderungsmaßnahmen im Bereich des Dachrahmens und im Bereich unterhalb der Brüstung wird diese Variante bevorzugt.

Zusammenfassung:

Ausgehend von der Variante „Seitenscheibe nach außen gesetzt“ ist der konstruktive Aufwand im Bereich unterhalb der Brüstung und im Bereich des Dachrahmens zu hoch.

Es ist sinnvoller die Blenden nach innen zu setzen, da bei dieser Variante weniger Bereiche angepasst werden müssten. Dies nimmt weniger Zeit in Anspruch und führt zu geringeren Kosten. Aus diesen Gründen erfolgten alle weiteren Konstruktionen auf Basis der Flush-Variante: „Blende nach innen versetzt“.

Die Führung der Seitenscheibe erfolgt bei dieser Variante mit partiell an den Kanten der Seitenscheibe angeklebten Führungselementen. Diese werden in einem U-Kanals geführt und verhindert somit das Herausspringen der Scheibe. Dieses System der Führung wird bei allen folgenden Flush-Varianten weiterverfolgt.

7.3 Konstruktionsvarianten

In den folgenden Kapiteln ist eine Übersicht gegeben, wie mögliche Konstruktionen aussehen könnten. Da es bereits Lösungsvorschläge für den Bereich um die C-Säule (Schnitt J-J in Abbildung 41) gibt, soll hier der Bereich um die B-Säule, um das Spiegeldreieck bzw. um die Fensterführung betrachtet werden.

Dabei ist es wichtig, sich an den Schnitten B-B, E-E, F-F und I-I (Abbildung 41) zu orientieren. Ein Versatz in y-Richtung wird weiterhin zwischen Türaußenhaut (Schnitt C-C und G-G) und Seitenscheibe bzw. zwischen Seitenscheibe und Dachrahmen (Schnitt A-A, D-D und H-H) bestehen.

In den folgenden Unterkapiteln (Kap. 7.4 - 7.8) werden eine oder mehrere mögliche Varianten zur Lösungsfindung definiert und konstruiert.

Zur besseren Übersicht werden hier noch einmal die beiden Abbildungen (Abbildung 41 und Abbildung 42) dargestellt.

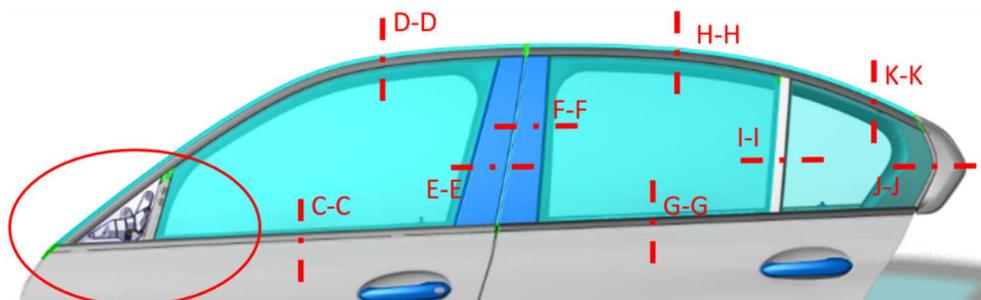


Abbildung 41: Positionierung und Anzahl der Schnitte

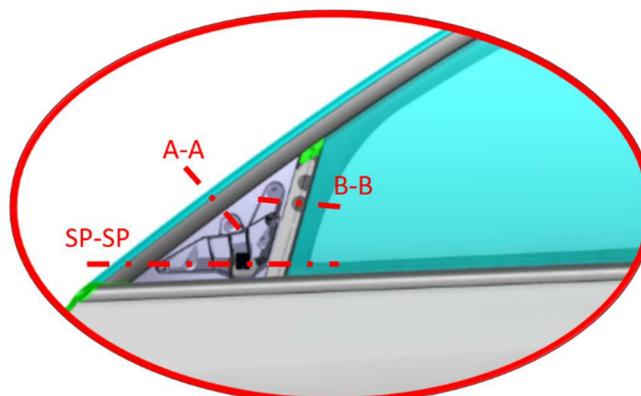


Abbildung 42: Schnitte im Bereich des Spiegeldreiecks

Damit die Flush-Glass-Optik für bewegliche Seitenscheiben umgesetzt werden kann, werden zuerst verschiedene Varianten in einem 2D-Modell erstellt und selektiert. Die vom Industriepartner gestellte Anforderungsliste soll dabei eingehalten werden.

Danach folgt eine 2D-Detailkonstruktion an der B-Säule Vordertür, welche als Musterschnitt für eine später folgende 3D-Konstruktion fungieren soll. Dieser 2D-Musterschnitt soll mittels der Ergebnisse aus einer durchgeführten FEM-Analyse sukzessive verfeinert und optimiert werden.

Mittels der Funktion „*Sketch*“ werden in CATIA die verschiedenen Skizzen erzeugt. Ausgangspunkt ist dabei der B-Säulen Schnitt an der Vordertür des BMW Derivates G20 (siehe Abbildung 64).

Für die folgenden Bereiche werden Entwürfe angefertigt:

- B-Säule Vordertür (Musterschnitt)
- B-Säule Hintertür
- A-Säule Spiegeldreieck
- Fensterführungssteg Hintertür

7.4 2D-Konstruktion des Bereiches B-Säule Vordertür

In diesem Unterkapitel folgen mehrere mögliche Varianten, wie der Bereich um die B-Säule an der Vordertür konstruiert werden könnte. Nach Auswahl einer Variante, erfolgt eine FEM-Analyse, um die Kräfte, die auf die Dichtung wirken und den sich daraus resultierenden Verformungszustand zu veranschaulichen. Dies wird solange iteriert und verbessert bis sich die Kräfte im zulässigen Toleranzbereich befinden. Die anderen Bereiche FFST, AS, und BSTH werden ebenfalls mittels des ausgewählten Schnittes wiedergegeben.

Ausgangssituation:

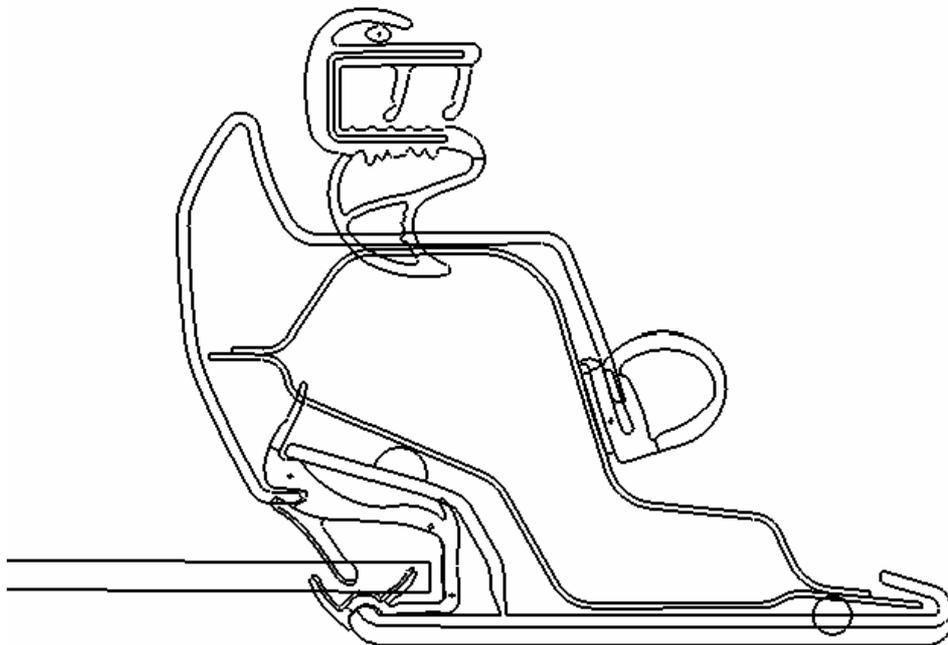


Abbildung 64: Ausgangssituation B-Säule Tür vorne

Um das Ziel der Flush-Optik zu erreichen ist in der obigen Abbildung zu sehen, dass die Blende nach innen verschoben werden muss, Änderungen an Schließ- und Türinnenblech vorzunehmen sind und das Dichtungssystem, an der Seitenscheibe neugestaltet werden muss.

Als Anhaltspunkte sollten der Kantenschutz und die Türhauptdichtung auf ihren derzeitigen Positionen bleiben.

Entwurf 1:

In der Abbildung 65 ist der erste Grobentwurf dargestellt, wie der B-Säulen Bereich konstruiert werden könnte.

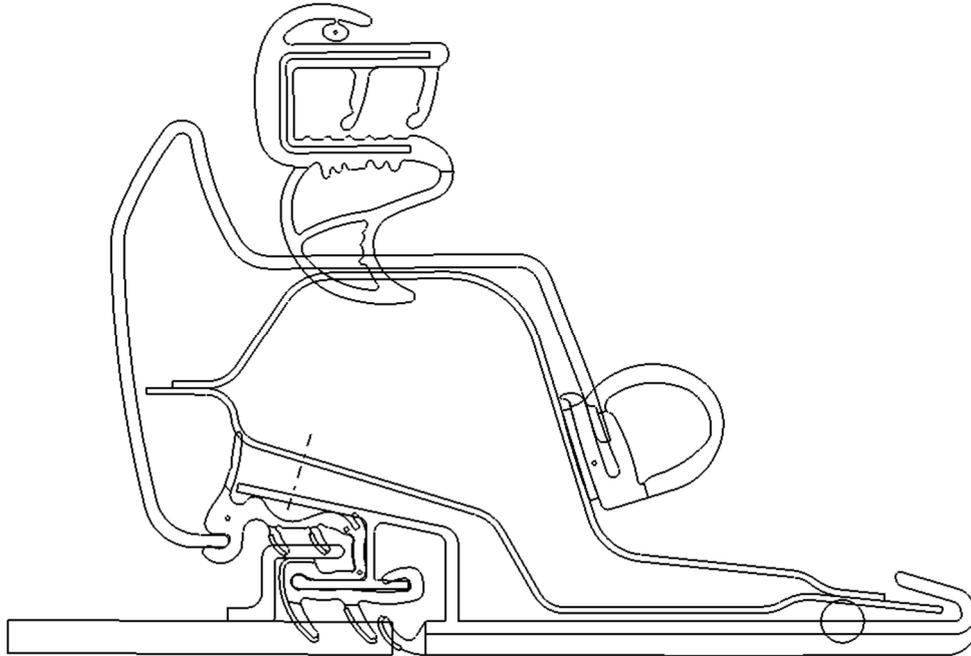


Abbildung 65: Entwurf 1 B-Säule Tür vorne

Vorteile	Nachteile
Kompakter Bauraum in y-Richtung	Mehr Bauraum in x-Richtung nötig
Konstante Dicke der Kunststoffblende	Aufwendige Befestigungsmaßnahme
2 Dichtlippen an der Seitenscheibe (Akustikvorteile)	Eventuelle Ausgleichsprobleme in x-Richtung der Fugendichtung (Toleranzen)
Gleiche Montagereihenfolge wie beim IST-Stand (gleicher Montageaufwand)	Querschnittsflächen zwischen den Blechen geringer als bei der Ausgangsvariante
Fugenbreite 3,8mm	Neugestaltung des Schließbleches nötig
	Extrusion der Dichtung aufwendig
	Winkeldifferenz zwischen Blende und Schließblech unerwünscht
	Überführung der Fugendichtung in den Dachrahmen nicht möglich
	Material der Fugendichtung ist PE, dies verursacht knatschen

Tabelle 5: Vor- und Nachteile Entwurf 1

Entwurf 2:

Abbildung 66 zeigt eine andere Variante desselben Bereichs.

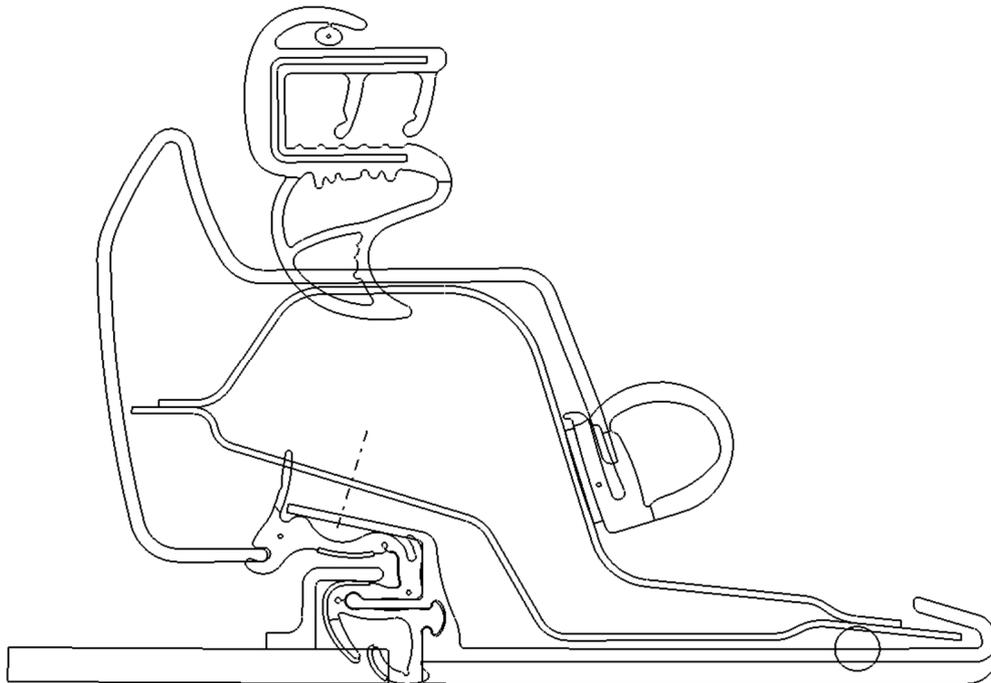


Abbildung 66: Entwurf 2 B-Säule Tür vorne

Vorteile	Nachteile
Kompakter Bauraum in x-Richtung	Mehr Bauraum in y-Richtung nötig
Einknöpfen der Dichtung möglich (leichte Montage und Demontage)	Querschnittsflächen zwischen den Blechen geringer als bei der Ausgangssituation
Toleranzausgleich einfach möglich	Winkeldifferenz zwischen Blende und Schließblech
Beibehaltung der Montagereihenfolge	Nur 1 Dichtlippe an der Seitenscheibe
Fugenbreite 3,8mm	Neugestaltung des Schließblechs nötig
Entfall der zwei Führungsdichtlippen, dadurch ergibt sich eine leichtere Herstellbarkeit des Profils	Winkeldifferenz zwischen Blende und Schließblech unerwünscht
Dichtung ist ohne Probleme einstellbar	
Überführung der Fugendichtung in den Dachrahmen möglich	

Tabelle 6: Vor- und Nachteile Entwurf 2

7.5 Bewertung und Auswahl der Vorschläge an der B-Säule Vordertür

In diesem Kapitel folgt die endgültige Auswahl des 2D-Schnittes des entsprechenden Bereichs. Die Abbildung 67 spiegelt nochmals die beiden Varianten der Konstruktion an der B-Säule (aus dem Kapitel 7.4) wider.

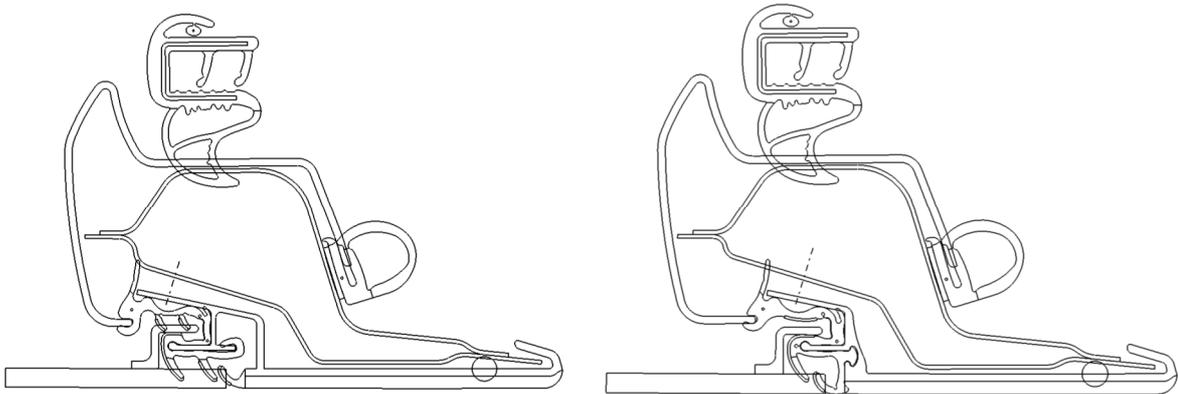


Abbildung 67: Gegenüberstellung beider Entwürfe an der B-Säule Tür vorne

In der folgenden Tabelle werden die Vor- und Nachteile dieses Entwurfs anhand des Anforderungsprofils (siehe 7.1) bewertet.

Anforderungsprofil	Entwurf 1	Entwurf 2
Ansprechende Optik	Bewertungsbasis	Ähnlich
Kein Versatz in y-Richtung	Bewertungsbasis	Gleich
Intaktes Dichtungssystem	Bewertungsbasis	Gleich
Schnelle Umsetzbarkeit	Bewertungsbasis	Gleich
Einhaltung der Fugengröße	Bewertungsbasis	Gleich
Kosten für die Umsetzbarkeit	Bewertungsbasis	Niedriger
Wirtschaftlichkeit des Systems	Bewertungsbasis	Günstiger
Änderung des IST-Standes	Bewertungsbasis	Geringer
Einsatzmöglichkeiten bei allen Derivaten	Bewertungsbasis	Eher möglich
Berücksichtigung der Herstellmöglichkeit und Toleranzen	Bewertungsbasis	Eher möglich
Berücksichtigung des Bauraumes	Bewertungsbasis	Geringer Bauraum

Tabelle 7: Bewertung der Entwürfe nach Anforderungsprofil

Aufgrund der obigen Tabelle (Anforderungsprofil) und den noch folgenden Punkten wird das Konzept des rechten Schnittes (Entwurf 2) weiterverfolgt:

- Leichtere Montage und Demontage des Dichtsystems
- Überführung der Fugendichtung in den Dachrahmen möglich
- Kompakteres Design (geringerer Bauraum)
- Dichtungsprofil lässt sich einfacher extrudieren
- Ausgleich in alle Richtungen möglich
- Fugenbreite von 3,8mm eingehalten

In den folgenden Kapiteln wird die FEM-Berechnung des ausgewählten Schnittes und eine Iterationsphase des Schnittes an der B-Säule Tür vorne dargestellt. Die Iterationsphase wird mittels der gewonnenen Daten aus den FEM-Berechnungen unterstützt. Bevor jedoch die erste FEM-Berechnung stattfindet, wird vor allem auf die Schwachpunkte/Nachteile aus Kapitel 7.4 eingegangen.

Die folgenden Änderungen fanden vor der FEM-Berechnung statt (siehe Abbildung 74):

- Größerer Bauraum für den Schraubenkopf
- Keine Winkeldifferenz zwischen Blende und Schließblech mehr
- Mehr Querschnittsfläche zwischen Schließ- und Türinnenblech geschaffen
- Minimierung des Bauraumes in y-Richtung
- Änderung des Einknöpfsystems

7.6 Konstruktionsablauf und FEM-Analyse

In diesem Abschnitt soll die ausgewählte Variante der Konstruktion aus den letzten Kapiteln mittels FEM-Methoden analysiert und entsprechend optimiert werden. Die FEM-Analyse findet im Bereich der B-Säule Vordertür statt.

Zuerst erfolgt ein grober Überblick wie der simulierte Einbau bei der FEM-Berechnung funktioniert. Sobald die Konstruktion in CATIA fertig gestellt wurde, erfolgt in CATIA noch die Vernetzung des Dichtungsprofils (siehe Abbildung 69). Hierbei wird nach festgelegten Parametern (vom Industriepartner Magna vorgegeben) das Dichtungsprofil in mehrere Bereiche eingeteilt. Die Einteilung in unterschiedliche Bereiche ist nötig, da für jeden Bereich unterschiedliche Härtegrade verwendet werden.

Das Dichtungsprofil, gesehen als ein Körper, wird in viele Teilkörper (Finite Elemente genannt) zerteilt. Im Allgemeinen werden zweidimensionale Gebiete in Dreiecke und Rechtecke bzw. Vierecke unterteilt. Bei einer dreidimensionalen Berechnung werden hauptsächlich Tetraeder- und Hexaederelemente oder auch krummflächig begrenzte Elemente verwendet. [28]

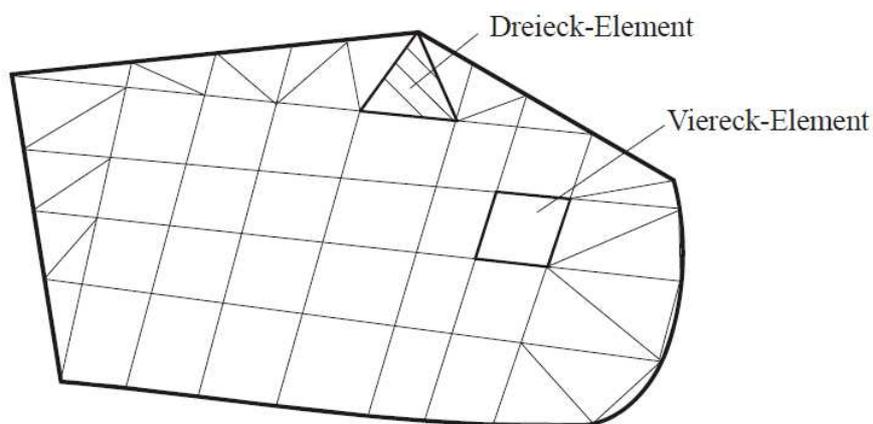


Abbildung 68: Beispiel einer Vernetzung mit Dreiecks- und Viereckselementen [28]

Da die Vernetzung wie in Abbildung 68 gezeigt meistens sehr willkürlich erfolgt, kann das Netz auch aus einer Kombination von Dreiecks- und Viereckselementen bestehen. Dies bietet den Vorteil, dass sich krummlinige Gebiete besser vernetzen lassen, als mit Viereckselementen alleine. Rechtecke werden vor allem bei Balkenelementen verwendet. [28]

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass Dreieckselemente ein steiferes Verhalten aufweisen als Viereckselemente. Dies resultiert an den Form- und Ansatzfunktionen (mathematischen

Formulierung) der Elemente. Aus diesem Grund ist es erstrebenswert die Anzahl der vorhandenen Dreiecke zu minimieren.

Der zweite wichtige Aspekt ist, dass die Elemente bei der Vernetzung keine Fehler aufweisen. Fehlerfreie Elemente werden grün (siehe Abbildung 69) und fehlerhafte Elemente rot dargestellt.

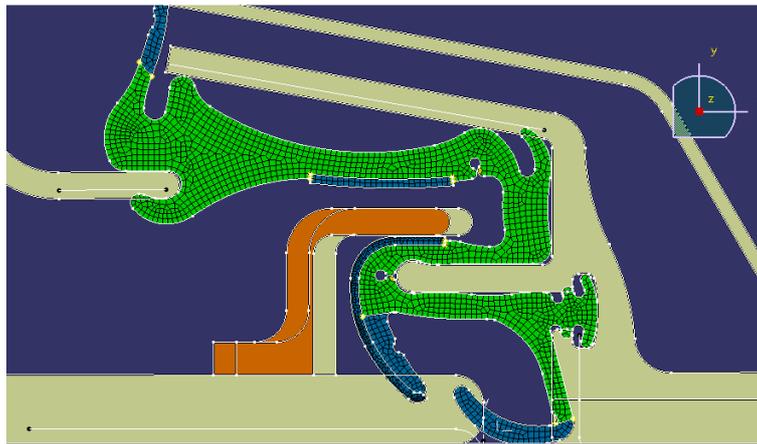


Abbildung 69: Vernetzung des Dichtungsprofils in CATIA V5

Der Status der Teilkörper wird erst angezeigt, sobald man auf das zuständige Element klickt. Ist dieses Element nicht angeklickt, werden die Teilkörper blau gekennzeichnet. Für die bessere Verständlichkeit vgl. dazu die Abbildung 69. Die Fugendichtlippe, Akustiklippe, Scheibenanlagenlippe und die Flocks sind mit blauen Teilkörpern dargestellt. Der Hauptkörper ist durch grüne Teilkörper gekennzeichnet. Flock ist ein Aufdruck von Material mit einer Dicke von mindestens 0,5mm, damit der Reibkoeffizient zwischen Kunststoff und Scheibe bzw. Führungselement verringert wird.

In der Abbildung 69 lässt sich gut erkennen, dass alle Elemente des Hauptkörpers grün markiert wurden und somit in weiterer Folge die FEM-Berechnung ohne Probleme durchgeführt werden kann. Die vorhandene Netzgröße wird vom Industriepartner vorgegeben und lässt sich falls nötig ändern. Die Netzgröße bzw. die Qualität der Vernetzung kann grundsätzlich beliebig angenommen werden. Jedoch ist zu beachten, dass der Rechenaufwand überproportional steigt, je feiner vernetzt wird. [28]

In den folgenden beiden Bildern wird gezeigt wie die Materialauswahl und Einzelkörper definiert sind. Die unterschiedlichen Farben im Dichtungsprofil stellen die verschiedenen Materialien dar. Die Flocks (hier gelb markiert) sollen als shore 20, der Grundkörper (Magenta) soll als shore 80 und die Dichtlippen (hier rot markiert) als shore 60 gefertigt werden.



Abbildung 70: Materialauswahl

Die unterschiedlichen Härtegrade werden auch in der Simulation berücksichtigt und können mittels zuvor eingestellter Werte wiedergegeben werden.

In Abbildung 71 sind die verschiedenen Körper zusehen. Auf der linken Seite ist die Legende mit den Körpern Grundkörper, Führungselement, Seitenscheibe, Abdeckung, Blende innen, Blende außen und alle anderen nicht beweglichen (für den Einbau nicht notwendig, dass sich diese Komponenten bewegen) Teile zu sehen.

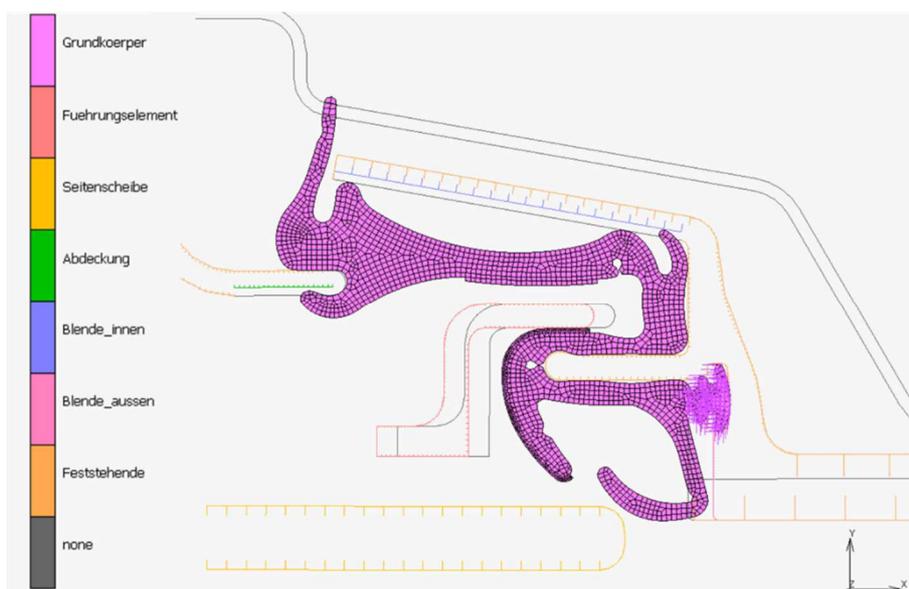


Abbildung 71: Definition der einzelnen Komponenten

Der Grundkörper (Dichtprofil) wird als verformbares und unbewegliches Teil definiert. Das bedeutet, dass es (siehe nächsten Abbildung, roter Kreis) aufgrund der Einspannstelle in der derzeitigen Position gehalten wird und sich durch die einwirkenden Parametern verformen kann. Alle feststehenden Bauteile sind in der Abbildung 71 orange markiert und sind als starre Bauteile angenommen. Auch diese bleiben auf ihrer Position und spielen für den Verschiebungsvorgang beim Einbau keine Rolle. Die Materialeigenschaften sind vom Industriepartner Magna vorgegeben (EPDM - Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk 20/60/80 shore).

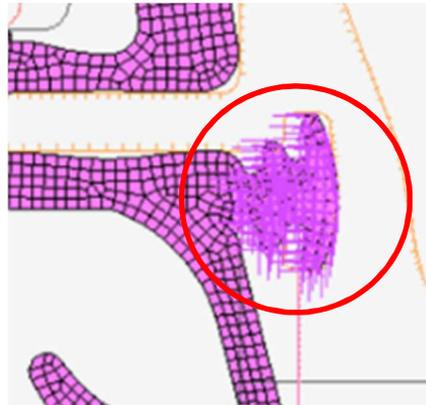


Abbildung 72: Einspannstelle für die FEM-Berechnung

Die verschiedenen Komponenten sind für den Einbauvorgang nötig, bei dem sich nach und nach die einzelnen Körper in ihren Endzustand bewegen. Der Endzustand ist jener Zustand in dem sich alle Körper an jener Position befinden, die sie auch in der Realität (nach den Einbau) einnehmen.

In der nächsten Abbildung ist der Einbauweg der Blende innen dargestellt. Dieses Bauteil ist das erste Bauteil, das sich in seinen Endzustand bewegt. Der Verfahrensweg lässt sich auf der horizontalen Achse ablesen.

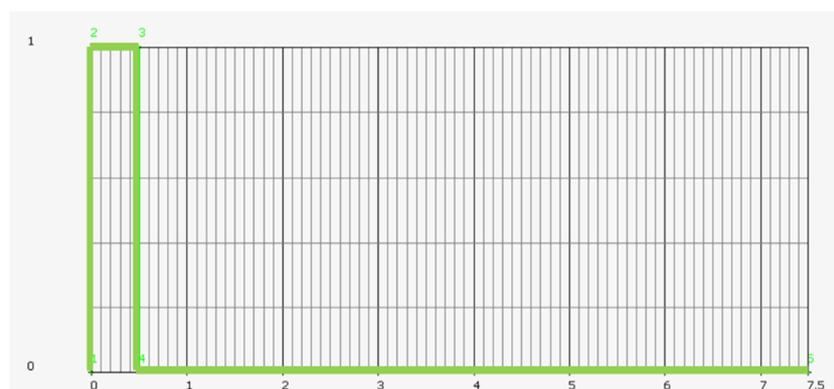


Abbildung 73: Einbau-Timetable Blende innen

Dieser beträgt bei der Blende innen 0,5mm. Immer wenn der Wert auf der Vertikalen Achse 0 ist, steht das Bauteil still und wenn der Wert 1 ist, bewegt sich das Bauteil in eine zuvor definierte Richtung.

Eine weitere wichtige Einstellung bei FEM-Simulationen im Bereich von Dichtungssystemen ist, dass der Reibbeiwert zwischen sich zwei berührenden Körpern miteinbezogen wird. Die verschiedenen Reibbeiwerte wurden - nach vorgegebenen Werten von Magna - in den folgenden Simulationen ebenfalls berücksichtigt.

Toleranzberechnung:

Bei jedem Fertigungsprozess von Komponenten treten Fertigungstoleranzen auf. Dies ist auch hier der Fall und die folgenden beiden Berechnungen ermitteln diese Toleranzen, damit diese in der Konstruktion berücksichtigt werden können und nicht zu unerwünschten Problemen in der Zukunft führen. Die Toleranzen können ebenfalls beim Einbau oder bei von außen einwirkenden Kräften (z.B. Zuschlagen der Türe) auftreten.

In der folgenden Tabelle werden zunächst alle Toleranzen in y-Richtung erfasst und arithmetisch und statistisch ausgewertet. Der arithmetische Wert ergibt sich aus der Summation aller einzelnen Toleranzen. Die statistische Abweichung, welche auch für die Berechnung der Fehlerfahrzeuge hergenommen wird, ergibt sich aus der Gauß'schen Glockenkurve. Dabei wird eine festgelegte Ausfallsquote von BMW herangezogen und mittels Normalverteilung der Grenzwert ermittelt. Weitere Einflussfaktoren für die Berechnung der Fehlerfahrzeuge sind die Fahrzeugstückzahl (2.000.000) und die Toleranzvorgabe (2,5mm).

Seitenscheibe zu Dichtung B-Säule in y-Richtung				
Fahrzeugstückzahl über Laufzeit	2000000	Toleranzvorgabe	2,50	± [mm]
Einflüsse	von	bis	Toleranz	
BT-Tol Seitenscheibe			0,15	± [mm]
BT- Toleranz Blende B-Säule			0,50	± [mm]
Montagetoleranz Bblende			0,50	± [mm]
BT-Tol Führungselement			0,50	± [mm]
ET- Dichtung			0,50	± [mm]
Montagetoleranz Dichtung			0,40	± [mm]
Randlaufwelligkeit Seitenscheibe			1,00	± [mm]
Berechnung arithmetisch (worst case):			3,55	± [mm]
Berechnung statistisch:			1,50	± [mm]
Stellgröße:				± [mm]
Erwartetes Ergebnis Optik:				± [mm]
Anzahl Fehlerfahrzeuge:			0,00	Stk.

Tabelle 8: Toleranzauslegung Seitenscheibe zu Dichtung in y-Richtung

Damit ein zufriedenstellendes Ergebnis aus den folgenden Berechnungen ausgewiesen wird, darf bei beiden Berechnungen (Toleranzberechnung in x-Richtung und Toleranzberechnung in y-Richtung) kein einziges Fehlerfahrzeug ausgegeben werden.

In der Tabelle 8 ergibt sich eine statische Toleranz von 1,5mm. Das ergibt bei einem vorhandenen Bauraum von 2,5mm und bei 2.000.000 erzeugten Fahrzeugen exakt 0 Fehlerfahrzeuge. Damit ist garantiert, dass die Konstruktion im Toleranzbereich liegt.

Außerdem kann in y-Richtung angenommen werden, dass es nur eine Toleranz von 1,5mm in die positive y-Richtung gibt, da die Position der Scheibe, aufgrund des Zusammenspiels des Führungselementes und der Blende fix definiert ist.

Die Tabelle 9 beschreibt die Toleranzberechnung in x-Richtung. Die verschiedenen Einzel-Toleranzen sind wiederaufgeführt und es wird wiederum ein statistischer Mittelwert errechnet. Dieser Wert ist erneut 1,5mm und ergibt wieder 0 Fehlerfahrzeuge bei einem vorhandenen Bauraum von 2,5mm und 2.000.000 gebauten Fahrzeugen.

Blende zu Blende in x-Richtung				
Fahrzeugstückzahl über Laufzeit	2000000	Toleranzvorgabe	2,50	± [mm]
Einflüsse	von	bis	Toleranz	
ET Seitenscheibe			0,70	± [mm]
Beschnitt SS B-Säule zu Aufnahme Loch SS B-Säule			0,30	± [mm]
Montage Mitnehmer an Scheibe			0,15	± [mm]
Mitnehmer FH B-Säule zu Ausrichtung FH			0,30	± [mm]
Anschraubpunkt FH oben an Aufnahme Loch TIB			1,00	± [mm]
Montage FH an TIB			0,25	± [mm]
Fügetoleranz TIB zu Schließblech			0,50	± [mm]
Ausrichtung SB zu Aufnahme Blende B-Säule			0,30	± [mm]
ET Blende B-Säule			0,30	± [mm]
ET Fensterführung Profil B-Säule			0,30	± [mm]
Berechnung arithmetisch (worst case):			4,10	± [mm]
Berechnung statistisch:			1,50	± [mm]
Stellgröße:				± [mm]
Erwartetes Ergebnis Optik:				± [mm]
Anzahl Fehlerfahrzeuge:			0,00	Stk.

Tabelle 9: Toleranzauslegung Blende zu Blende in x-Richtung

Mit diesen beiden Berechnungen ist somit sichergestellt, dass die Konstruktion im Toleranzbereich liegt und somit sollte es nur eine geringe Anzahl (bis keine) von auftretenden Fehlern geben.

Schnitt vor der 1. FEM:

Für die 1. FEM-Berechnung wurde der Schnitt abgeändert, wobei die aus den Tabellen (Tabelle 8 und Tabelle 9) gewonnenen Toleranzangaben bereits berücksichtigt sind. Um diese Änderungen (Berücksichtigung der Toleranzlagen) zu verdeutlichen erfolgt dazu ein Beispiel: Die Toleranzlage - Verschiebung um 1,5mm in positiver y-Richtung - wurde so berücksichtigt, dass es bei einer Verschiebung von 1,5mm in positiver y-Richtung zu keiner Blockbildung zwischen Dichtprofil und Scheibenanlagenlippe kommt. Blockbildung bedeutet in diesem Fall, dass ein Zusammenquetschen des Kunststoffes stattfindet.

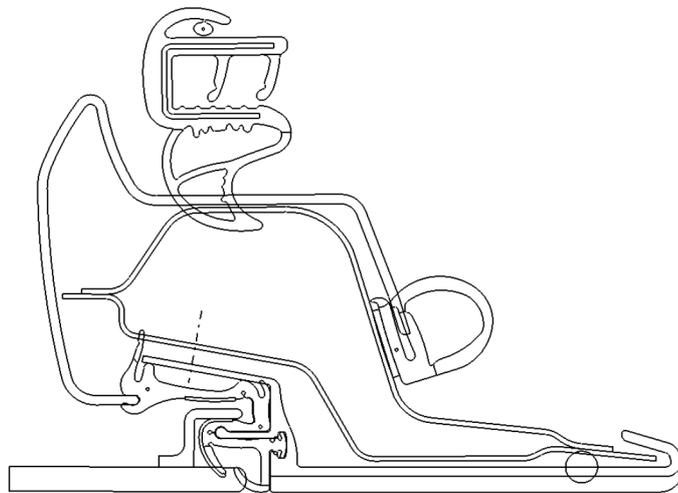


Abbildung 74: B-Säulen Schnitt für die 1. FEM-Analyse

Nach der Abklärung des Toleranzbereiches in x- und y-Richtung erfolgt nun mittels des oben dargestellten Schnittes die erste FEM-Analyse. Dazu wird der in der Abbildung 74 vorgestellte Schnitt verwendet. Die folgende Abbildung zeigt zur besseren Übersicht eine vergrößerte Darstellung des Dichtungssystems.

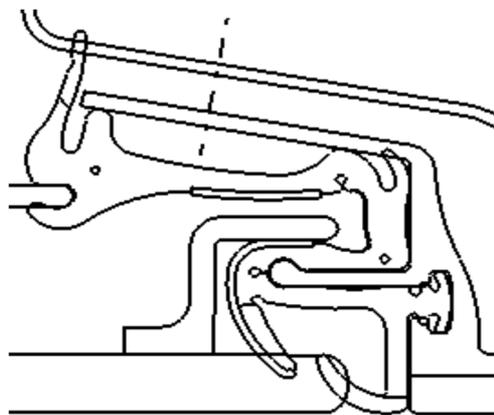


Abbildung 75: B-Säulen Schnitt für die 1. FEM-Analyse (größere Darstellung)

FEM-Analyse 1:

Ausgehend von dem in der Abbildung 74 gezeigten Schnitt wird nun eine FEM-Analyse erstellt.

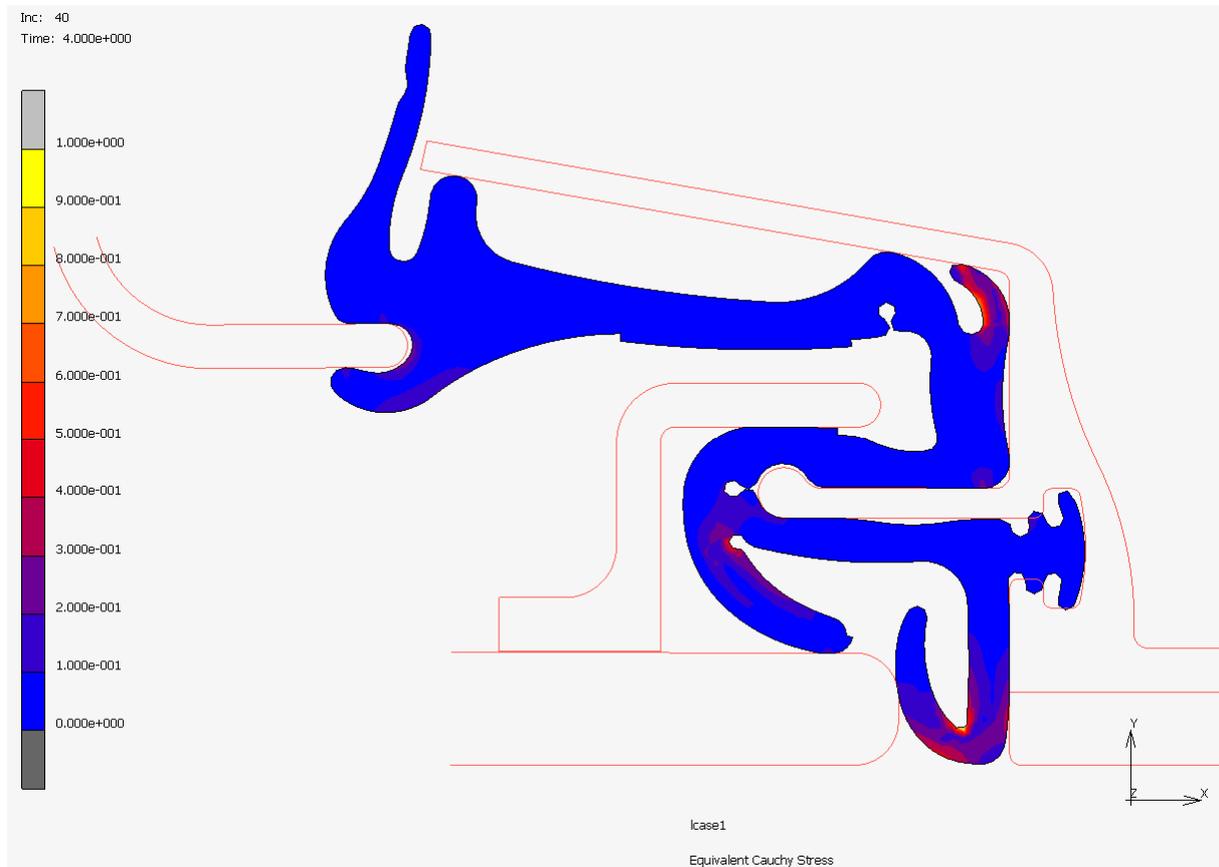


Abbildung 76: FEM-Analyse 1 KO-Lage

In der Abbildung 76 ist der Einbauzustand nach der 1. FEM-Berechnung zusehen. Allgemein lässt sich erwähnen, dass mit dem Equivalent Cauchy Stress Verfahren simuliert wird. Das Dichtprofil weist dabei nach dem Einbauvorgang verschiedene Farben auf. Diese Farben stellen einen Vergleich der Spannungen dar. Dabei weichen die blauen Bereiche nicht bis wenig, die roten Bereiche mittelstark und die gelben Bereich stark vom Ausgangszustand ab. Die Einheit für den Balken auf der linken Seite der Abbildung beträgt N/mm^2 und ist für alle weiteren FE-Analysen identisch.

Mittels den Erkenntnisse aus den FEM-Berechnungen lässt sich sagen welche Änderungen vorgenommen werden müssen.

- (1) Es lässt sich sehr gut erkennen, dass die Fugendichtlippe zu lange ist und die Scheibenanlagenlippe in einem nur sehr geringen Bereich an der Scheibe anliegt. Als

Abhilfe muss die Sollknickstelle an der Scheibendichtlippe weiter in Richtung der Seitenscheibe geschoben werden, damit die Dichtlippe mit einer größeren Fläche an der Seitenscheibe anliegen kann. Dadurch sollte auch die resultierende Kraft, die auf die Scheibe wirkt verringert werden.

- (2) Außerdem kann die Länge der Fugendichtlippe gekürzt werden und auch bei dieser sollte eine Sollknickstelle eingebracht werden. Diese Modifikationen sind in der Abbildung 77 wiedergegeben.

Die KO-Lage, ist jene Lage, bei der sich das System in Nulltoleranzlage befindet. Sie kann sowohl als KO-Lage, als auch als K0-Lage (Konstruktions-Nulllage) bezeichnet werden. In dieser Arbeit wird für jeden weiteren Fall die Bezeichnung KO-Lage gewählt.

Das hier folgende Diagramm zeigt die Kräfteinwirkung der Dichtlippen auf die Seitenscheibe (in KO Lage) des Fahrzeuges. Auf der Ordinate ist die einwirkende Kraft mit der Einheit N pro 100mm aufgetragen und auf der Abszisse ist der Verfahrensweg der beim Einbau benötigt wird in der Einheit mm dargestellt.

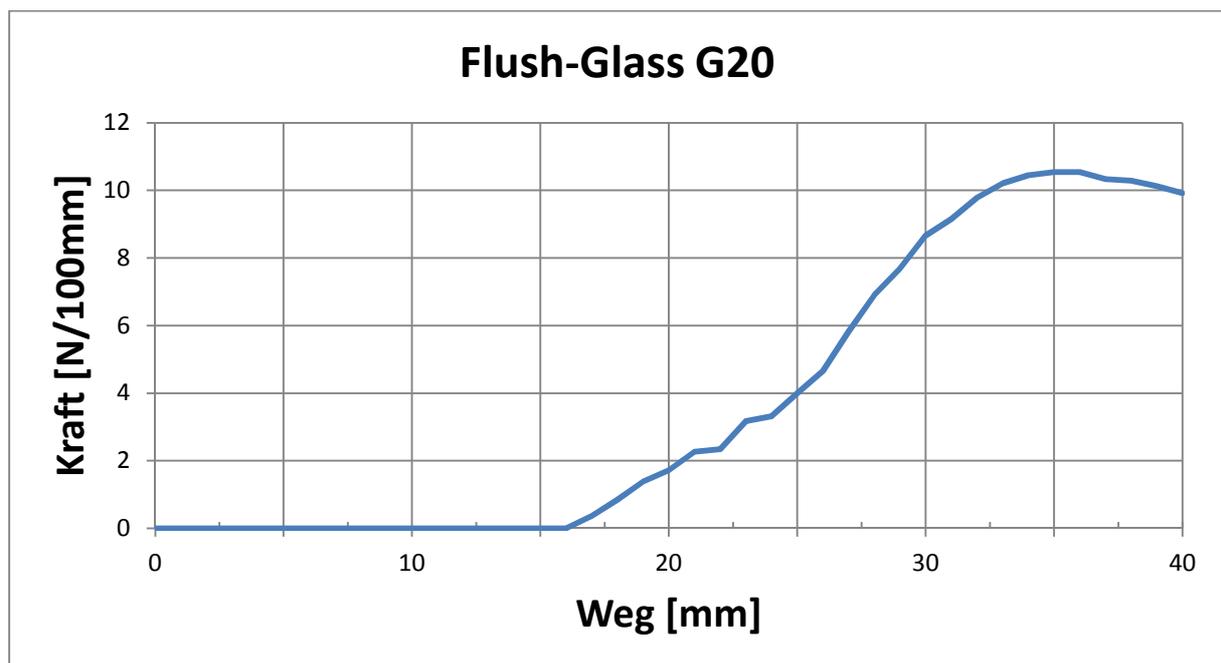


Diagramm 1: Kräftebelastung der 1. FEM-Analyse

Aus dem obigen Diagramm lässt sich erkennen, dass die maximal auftretende Kraft bei 10,5N/100mm liegt. Dies ist bei Schritt 35 (Verfahrensweg um 35mm des Gesamtsystems) der Fall und befände sich somit im Rahmen des Erlaubten.

Schnitt nach der 1 FEM:

Aufgrund der Auswertung der FEM-Ergebnisse sind in der Abbildung 77 bereits die oben genannten Änderungen eingefügt. Dieser Schnitt dient als Ausgangspunkt für die zweite FEM-Analyse.

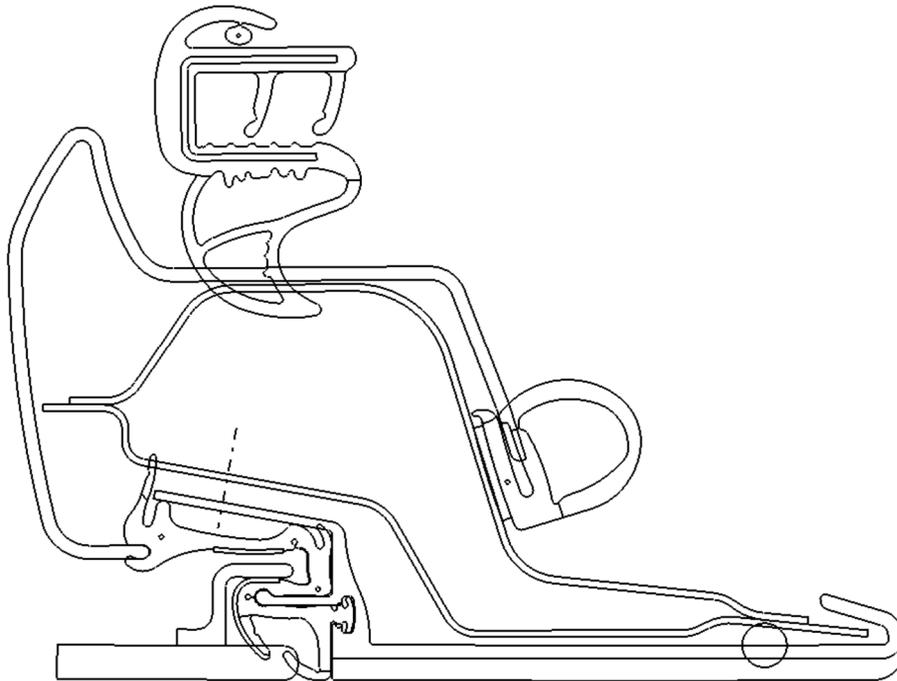


Abbildung 77: B-Säulen Schnitt für die 2. FEM-Analyse

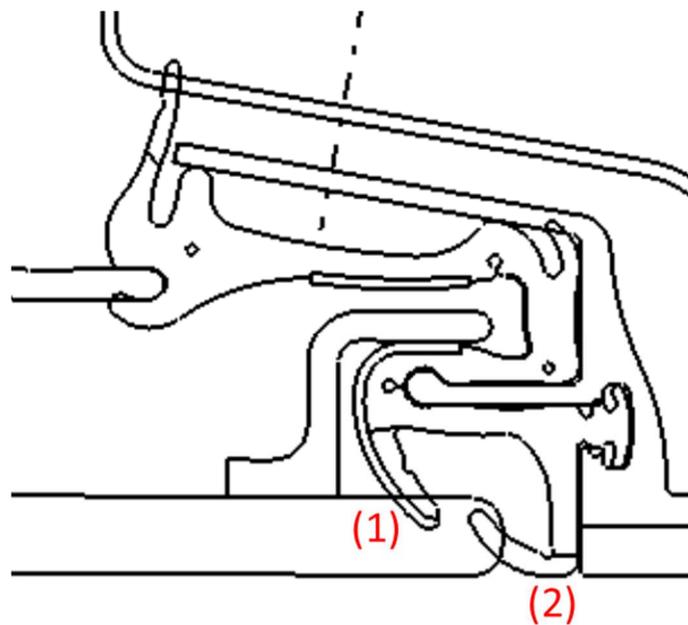


Abbildung 78: B-Säulen Schnitt für die 2. FEM (größere Darstellung)

FEM-Analyse 2:

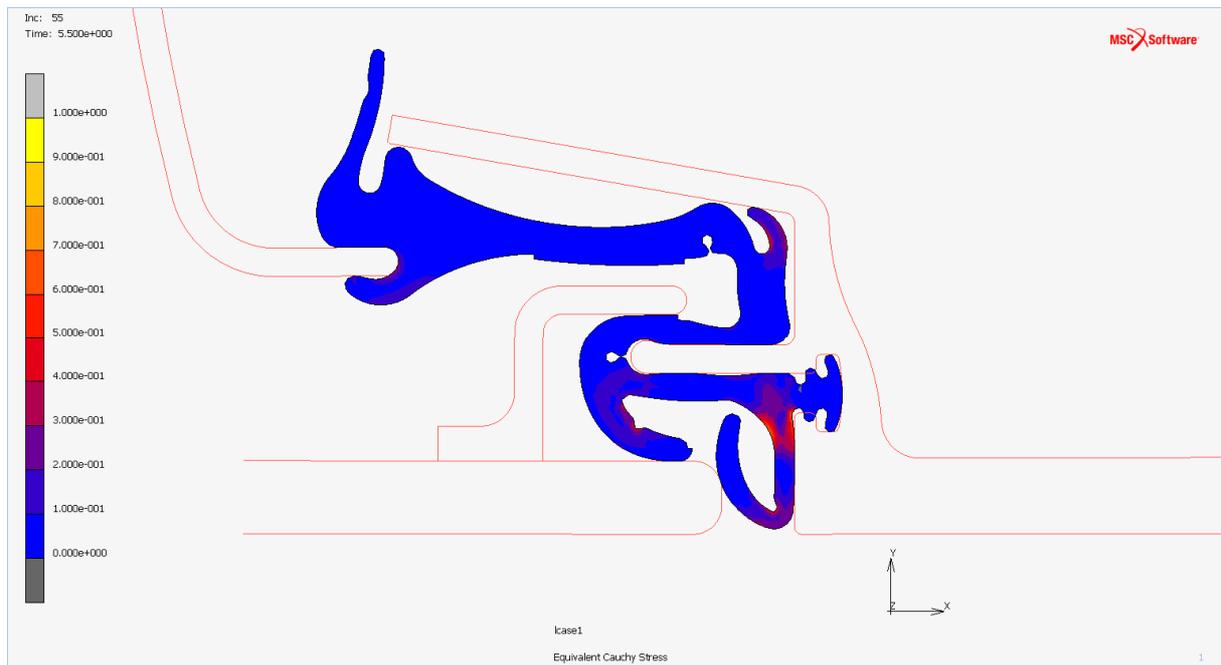


Abbildung 79: FEM-Analyse 2 KO-Lage

In dieser Abbildung lässt sich erkennen, dass sich aufgrund der Verschiebung der Sollknickstelle an der Scheibendichtlippe, diese sich besser an die Seitenscheibe anlegt. Mittels der eingeführten Sollknickstelle an der Fugendichtung legt auch diese sich besser an die Seitenscheibe an. Die Kraftsituation dieser Variante lässt sich aus dem folgenden Diagramm ablesen. Die maximale Kraft auf die Scheibe ist in der KO-Lage beträgt 5,6N.



Diagramm 2 Kräftebelastung der 2. FEM-Analyse

FEM-Analyse 3:

Aufgrund der gewonnenen Daten aus der 2. FEM-Berechnung werden noch einmal Änderungen an dem Dichtsystem durchgeführt.

- (1) Die Fugendichtlippe wurde noch einmal minimal gekürzt und
- (2) Die Scheibenanlagenlippe leicht nach links verschoben.

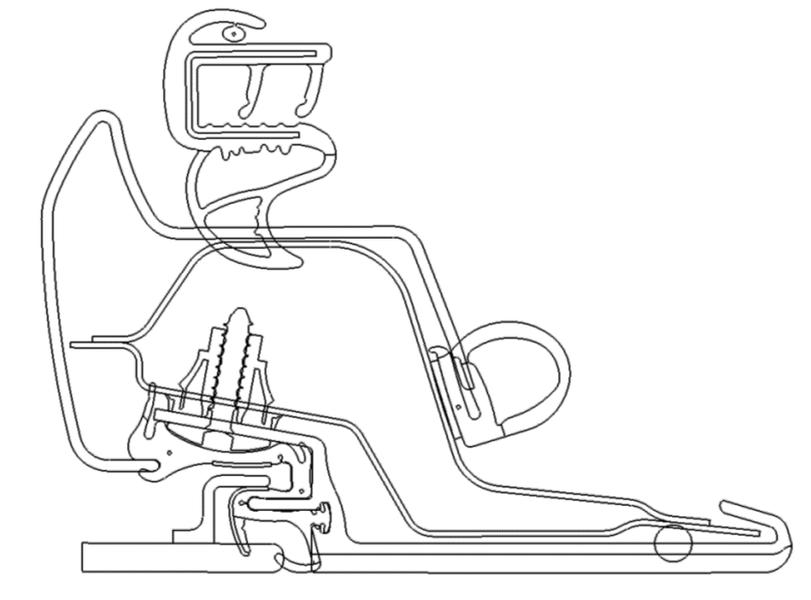


Abbildung 80: B-Säulen Schnitt für die 3. FEM

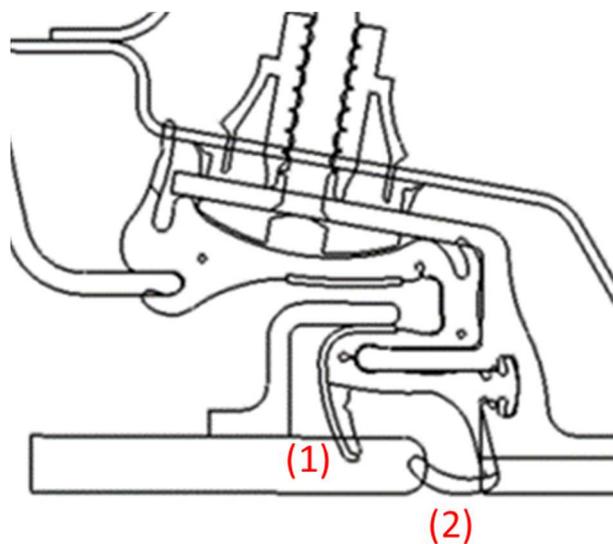


Abbildung 81: B-Säulen Schnitt für die 3. FEM (größere Darstellung)

Das hier folgende Bild zeigt den Einbauzustand (KO-Lage) der aus der 3. FEM-Berechnung ermittelt wurde.

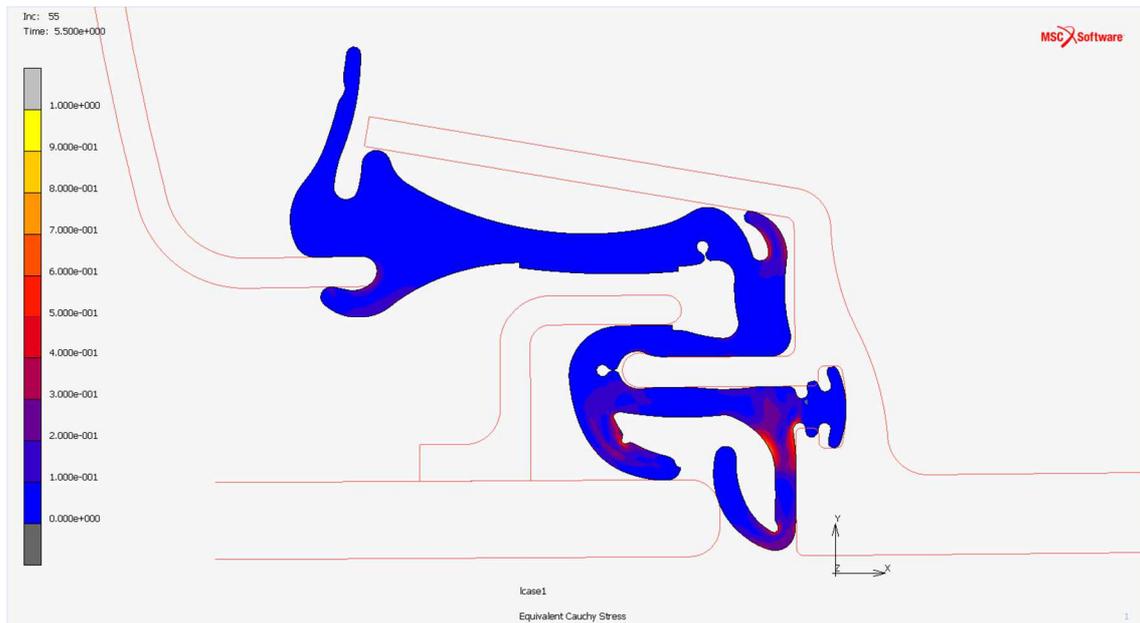


Abbildung 82: FEM-Analyse 3 KO-Lage

Abbildung 83 zeigt das Simulationsergebnis, welches bei einem Toleranzweg der Scheibe von 1,5mm in positiver x-Richtung ergeben würde.

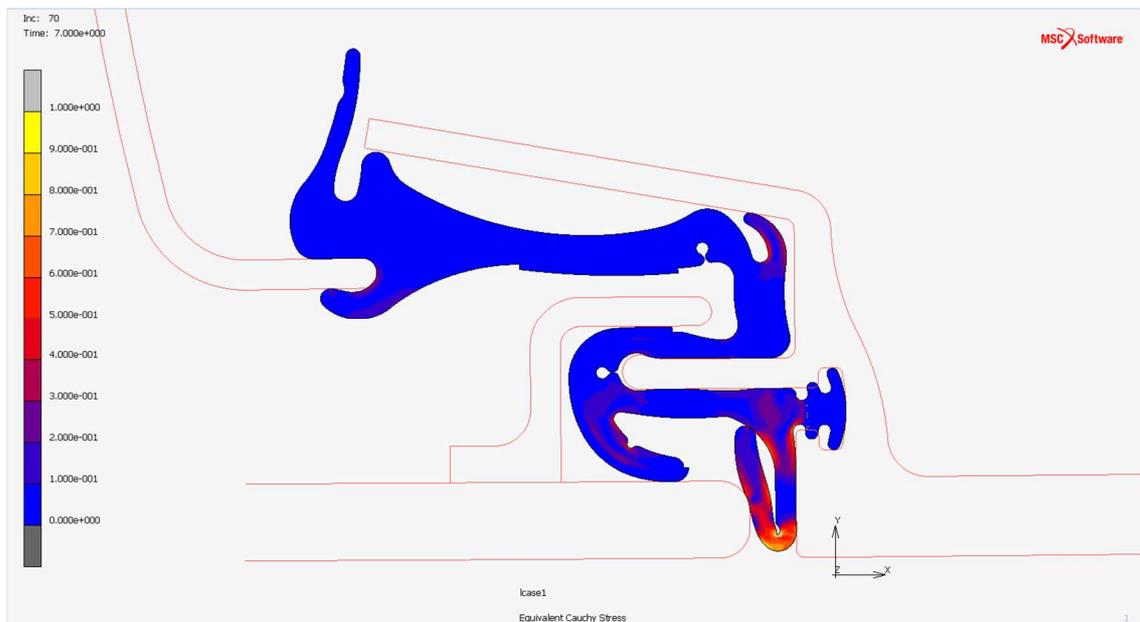


Abbildung 83: FEM-Analyse 3 x+1,5mm Toleranz

Im folgenden Diagramm lässt sich ein sprunghafter Anstieg der Kraft erkennen, sobald die Seitenscheibe um mehr als 0,7mm in positiver x-Achse wandert. Die hier dargestellte Linie mit der Benennung *Nom* spiegelt die Kraft in der KO-Lage nieder und Max bedeutet, dass die Scheibe um 1,5mm nach rechts gewandert ist.

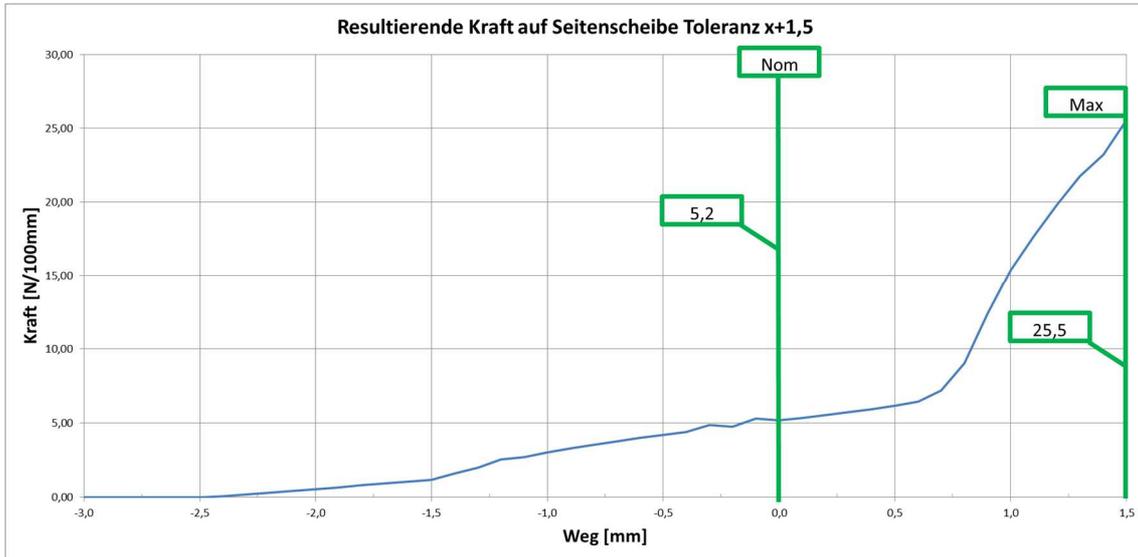


Diagramm 3: Kräftebelastung der 3. FEM-Analyse in x+1,5mm Toleranz

In der folgenden Abbildung folgt nun die Verschiebung der Seitenscheibe um 1,5mm in negativer x-Richtung. Durch diese Verschiebung ist wie in Diagramm 4 zu sehen die Kraft die auf die Seitenscheibe wird kleiner geworden.

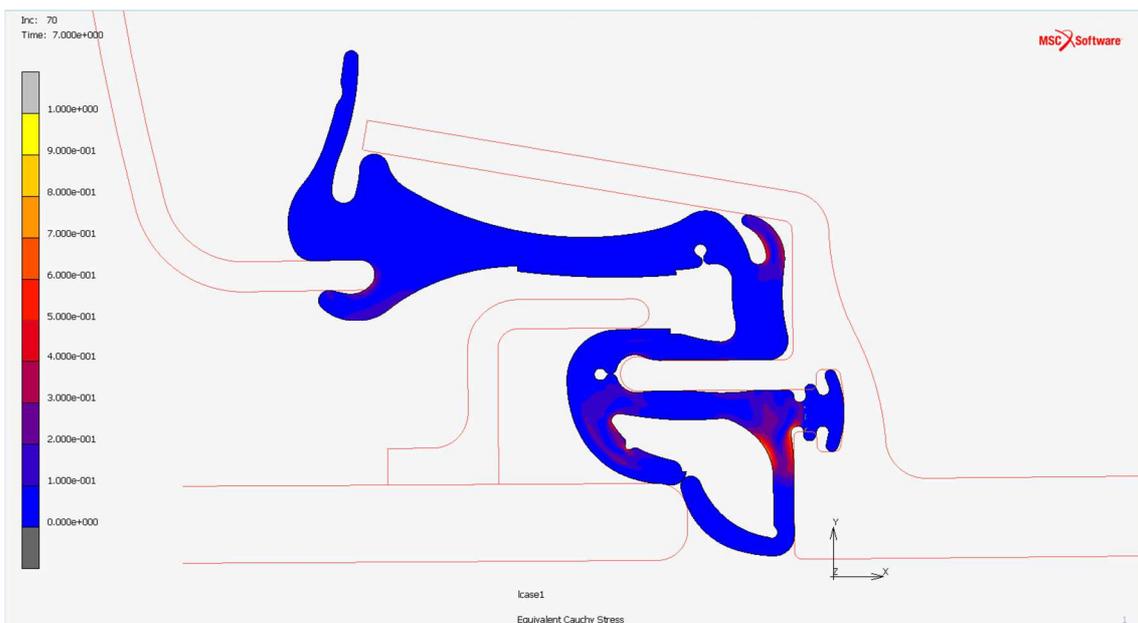


Abbildung 84: FEM-Analyse 3 x-1,5mm Toleranz

Der Strich bei einem Weg von 0mm ergibt erneut die Kraft in der KO-Lage und der Min Wert von 4,2N spiegelt die resultierende Kraft bei einer Verschiebung von 1,5mm wieder.



Diagramm 4: Kräftebelastung der 3. FEM-Analyse in x-1,5mm Toleranz

Nun folgt noch die Abbildung der in y-Richtung um 1,5mm verschobenen Seitenscheibe.

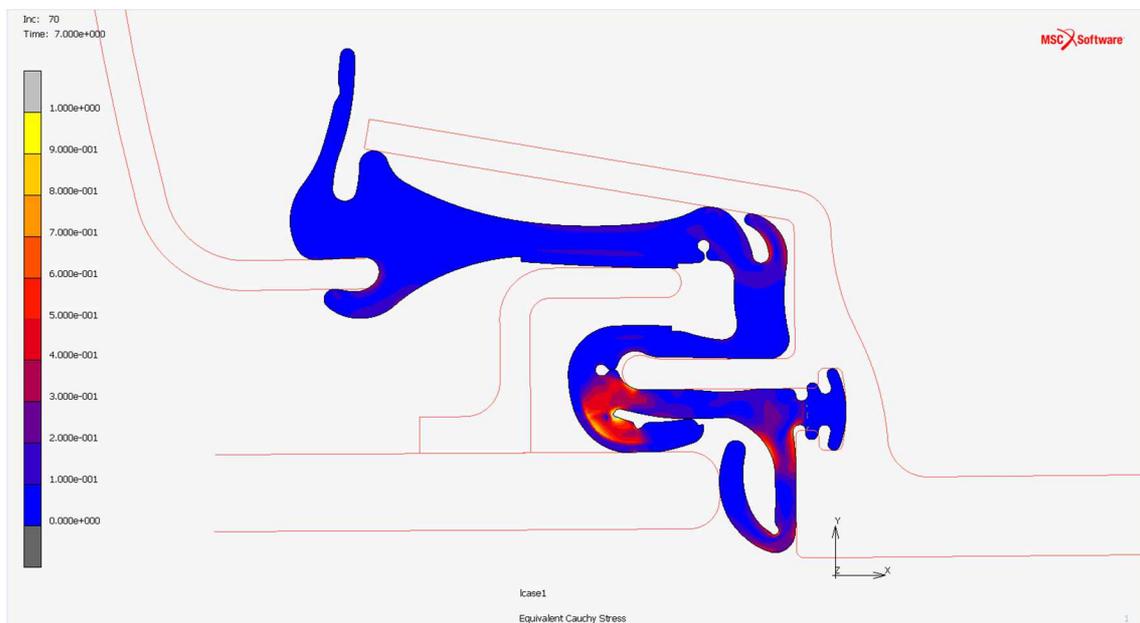


Abbildung 85: FEM-Analyse 3 y+1,5mm Toleranz

Auch hier lässt sich, wie bereits im Diagramm 3, ein sprunghafter Anstieg nach Überschreitung der KO-Lage erkennen.

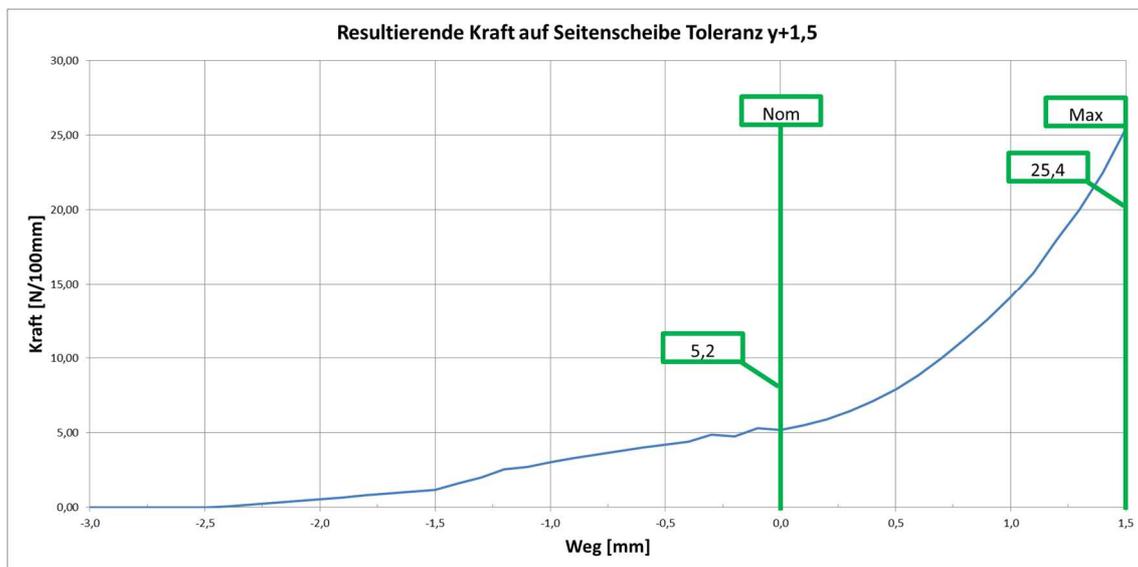


Diagramm 5: Kräftebelastung der 3. FEM-Analyse in y+1,5mm Toleranz

Die folgende Tabelle gibt noch einmal einen Überblick der wirkenden Kräfte in den verschiedenen Toleranzlagen.

Lage	Kraft in y [N]	Kraft in x [N]	Resultierende Kraft [N]
KO-Lage	4,7	2,3	5,2
x-1,5mm	4,1	0,7	4,2
x+1,5mm	11,0	23,0	25,5
y+1,5mm	25,3	2,5	25,4

Tabelle 10: Wirkende Kräfte der 3. FEM-Berechnung

Erkenntnisse aus der 3. FEM-Berechnung:

Es ist zu erkennen, dass sich die Lippen in KO-Lage im gewollten Ausmaß anlegen. Dies ist jedoch nicht mehr der Fall, sobald die Seitenscheibe in eine der x-Toleranzen verfährt. Es bietet sich nun an die Scheibenanlagenlippe zu verändern. Diese Änderung ist bei der 4. FEM-Analyse bereits durchgeführt und in der Abbildung 86 zusehen.

FEM-Analyse 4:

Aufgrund der gewonnenen Daten aus der 3. FEM-Berechnung werden noch einmal Änderungen an dem Dichtsystem durchgeführt. Die Fugendichtlippe bleibt diesmal gleich wie bei der letzten Variante und die Scheibenanlagenlippe leicht nach links verschoben und gleichzeitig um einige Grad steiler angestellt.

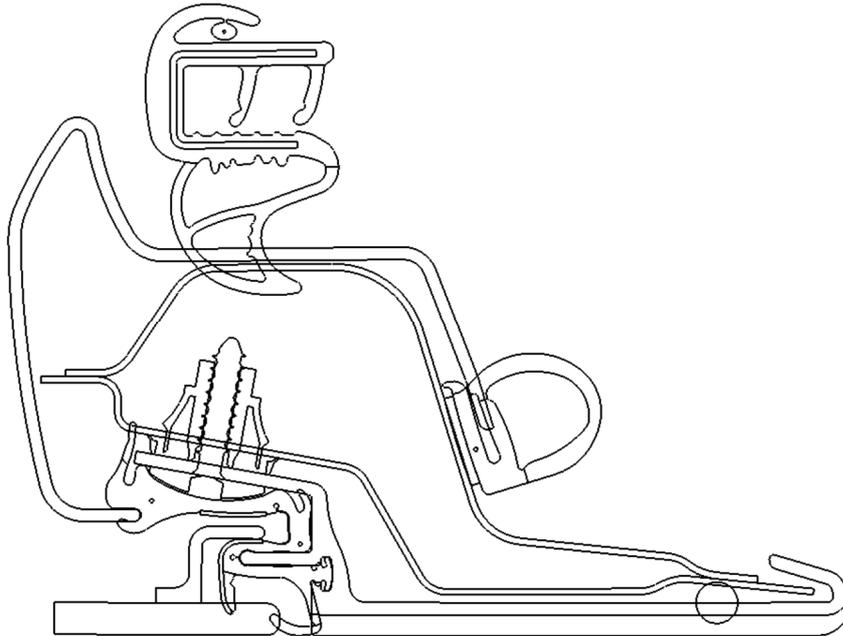


Abbildung 86: Schnitt für die 4. FEM

Das hier folgende Bild zeigt den Einbauzustand (KO-Lage) der aus der 4. FEM-Berechnung ermittelt wird.

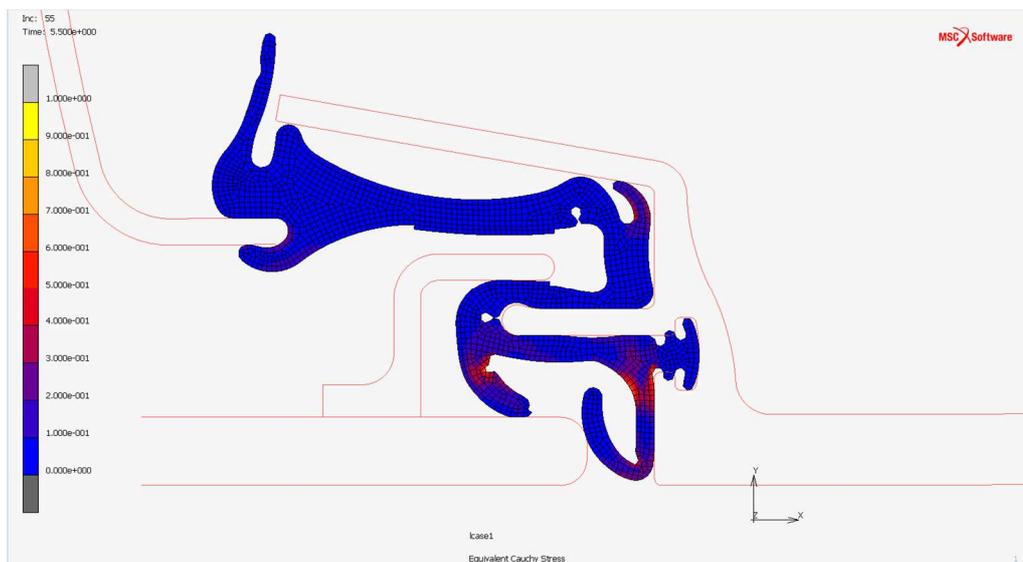


Abbildung 87: FEM-Analyse 4 KO-Lage

Abbildung 88 zeigt das Simulationsergebnis, welches sich bei einem Toleranzweg der Scheibe von 1,5mm in positiver x-Richtung ergeben würde.

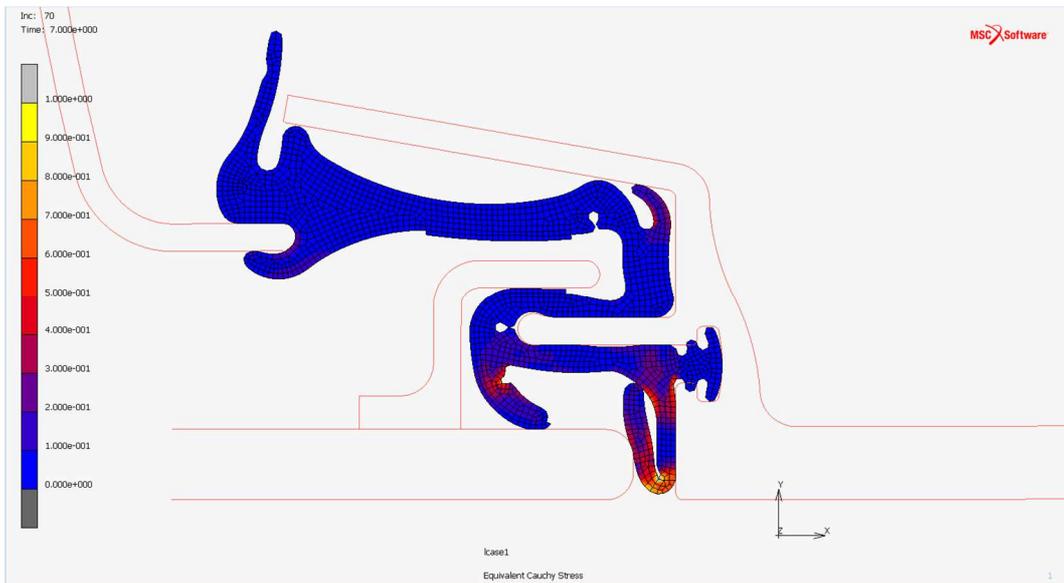


Abbildung 88: FEM-Analyse 4 x+1,5mm Toleranz

Im folgenden Diagramm lässt sich ein sprunghafter Anstieg der Kraft erkennen, sobald die Seitenscheibe um mehr als 0,8mm in positiver x-Achse wandert. Die hier dargestellte Linie mit der Benennung *Nom* spiegelt die Kraft in der KO-Lage nieder und *Max* bedeutet, dass die Scheibe um 1,5mm nach rechts gewandert ist.

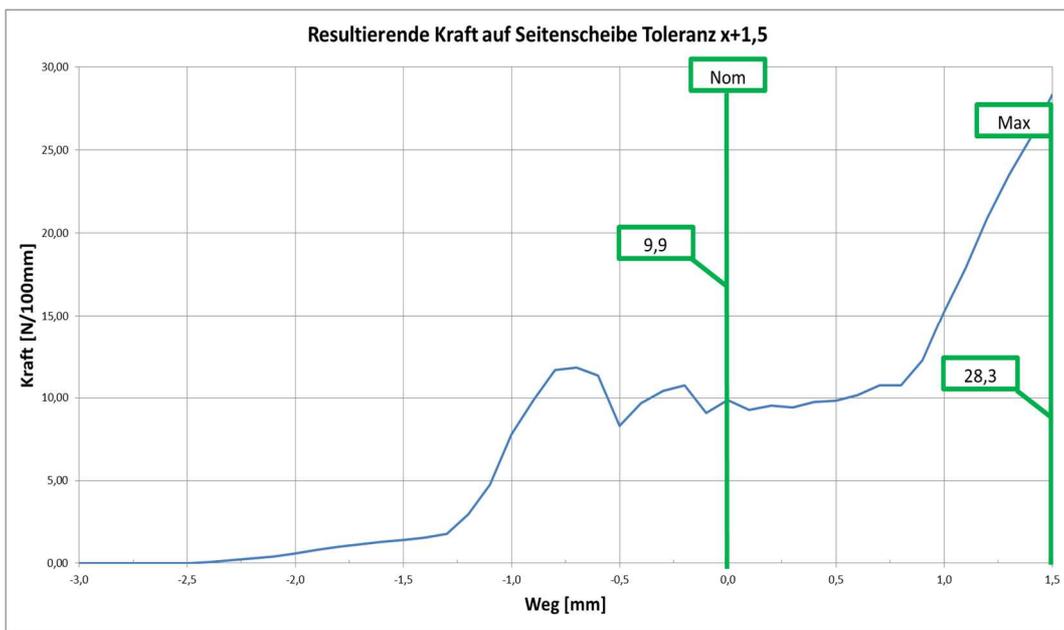


Diagramm 6: Kräftebelastung der 4. FEM-Analyse in x+1,5mm Toleranz

In der folgenden Abbildung folgt nun die Verschiebung der Seitenscheibe um 1,5mm in negativer x-Richtung. Durch diese Verschiebung ist wie in Diagramm 7 zu sehen, die Kraft, die auf die Seitenscheibe wird kleiner geworden.

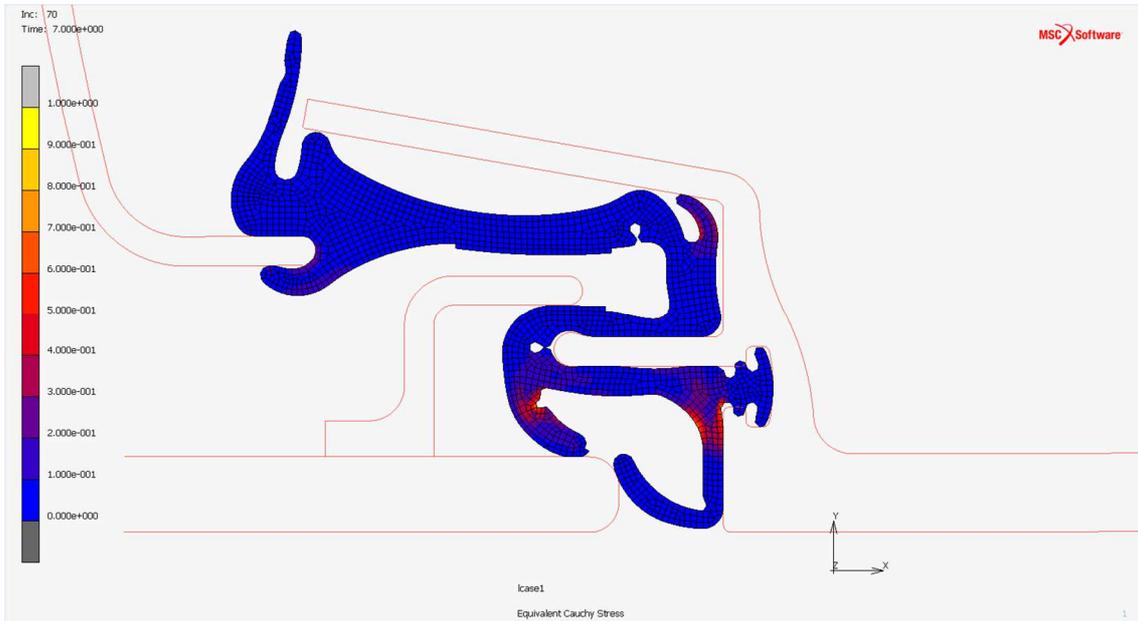


Abbildung 89: FEM-Analyse 4 x-1,5mm Toleranz

Der Strich bei einem Weg von 0mm ergibt erneut die Kraft in der KO-Lage und der Min Wert von 7,9N spiegelt die resultierende Kraft bei einer Verschiebung von 1,5mm wieder.



Diagramm 7: Kräftebelastung der 4. FEM-Analyse in x-1,5mm Toleranz

Nun folgt noch die Abbildung der in y-Richtung um 1,5mm verschobenen Seitenscheibe.

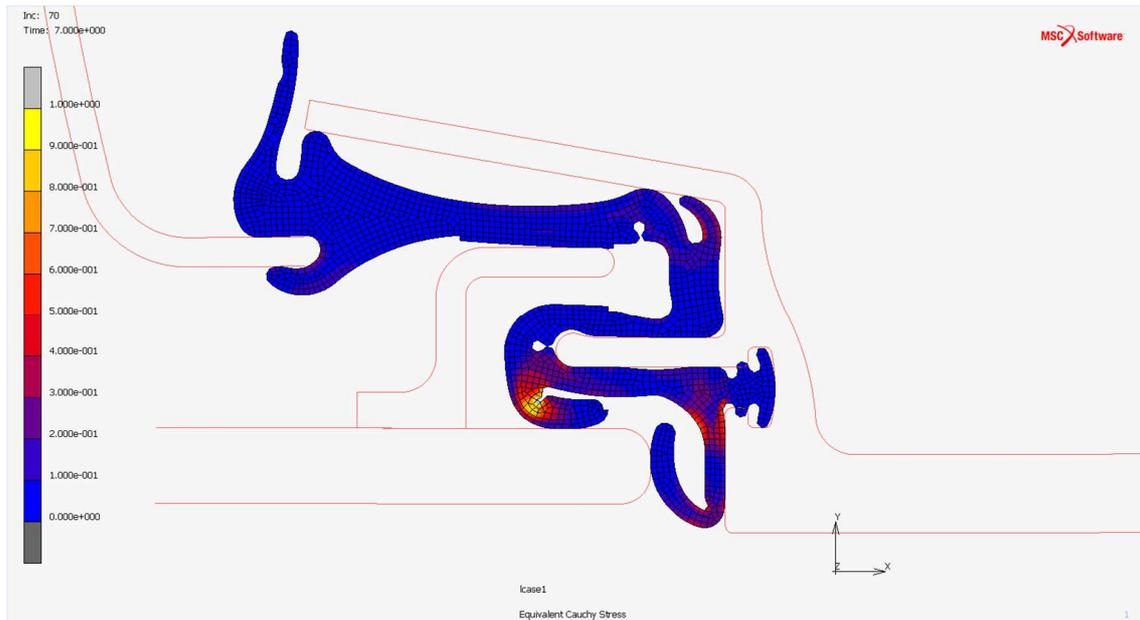


Abbildung 90: FEM-Analyse 4 y+1,5mm Toleranz

Auch hier lässt sich ein sprunghafter Anstieg nach Überschreitung der KO-Lage erkennen.

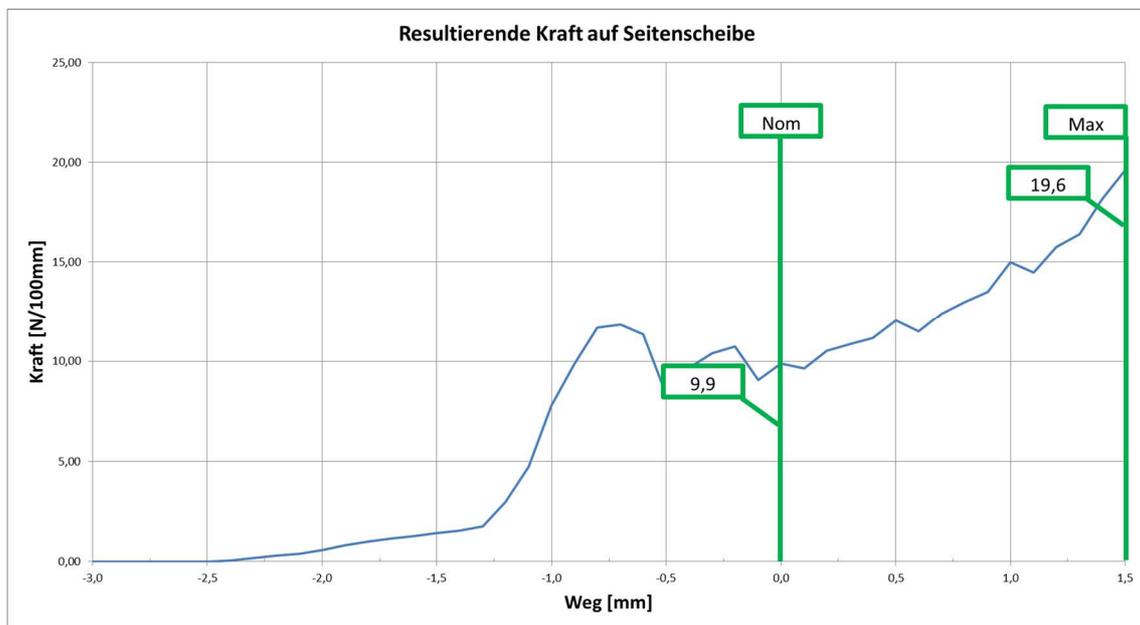


Diagramm 8: Kräftebelastung der 4. FEM-Analyse in y+1,5mm Toleranz

Die folgende Tabelle gibt noch einmal einen Überblick der wirkenden Kräfte in den verschiedenen Toleranzlagen.

Lage	Kraft in y [N]	Kraft in x [N]	Resultierende Kraft [N]
KO-Lage	9,59	2,33	9,87
x-1,5mm	7,91	0,30	7,92
x+1,5mm	14,33	24,41	28,31
y+1,5mm	19,46	2,68	19,64

Tabelle 11: Wirkende Kräfte der 4. FEM-Berechnung

Erkenntnisse aus der 4. FEM-Berechnung:

Aus der 4. FEM-Berechnung lässt sich somit sagen, dass sich die Lippen (auch in den Toleranzlagen) schöner anlegen, jedoch ist das Ergebnis noch nicht perfekt. In der x-1,5mm Toleranzlage besteht noch immer das Problem, dass die Lippe herausrutschen könnte und somit die Dichtheit nicht mehr gewährleistet ist.

In der x+1,5mm Toleranz besteht die Gefahr der Blockbildung. Blockbildung bedeutet, dass sich die Lippe so stark verformt, dass sie um 90 Grad einknickt und somit Kontakt zum restlichen Dichtungsprofil erhält.

Außerdem ist gut zu erkennen, dass die Kraft, die auf die Seitenscheibe wirkt, bei der 4. Berechnung das Doppelte der 3. Berechnung beträgt. Dies ist durch das steilere Anstellen der Scheibenanlagenlippe zu erklären.

7.7 2D-Konstruktionen der restlichen Bereiche

Anhand der aus Kapitel 7.3 bis 7.6 gewonnenen Daten, werden jetzt ebenfalls für die Bereiche A-Säule, B-Säule Tür hinten und den Fensterführungssteg die 2D-Schnitte dargestellt.

7.7.1 Bereich B-Säule Hintertür

In diesem Unterkapitel wird aufgezeigt, wie der Bereich um die B-Säule an der Hintertür konstruiert werden könnte.

Ausgangssituation

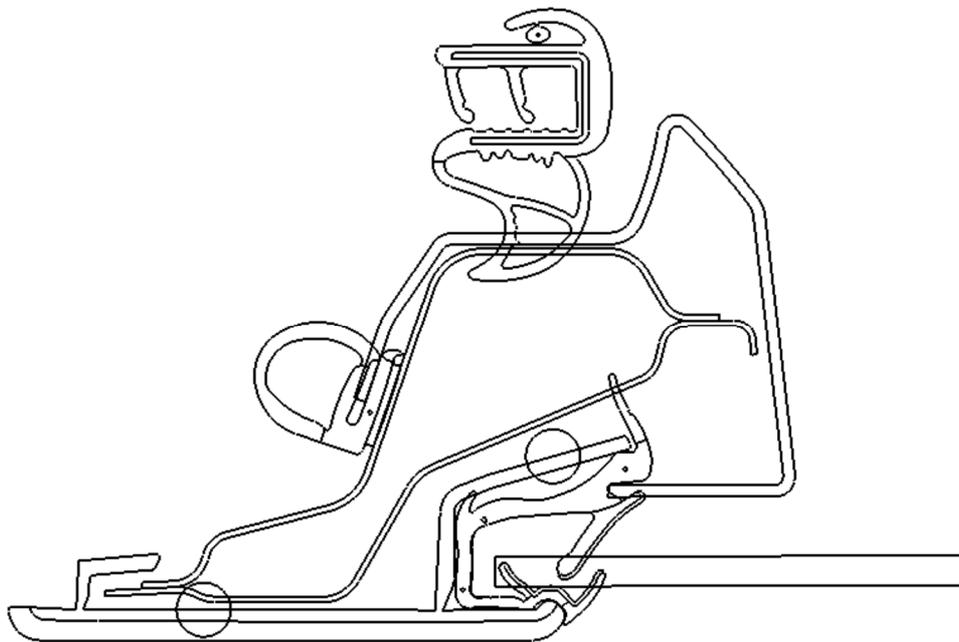


Abbildung 91: Ausgangssituation B-Säule Tür hinten

Damit in diesem Bereich das Ziel der Flush-Optik erreicht werden kann, müssen die Blende, wie bereits an der Tür vorne, nach innen verschoben werden, Schließ- und Türinnenbleich geändert werden und das Dichtungssystem an der Seitenscheibe neugestaltet werden. Als Anhaltspunkte sollten hier wieder der Kantenschutz und die Türhauptdichtung auf ihren derzeitigen Positionen bleiben.

Entwurf:

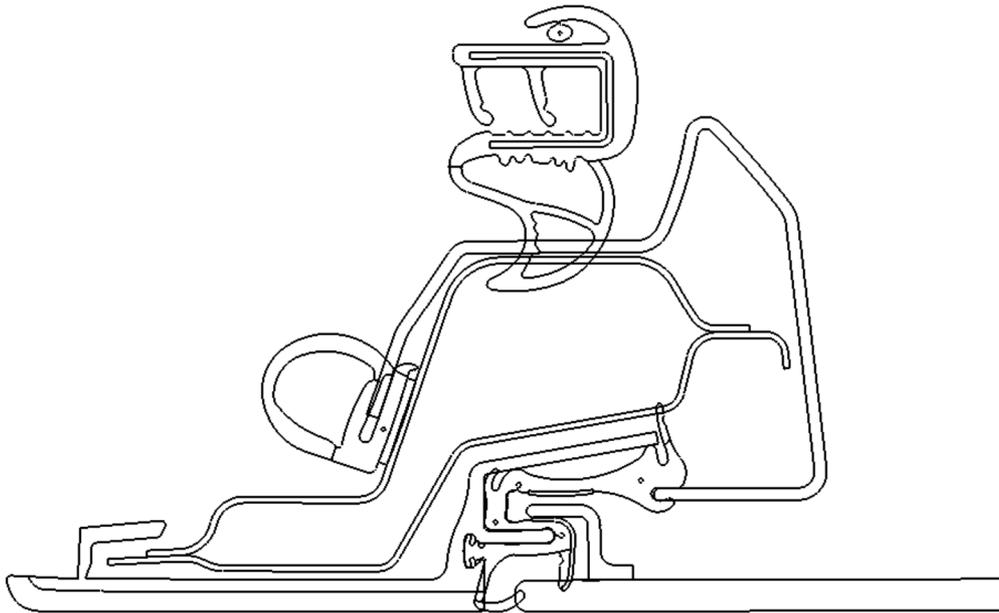


Abbildung 92: Entwurf B-Säule Tür hinten

Erkenntnisse:

Aufgrund dessen, dass es sich hier um den gleichen Schnitt handeln soll, wie an der B-Säule Vordertür, ist anzunehmen, dass sich das System gleich verhält. Die empfohlenen Vorschläge aus dem folgenden Kapitel (7.8) sollen auch für diesen Bereich übernommen werden.

7.7.2 Bereich A-Säule Spiegeldreieck

Ein sehr umstrittener Bereich ist das Spiegeldreieck. Hier gibt es die Diskussion dahingehend, ob man den Spiegel an der Karosserie befestigen soll oder nicht.

Bleibt der Spiegel an seiner jetzigen Position, sorgt dies natürlich für einen geringeren Konstruktionsaufwand. Wenn der Spiegel jedoch an der Karosserie befestigt wird, ergibt sich ein besserer BI, da das Spiegeldreieck als Teil der Seitenscheibe ausgeführt wird.

Der BI ist ein interner Bewertungsindex von BMW, der die Fahrzeug-, Komponenten- oder Systemeigenschaften bewertet und Fehler aufdeckt. In diesem Beispiel geht es um den Sichtbereich für den Fahrer, eingeschränkt von den Außenspiegeln. Je höher der BI ist, desto besser ist der Sichtbereich für den Fahrer.

BI	Bedeutung für den Kunden
1	Fehler bedeutet Sicherheitsrisiko bzw. zulassungsrelevantes Thema
2	Es wird mit rechtlichen Schritten oder Veröffentlichung gedroht
3	Die Werkstatt wird sofort aufgesucht
4	Fehler führt zu einem außerplanmäßigen Werkstattaufenthalt
5	Fehler wird beim nächsten Werkstattaufenthalt behoben
6	Kunde ist auf Fehler sensibilisiert
7	Geringe Abweichungen vom Sollstand
8	Erwartungen an das Fahrzeug zu 100% erfüllt
9	Technische Lösungen überzeugen
10	Technische Lösungen überraschen positiv

Abbildung 93: BI-Tabelle [29]

In den folgenden zwei Abbildungen wird deutlich der Unterschied gezeigt.



Abbildung 94: BMW 420i Sichtbereich durch Spiegeldreieck eingeschränkt [30]



Abbildung 95: BMW i8 Spiegel auf Karosserie, geringere Sichtfeldeinschränkung [31]

In der linken Abbildung ist zu sehen, dass der Sichtbereich des Fahrers aufgrund des Spiegeldreiecks leicht eingeschränkt ist. Dies führt zu einem schlechteren BI.

Die Abbildung 95 zeigt den BMW i8. Bei diesem Modell ist der Spiegel an der Karosserie angebracht. Dies schränkt das Sichtfeld des Fahrers weniger ein. (höherer BI)

Es ist erstrebenswert mindestens einen internen BI von 8 zu erreichen (vgl. Abbildung 93). Dies würde auch das Argument unterstreichen, dass das Spiegeldreieck, durch eine Seitenscheibe ersetzt wird, der Spiegel an der Karosserie angebracht wird, und der Fensterführungssteg mit möglichst kleinen Abmaßen konstruiert wird. [32]

Ein BI von 10 würde einem herausragenden Ergebnis entsprechen. Bei einem BI von 8 werden die Erwartungen für den Kunden zu 100% erfüllt. Die in Abbildung 93 gelb markierten Bewertungsindizes (6 und 7) sollten vermieden werden. Ein BI von 6 entspricht nur noch einem befriedigenden Ergebnis. Ergibt sich nur noch ein BI von 1 bis 5, wird eine extreme Unzufriedenheit von den Kunden erwartet. Die Fehleranhäufung ist in diesen Bereichen sehr groß und darum müssen diese Werte vermieden werden. [32]

Erkenntnisse:

Die Empfehlung wäre es, das Spiegeldreieck durch eine feststehende Seitenscheibe zu ersetzen, jedoch wäre dies mit einem massiven konstruktiven Aufwand verbunden. Wie in der nächsten Abbildung zu sehen, müssten dabei Fensterführung, alle Bleche und die Abdeckung Fensterrahmen umgeformt werden, damit der BI steigen würde. Wenn diese Adaption nicht stattfindet, würde das Sichtfeld auch nicht breiter werden, somit würde der BI nicht steigen und es würde keinen Sinn ergeben eine Glasscheibe einzusetzen.

Ausgangsvariante:

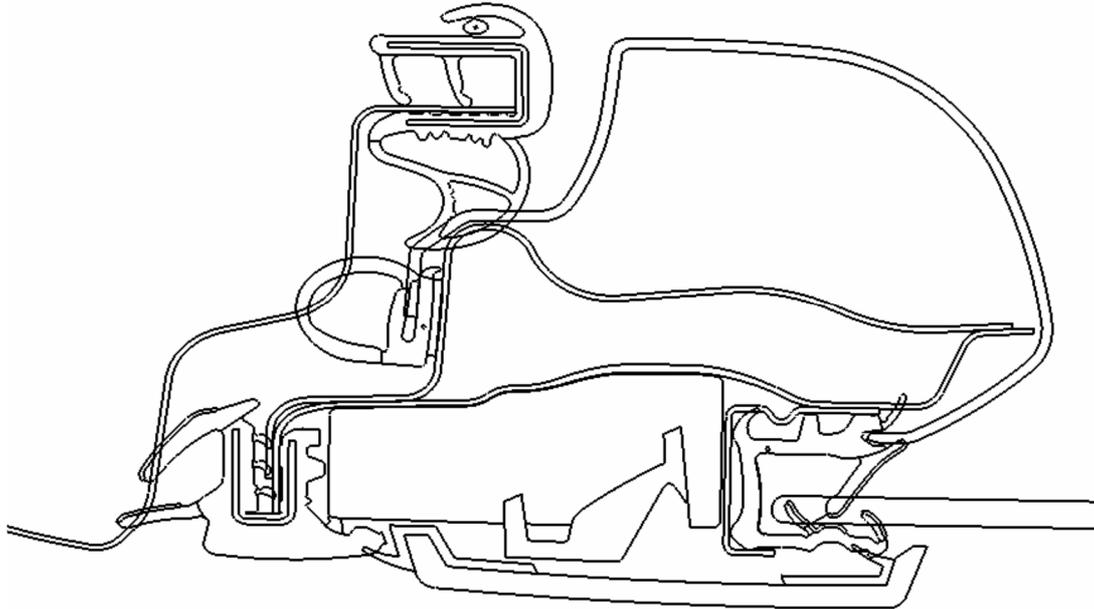


Abbildung 96: Ausgangssituation A-Säule (Spiegelkappe ausgeblendet)

Damit in diesem Bereich die Flush-Glass-Optik erreicht wird, müssen einige Änderungen vorgenommen werden. Zunächst gilt es zu klären, wo der Seitenspiegel montiert wird. Die Blende, sowie die Fugendichtungen müssen nach innen verschoben werden, eine Umgestaltung des restlichen Dichtsystems und der Bleche, sowie des Seitenrahmens muss erfolgen.

Erkenntnisse:

Es ist wieder möglich das gleiche System einzusetzen, welches bereits an der B-Säule Vordertür und der B-Säule Hintertür eingesetzt wird. Darum gelten auch hier die Vorschläge aus Kapitel 7.8.

7.7.3 Bereich Fensterführungssteg

Wie bereits erwähnt, gibt es Lösungsansätze für feststehende Seitenscheiben, sprich für die Seitenscheiben eines Fahrzeuges im Bereich hinter (in x-Richtung gesehen) dem Fensterführungssteg. Aus diesem Grund wird im Unterkapitel 7.7.3 eine Lösungsvariante für den Bereich vor dem Fensterführungssteg (in x-Richtung gesehen) dargestellt.

Ausgangsvariante:

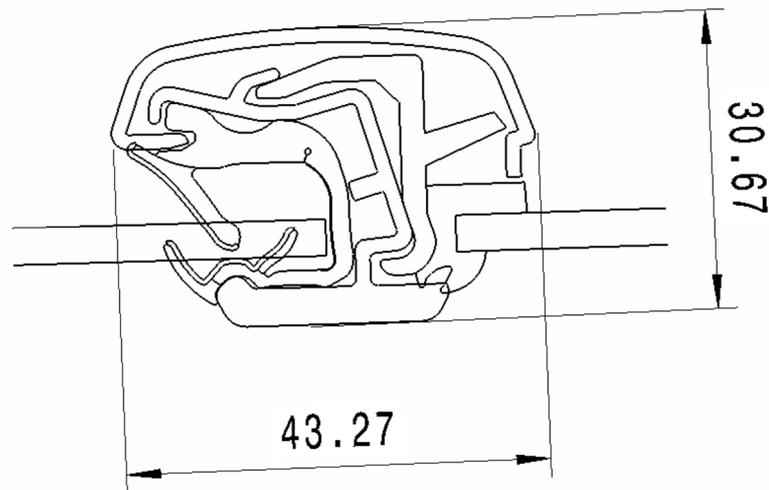


Abbildung 97: Ausgangssituation Fensterführungssteg

In der obigen Abbildung ist zu sehen, dass sich die Blende, Fensterführung und Umspritzung in y-Richtung gesehen „außerhalb“ des Fahrzeuges befinden. Diese Komponenten müssen geändert bzw. umgestaltet werden.

Entwurf:

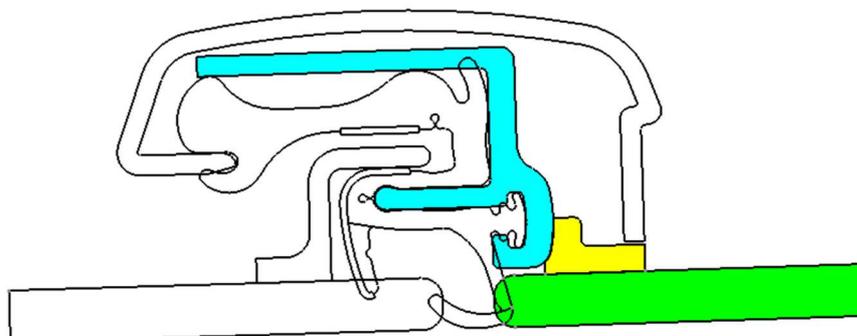


Abbildung 98: Entwurf Fensterführungssteg

Dieser Entwurf baut auf dem gleichen Prinzip auf, welches bereits bei allen anderen Bereichen (AS, BSTV und BSTH) eingesetzt wurde. Der größte Unterschied ist hier jedoch der geringere Bauraum, der zur Verfügung steht. Außerdem wird hier zwischen zwei Seitenscheiben abgedichtet und nicht wie bei den anderen Bereichen zwischen Blende und Seitenscheibe.

Derzeit ist die feststehende Seitenscheibe mittels Umspritzung (im Bild gelb dargestellt) an der Karosserie angebracht. Dies soll auch in Zukunft so bleiben. Dadurch ist es möglich, dass die Blende (im Bild türkis dargestellt) direkt mittels Umspritzung an der feststehenden Seitenscheibe (im Bild grün dargestellt) angebracht ist.

Somit wird auch in diesem Bereich die Dichtheit und Funktion des Systems garantiert und es ähnelt sehr den anderen Bereichen.

Erkenntnisse:

Auch hier ist wieder ein ähnliches Bewegungsverhalten der Dichtlippen zu erwarten. Aus diesem Grund ist es im Bereich des Fensterführungsstegs ebenso ratsam, die folgenden Vorschläge zu übernehmen.

7.8 Diskussion der Ergebnisse

Die Erkenntnisse aus Kapitel 7.6 und 7.7 ergeben, dass noch Änderungen vorgenommen werden müssen, damit das System noch effizienter wird.

- (1) In der folgenden Abbildung ist ein Schnitt zu sehen, bei dem die Fugenbreite bereits 4,5mm beträgt. Die Änderung der in der Anforderungsliste gestellten 3,8mm, ist mit dem Industriepartner besprochen und auch genehmigt.
- (2) Des Weiteren ist das Schließblech um einen Millimeter in positiver y-Richtung verschoben. Damit steht mehr Bauraum zur Verfügung. Dies spiegelt sich in der dickeren Wandstärke der Blende und einem größeren Abstand zwischen Blende und Seitenscheibe wider.
- (3) Durch diese Bauraumbeschaffung können die Dichtlippen umgestaltet werden, sodass es zu keiner Blockbildung kommt. Dadurch legen sich auch die Dichtlippen schöner an der Seitenscheibe an.
- (4) Außerdem wurde das Einknöpfsystem an der Blende verändert. Es ist jetzt partiell angebracht.

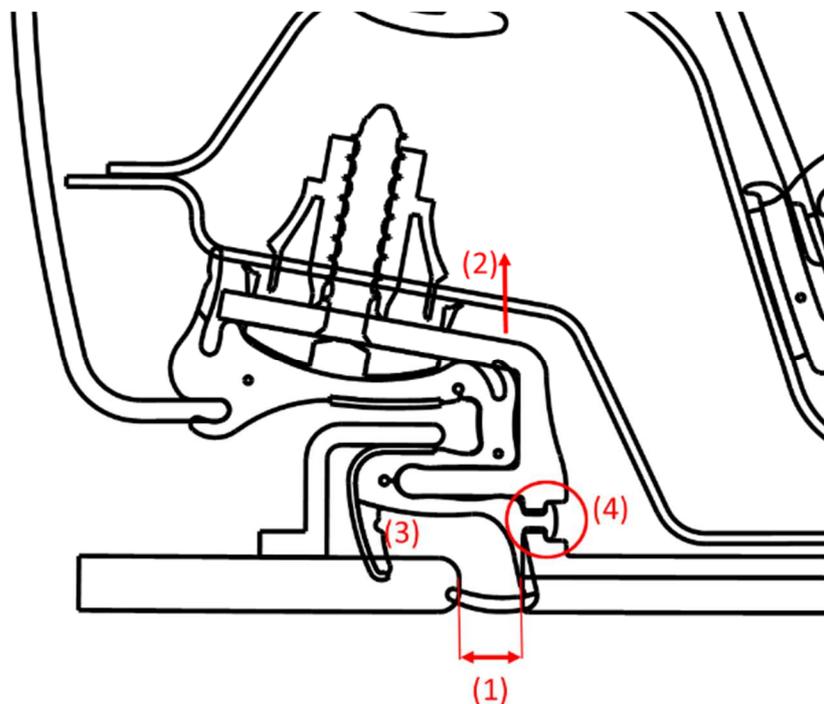


Abbildung 99: Vorschlag für den neuen Schnitt an der BS

Hier wird der Schnitt noch einmal an einer anderen Position (z-Richtung) dargestellt, damit das Einknöpfssystem an der Blende besser zu erkennen ist.

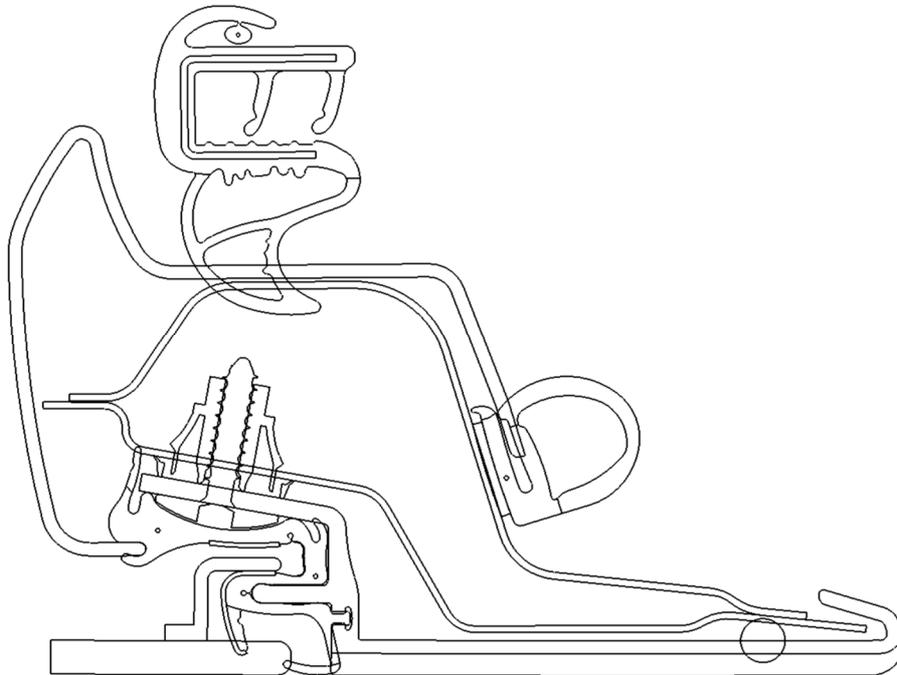


Abbildung 100: Vorschlag Schnitt BS Positionsänderung des Schnittes in z-Richtung

Für die Zukunft ist es wichtig, ein besonderes Augenmerk auf die folgenden Punkte zu legen:

- Feintuning: Es muss eine Materialauswahl stattfinden. Diese ist vor allem für das Führungselement wichtig, da dieses aus einem Kunststoff gefertigt wird. Wenn Kunststoff auf einen Flock der Dichtung trifft, wie es auch der Fall ist, kann es zu unerwünschtem Knatschen kommen. Außerdem müssen von dem oben gezeigten Schnitt (Abbildung 100), erneut Berechnungen durchgeführt werden.
- Bereich unterhalb der Schachtabdeckung: Hier muss noch einmal nachgeforscht werden, ob ein größerer konstruktiver Aufwand (z.B. bei dem Fensterhebersystem für die Einstellung der x-Toleranzlage) besteht.
- Lieferanten kontaktieren: Bevor die Hardware aufgebaut werden kann, muss eine Kontaktaufnahme mit allen Lieferanten stattfinden. Hier gilt es vor allem die Fertigung aller Komponenten abzuklären.
- Prototypbau: Bevor das System in Serie gehen kann, muss ein Prototyp erstellt werden, der den verschiedenen Tests/Anforderungen standhält.

8 Zusammenfassung

Aufgrund der immer schärfer werdenden Wettbewerbssituation am globalen Weltmarkt versuchen die Automobilhersteller zunehmend durch die Belegung gewinnbringender Nischen Kunden zu gewinnen. Dabei ist ein wesentliches Positionierungsmerkmal im Premiumbereich das Design im kundensichtbaren Bereich des Fahrzeugs. [1]

Besonders großflächige Bereiche wie etwa der Scheibenbereich weisen eine hohe optische Sensitivität auf. Daher wird in der vorliegenden Arbeit der Einsatz der sogenannten Flush-Glass-Optik an rahmengeführten Türen zur Erhöhung der Designdifferenzierung zu Wettbewerbern untersucht.

Da die vorliegende Arbeit in Kooperation mit der BMW AG und Magna Steyr erfolgt, soll die Untersuchungsbasis ein Derivat des Industriepartners BMW darstellen.

Damit das System Flush-Glass-Optik für den gesamten Rahmenbereich eines BMW-Derivates umgesetzt werden kann, werden mehrere CAD-Schnitte angefertigt. Dies dient dazu, den IST-Stand am G20 zu erfassen.

Des Weiteren erfolgt eine umfangreiche Benchmark-Analyse am Porsche Panamera. Es wird auch eine Wettbewerbsanalyse, sowohl dem derzeit üblichen Dichtungssystemen, als auch von Türsystemen durchgeführt.

Basierend auf den CAD-Schnitten und den aus der Wettbewerbsanalyse gewonnen Erkenntnissen erfolgt die Anfertigung von verschiedenen 2D-Konstruktionsvarianten mit dem CAD-Programm CATIA V5.

Weiters gilt es die vom Industriepartner gestellte Anforderungsliste zu berücksichtigen. Hierbei spielen vor allem die Herstellbarkeit, Wirtschaftlichkeit sowie die Fertigbarkeit und Intaktheit des Dichtsystems eine wichtige Rolle. Eine weitere wichtige Anforderung seitens des Industriepartners, ist die Einhaltung der Montagereihenfolge – sowohl für die Vordertür als auch für die Hintertür.

Mit Hilfe der Anforderungsliste werden die verschiedenen konstruktiven Ansätze bewertet und es findet eine Auswahl der am besten passenden Variante statt.

Damit dieser Schnitt verfeinert werden kann, erfolgt mit dem Programm Marc Mentat eine FEM-Analyse. Daraus lassen sich Erkenntnisse ableiten, wie sich das Dichtprofil im Einbauzustand verhält.

Dadurch entsteht ein iterativer konstruktiver Prozess, der dazu führt, dass sich die 2D-Konstruktionsvariante fortlaufend verbessert.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass das System der Flush-Glass-Optik für rahmengeführte Türen sowohl hinsichtlich technischer als auch wirtschaftlicher Belange umsetzbar ist.

Nach der Iterationsphase gilt der in Kapitel 7.8 aufgezeigte Schnitt als Ausgangsbasis. Dieser soll für alle weiteren Anstrengungen in Richtung Flush-Glass dienen.

Literaturverzeichnis

- [1] G. Spur und F. L. Krause, Das virtuelle Produkt: Management der CAD-Technik, München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1997.
- [2] H. Weule, Die Bedeutung der Produktentwicklung für den Industriestandort, München: Tagung Informationsverarbeitung in der Konstruktion, SYSTEMS, 1996.
- [3] H. H. Braess und U. Seiffert, „Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 7. Auflage,“ Braunschweig, Springer Vieweg, 2013, p. 120.
- [4] Excel Industries, Inc., [Online]. Available: <http://www.google.de/patents/US5154028>. [Zugriff am 28 Juli 2015].
- [5] Metzeler, „Neueste Designtrends von Dichtungssystemen,“ CSA Sealing Conference (Stuttgart), 2014.
- [6] Porsche, „Panamera Hybrid-Leichtbautüren,“ in *Sealing Technology Conference*, 88131 Lindau Deutschland, 2011.
- [7] „Three dimensional reference system,“ in *GCIE Global's Cars Manufactures Information Exchange Group*, Russelsheim, Matthieu Astier, Renault, 2011, p. 60.
- [8] Dassault Systèmes, [Online]. Available: <http://www.3ds.com/de/produkte-und-services/catia/>. [Zugriff am 20 Jan 2016].
- [9] S. Vajna, A. Wunsch und M. Wiesner, CATIA V5- kurz und bündig, Magdeburg: Vajna Sándor, Springer Verlag, 2015.
- [10] TEPRODE, „Technisches Produktdesign TEPRODE,“ [Online]. Available: <http://teprode.org/cadbegriffe.html>. [Zugriff am 17 März 2016].
- [11] R. Haslauer, Der Entwicklungsprozess Karosserie in der Konzept- und Serienphase, ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, 12/2006.

- [12] F. Mantwill und G. Tecklenburg. [Online]. Available: <http://www.olzog.de/contentBase/edidact/vorschau/9-30-25-00-05.02.01.pdf>. [Zugriff am 20 Jan 2016].
- [13] H. H. Braess und U. Seiffert, „Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 7. Auflage,“ Braunschweig, Springer Vieweg, 2013, p. 872.
- [14] Merriam-Webster, [Online]. Available: <http://www.merriam-webster.com/dictionary/mock%E2%80%93up>. [Zugriff am 20 Jan 2016].
- [15] P. D.-I. E. Scholz, C. Burkhardt und S. Dietrich. [Online]. Available: <https://fbme.htwk-leipzig.de/fileadmin/fbme/informationen/TVorstellung/DMU.pdf>. [Zugriff am 17 März 2016].
- [16] M. Eigner und R. Stelzer, „Product Lifecycle Management,“ Kaiserslautern und Dresden, Springer, 2008, pp. 15-16.
- [17] G. Kress, „ETH Zürich,“ [Online]. Available: https://www1.ethz.ch/structures/education/bachelor/ingenieurtools/FET-FS2013PDFs/FET_Latex_2012_02_24.pdf. [Zugriff am 20 Jan 2016].
- [18] U. Gabbert, U. Lauschke und M. Zehn, „CAD-FEM-Kopplung auf der Grundlage etablierter Datenschnittstellen,“ Uni Magdeburg, Magdeburg, 1994.
- [19] H. R. Weber, M. Weck, F. Förtsch und T. Rochlitz, „Datenaufbereitung aus CAD-Systemen zur Durchführung von Strukturoptimierungen,“ in *CAD Datenaustausch und Datenverwaltung*, Darmstadt, Springer-Verlag, 1988, p. 221 ff..
- [20] H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch und J. Voßiek, „Dichtungen,“ in *Roloff/Matek Maschinenelemente*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2011, 20. Auflage, p. 660 ff..
- [21] H. H. Braess und U. Seiffert, „Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 7. Auflage,“ Braunschweig, Springer Vieweg, 2013, p. 535.
- [22] BMW 420i Gran Coupé, [Online]. Available: <http://www.bmw.de/vc/ncc/xhtml/start/startWithConfigUrl.faces?country=DE&market=D>

- E&productType=1&brand=BM&locale=de_DE&name=w6b0i3w0#TILTVIEW. [Zugriff am 12 August 2015].
- [23] Das Statistik Portal, [Online]. Available: <http://de.statista.com/themen/209/bmw-group/>. [Zugriff am 27 Juli 2015].
- [24] Porsche Panamera, [Online]. Available: <http://www.porsche.com/germany/models/panamera/panamera-s-e-hybrid/featuresandspecs/>. [Zugriff am 29 Juli 2015].
- [25] Porsche, „Schnittpostion Porsche Panamera,“ [Online]. Available: http://cc.porsche.com/icc_euro/ccCall.do?rt=1449834118&screen=1920x1200&userID=DE&lang=de&PARAM=parameter_internet_de&ORDERTYPE=970130&MODELYEAR=2016&hookURL=http%3a%2f%2fwww.porsche.com%2fgermany%2fmodelstart%2f. [Zugriff am 11 Dezember 2015].
- [26] BMW 3er, [Online]. Available: <http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/3er/limousine/2015/start.html>. [Zugriff am 05 August 2015].
- [27] BMW 340i, [Online]. Available: http://www.bmw.de/vc/ncc/xhtml/start/startWithConfigUrl.faces;jsessionid=d9d30539309ca965478f06202de7.5?country=DE&market=DE&productType=1&brand=BM&locale=de_DE&name=a4r3r9r3#EXTERIOR. [Zugriff am 05 August 2015].
- [28] F. U. Mathiak, „Die Methoden der finiten Elemente (FEM),“ [Online]. Available: http://mechanik-info.de/dokumente/Skript_FEM.pdf. [Zugriff am 24 April 2016].
- [29] Z. Raphael, TU München, [Online]. Available: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/656298/656298.pdf>. [Zugriff am 24 August 2015].
- [30] BMW 420i Spiegeldreieck, [Online]. Available: http://www.bmw.de/vc/ncc/xhtml/start/startWithConfigUrl.faces?country=DE&market=DE&productType=1&brand=BM&locale=de_DE&name=w2b2f8t3#TILTVIEW. [Zugriff am 19 August 2015].

- [31] BMW i8 Spiegeldreieck, [Online]. Available:
http://www.bmw.de/vc/ncc/xhtml/start/startWithConfigUrl.faces?country=DE&market=DE&productType=1&brand=BI&locale=de_DE&name=g6t4s8j1#TILTVIEW. [Zugriff am 19 August 2015].
- [32] BMW Bewertungsindex BI, „europe.bmw.corp,“ [Online]. Available:
\\europe.bmw.corp\WINFS\W02-data\TD-3_LK\23_Steuerungstechnik\Public\951_Stanznieten\000_Intranet\PR_110905_Grundlagen\Bewertungsindex.pdf. [Zugriff am 24 August 2015].

Sämtliche Darstellungen, Schnitte, CAD-Daten und Fotos ohne Quellenangabe sind aus dem BMW Intranet entnommen und auf der Intranetseite A2MAC zu finden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung Flush in Anlehnung an das Patent der Firma Excel Industries [4]..	14
Abbildung 2: Entwicklung von Flush bei rahmenlosen Türen [5]	15
Abbildung 3: Flush-Glas-Optik am Porsche Panamera.....	15
Abbildung 4: Verbesserung der Verschmutzungsneigung im Bereich der A-Säule durch den Einsatz einer flächenbündigen Verglasung [6].....	16
Abbildung 5: Konstruktions-Koordinatensystem in der Automobilindustrie [7].....	17
Abbildung 6: Optimale Nutzung von parametrisch assoziativen Möglichkeiten [11]	19
Abbildung 7: Kostenfestlegung und Änderungskosten im Produktlebenszyklus [16].....	20
Abbildung 8: Bauteilidealisierung im CAD-System [19].....	22
Abbildung 9: Position der Fensterführungsdichtung 523i.....	25
Abbildung 10: CAD-Schnitt der Fensterführung des BMW G20	25
Abbildung 11: Bemaßter Schnitt der Fensterführungsdichtung (BMW G20)	25
Abbildung 12: Türhauptdichtung am F10.....	26
Abbildung 13: CAD-Schnitt der Türhauptdichtung des G20	27
Abbildung 14: Türhauptdichtung mit Abmessungen, im unverpressten Zustand.....	27
Abbildung 15: Kantenschutz am 5er BMW	27
Abbildung 16: Kantenschutzprofil im nicht deformierten Zustand CAD	28
Abbildung 17: Kantenschutz mit Abmessungen im unverpressten Zustand	28
Abbildung 18: Außenansicht Hecktür Audi A7	29
Abbildung 19: Außenansicht Hecktür eines 5er BMW	30
Abbildung 20: Innenansicht einer Hecktür eines 5er BMW	31
Abbildung 21: Innenansicht einer Hecktür eines Audi A7.....	31
Abbildung 22: BMW mit rahmengeführten Türen B-Säulen Bereich.....	32
Abbildung 23: BMW 430i Gran Coupé mit rahmenlosen Türen B-Säulen Bereich [22]	32
Abbildung 24: Porsche Panamera S e-Hybrid [24].....	35
Abbildung 25: Fensterscheibe vorne mit Führungselementen	35
Abbildung 26: Türe vorne mit Fensterheber und Führungssystem.....	36
Abbildung 27: Hauptdichtungslippe mit U-Kanal	37
Abbildung 28: Ausgebauter U-Kanal.....	37
Abbildung 29: Türe Porsche Panamera mit Türhauptdichtung.....	37
Abbildung 30: Kantenschutz Porsche Panamera.....	38
Abbildung 31: Position des Schnittes P-P [25].....	38
Abbildung 32: Schnitt durch die komplette linke Seite beim Porsche Panamera [6].....	39
Abbildung 33: Vergrößerter Ausschnitt B-Säule Porsche Panamera [6]	39
Abbildung 34: Flush-Glass-Optik beim Audi A7	40
Abbildung 35: Flush-Glass-Optik beim BMW M6.....	40

Abbildung 36: BMW 340i [27]	42
Abbildung 37: Komponentenbezeichnung des F30 [27].....	43
Abbildung 38: CAD-Modell G20 Tür- und Einstiegssystem Fahrerseite	44
Abbildung 39: Montagereihenfolge Vordertür G20.....	45
Abbildung 40: Montagereihenfolge Hintertür G20	46
Abbildung 41: Positionierung und Anzahl der Schnitte	47
Abbildung 42: Schnitte im Bereich des Spiegeldreiecks	47
Abbildung 43: Schnitt A-A (Ansicht von oben)	49
Abbildung 44: Schnitt B-B (Ansicht von oben)	50
Abbildung 45: Schnitt C-C (Ansicht von hinten)	51
Abbildung 46: Schnitt D-D (Ansicht von hinten)	52
Abbildung 47: Schnitt E-E (Ansicht von oben)	53
Abbildung 48: Schnitt F-F (Ansicht von oben).....	54
Abbildung 49: Schnitt G-G (Ansicht von hinten).....	55
Abbildung 50: Schnitt H-H (Ansicht von vorne).....	56
Abbildung 51: Schnitt I-I (Ansicht von oben)	57
Abbildung 52: Schnitt J-J (Ansicht von oben)	58
Abbildung 53: Schnitt K-K (Ansicht von hinten)	59
Abbildung 54: Schnitt SP-SP (Ansicht von oben).....	60
Abbildung 55: Versatz Schnitt B-B.....	61
Abbildung 56: Versatz Schnitt E-E.....	62
Abbildung 57: Versatz Schnitt F-F	62
Abbildung 58: Versatz Schnitt I-I	62
Abbildung 59: Versatz Schnitt D-D	63
Abbildung 60: Versatz Schnitt H-H	63
Abbildung 61: Versatz Schnitt K-K.....	63
Abbildung 62: Flush-Variante: Seitenscheibe nach außen versetzt	68
Abbildung 63: Flush-Variante: Blende nach innen versetzt.....	69
Abbildung 64: Ausgangssituation B-Säule Tür vorne.....	72
Abbildung 65: Entwurf 1 B-Säule Tür vorne.....	73
Abbildung 66: Entwurf 2 B-Säule Tür vorne.....	74
Abbildung 67: Gegenüberstellung beider Entwürfe an der B-Säule Tür vorne	75
Abbildung 68: Beispiel einer Vernetzung mit Dreiecks- und Viereckselementen [28].....	77
Abbildung 69: Vernetzung des Dichtungsprofils in CATIA V5	78
Abbildung 70: Materialauswahl.....	79
Abbildung 71: Definition der einzelnen Komponenten	79
Abbildung 72: Einspannstelle für die FEM-Berechnung.....	80
Abbildung 73: Einbau-Timetable Blende innen	80

Abbildung 74: B-Säulen Schnitt für die 1. FEM-Analyse	84
Abbildung 75: B-Säulen Schnitt für die 1. FEM-Analyse (größere Darstellung).....	84
Abbildung 76: FEM-Analyse 1 KO-Lage	85
Abbildung 77: B-Säulen Schnitt für die 2. FEM-Analyse	87
Abbildung 78: B-Säulen Schnitt für die 2. FEM (größere Darstellung)	87
Abbildung 79: FEM-Analyse 2 KO-Lage	88
Abbildung 80: B-Säulen Schnitt für die 3. FEM.....	89
Abbildung 81: B-Säulen Schnitt für die 3. FEM (größere Darstellung)	89
Abbildung 82: FEM-Analyse 3 KO-Lage	90
Abbildung 83: FEM-Analyse 3 x+1,5mm Toleranz.....	90
Abbildung 84: FEM-Analyse 3 x-1,5mm Toleranz.....	91
Abbildung 85: FEM-Analyse 3 y+1,5mm Toleranz.....	92
Abbildung 86: Schnitt für die 4. FEM	94
Abbildung 87: FEM-Analyse 4 KO-Lage	94
Abbildung 88: FEM-Analyse 4 x+1,5mm Toleranz.....	95
Abbildung 89: FEM-Analyse 4 x-1,5mm Toleranz.....	96
Abbildung 90: FEM-Analyse 4 y+1,5mm Toleranz.....	97
Abbildung 91: Ausgangssituation B-Säule Tür hinten	99
Abbildung 92: Entwurf B-Säule Tür hinten.....	100
Abbildung 93: BI-Tabelle [29]	101
Abbildung 94: BMW 420i Sichtbereich durch Spiegeldreieck eingeschränkt [30].....	102
Abbildung 95: BMW i8 Spiegel auf Karosserie, geringere Sichtfeldeinschränkung [31]	102
Abbildung 96: Ausgangssituation A-Säule (Spiegelkappe ausgeblendet)	103
Abbildung 97: Ausgangssituation Fensterführungssteg	104
Abbildung 98: Entwurf Fensterführungssteg	104
Abbildung 99: Vorschlag für den neuen Schnitt an der BS	106
Abbildung 100: Vorschlag Schnitt BS Positionsänderung des Schnittes in z-Richtung	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung Rahmenlos vs. Rahmen.....	33
Tabelle 2: Bezeichnung der Schnitte	48
Tabelle 3: Messung des Versatzes in y-Richtung	64
Tabelle 4: Anforderungsliste	65
Tabelle 5: Vor- und Nachteile Entwurf 1	73
Tabelle 6: Vor- und Nachteile Entwurf 2	74
Tabelle 7: Bewertung der Entwürfe nach Anforderungsprofil	75
Tabelle 8: Toleranzauslegung Seitenscheibe zu Dichtung in y-Richtung	82
Tabelle 9: Toleranzauslegung Blende zu Blende in x-Richtung	83
Tabelle 10: Wirkende Kräfte der 3. FEM-Berechnung	93
Tabelle 11: Wirkende Kräfte der 4. FEM-Berechnung	98

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Kräftebelastung der 1. FEM-Analyse.....	86
Diagramm 2 Kräftebelastung der 2. FEM-Analyse.....	88
Diagramm 3: Kräftebelastung der 3. FEM-Analyse in x+1,5mm Toleranz.....	91
Diagramm 4: Kräftebelastung der 3. FEM-Analyse in x-1,5mm Toleranz.....	92
Diagramm 5: Kräftebelastung der 3. FEM-Analyse in y+1,5mm Toleranz.....	93
Diagramm 6: Kräftebelastung der 4. FEM-Analyse in x+1,5mm Toleranz.....	95
Diagramm 7: Kräftebelastung der 4. FEM-Analyse in x-1,5mm Toleranz.....	96
Diagramm 8: Kräftebelastung der 4. FEM-Analyse in y+1,5mm Toleranz.....	97

A. Anhang

A1. Allgemeines

Die Bachelorarbeit „Entwicklung einer flächenbündigen Festverglasung (Flush-Glazing-Optik) im C-Säulen-Bereich verschiedener BMW-Modelle“ von Herrn Jan Hecker (Verweis von Seite 14) liegt bei BMW in München (Abteilung EK-413 - Ansprechperson: Holz Andreas) auf.

Die Anhänge A2 und A3 wurden von Herrn Dirk Nelleßen zur Verfügung gestellt und liegen bei Magna in Graz in der Abteilung Dichtungen, Türen/Dachsysteme auf.

Die Anhänge A4 und A5 (Verweis von Kapitel 4.3.3) wurden von Herrn Semperowitsch zur Verfügung gestellt. Weitere Daten zu diesen Themen liegen bei BMW in München (Abteilung EK-410) auf.

Der Anhang A6 (Verweis von Kapitel 5.3) wurde von Herrn Dirk Nelleßen zur Verfügung gestellt und liegt bei Magna in Graz in der Abteilung Dichtungen, Türen/Dachsysteme auf.

Alle Dokumente die im Anhang kurz beschrieben werden, werden in erweiterter, elektronischer Form an die Firma BMW in München (Abteilung EK-413, Ansprechperson: Holz Andreas) und an die Firma Magna in Graz (Ansprechperson: Dirk Nelleßen) weitergegeben.

A2. Fotomontage Ford Mondeo

Die beiden Bilder zeigen einen Ford Mondeo (Baujahr 2015), wobei das obere der beiden Bilder das originale Fahrzeug und das untere Bild eine Fotomontage - die zeigen soll wie Flush-Glass auf das Fahrzeug wirkt - darstellt.

IST-Stand Ford Mondeo:



Ford Mondeo mit Flush-Glass:



A3. Fotomontage Mini Cooper

Die beiden Bilder zeigen einen Mini Cooper, wobei das obere der beiden Bilder das originale Fahrzeug und das untere Bild eine Fotomontage - die zeigen soll wie Flush-Glass auf das Fahrzeug wirkt - darstellt.

IST-Stand Mini Cooper:



Mini Cooper mit Flush-Glass:



A4. Kostenabschätzung für „G24 Rahmen“ auf Basis Kostenvergleich F30 zu F34

Die folgende Tabelle zeigt eine genauere Aufstellung der Kostendifferenz zwischen rahmenlosen und rahmengeführten Türen.

			Rahmen		Rahmenlos	
			hk	Inv	hk	Inv
Kauf	TV	Dichtungen	29	1.400	46	1.050
		FH	29	900	40	1.000
		Blenden	7	600	0	0
		Abdeckung FR	7	430	3	150
	TH	Dichtungen	29	1.300	38	1.000
		FH	21	500	40	1.000
		Blenden	11	600	0	0
		Abdeckung FR	6	450	0	0
	Seitenrahmen	Blende B-Säule	0	0	21	600
		Dichtg Leiste SR	0	0	5	100
Summe			135	6.180	193	4.900

Delta Kauf (Mehrkosten rahmenlos) **58 -1.280**

Haus (Delta)	TV und TH	TU			-30	-1.800
		TKB			0	0
		TOF			0	0
		Montage			37	0

Delta Haus (Mehrkosten rahmenlos) **7 -1800**

Delta GESAMT (Mehrkosten rahmenlos)					65	-3.080
--	--	--	--	--	-----------	---------------

Prämisse: hinten KEINE feststehende Scheibe !!!

Diese Tabelle liegt in Form einer PowerPoint Präsentation bei Herrn Semperowitsch (BMW in München, Abteilung EK-410) auf.

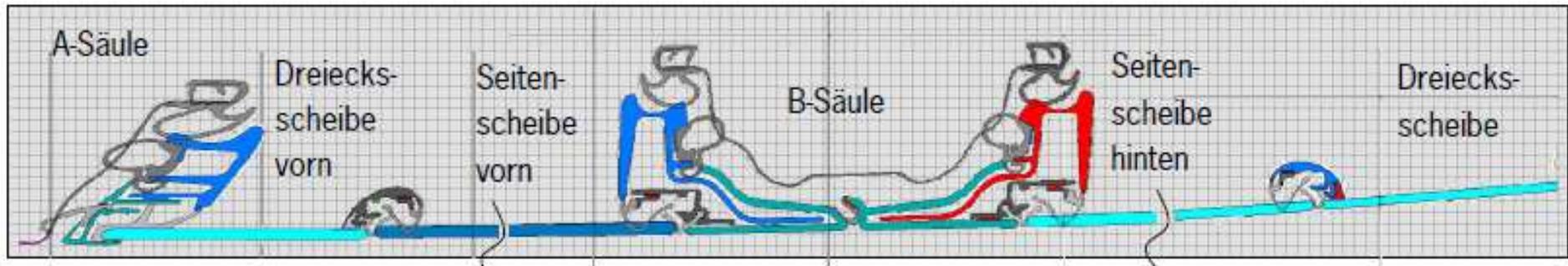
A5. Gewichtsbetrachtung F30 zu F34

Die folgende Tabelle zeigt eine genauere Aufstellung der Gewichtsdivergenz zwischen rahmenlosen und rahmengenführten Türen. Dabei sind alle Gewichtsangaben in Gramm gegeben.

F34 (TAH 0,852m ²)		F30 (TAH 0,75m ²)	
Sachnummer	Gewicht [g]	Sachnummer	Gewicht [g]
7291273 LI TUERAUSSENHAUT VORNE	5001	7259221 LI TUERAUSSENHAUT VORN*	5020
7291275 LI TUERINNENBLECH VORNE	5696	7259225 LI TUERINNENBLECH VORN*	6555
7291283 LI SEITENAUFPRALLSCHUTZ T.V.	1480	7259249 ZB LI SEITENAUFPRALLSCHUTZ T.V.	1516
7291291 LI TUERVERSTAERKUNG OBEN T.V.	695	7259229 LI SCHLISSBLECH TUER VORN	1460
7291281 LI VERSTAERKUNGSCHIENE TUERA. T.V.	1542	7259241 LI VERSTAERKUNGSSCHIENE TUERA.T.V.	578
7291277 LI VERSTAERKUNG TUERINNENBLECH VORNE	1245	7259253 LI VERST.SPIEGELDREIECK	70
7291279 LI FENSTERFUEHRUNGSSCHIENE T.V.	306	7259233 LI FENSTERFUEHRUNGSSCHIENE	237
7291293 LI HALTER FH B-SCHIENE T.V.	55		
7263665 LI VERSTAERKG.STREBE SCHARN.OBEN TUER VO	99	7263665 LI VERSTAERKG.STREBE SCHARN.OBEN TUER VO	99
7314571 LI VERST.SCHARNIER OBEN T.V.	113	7259235 LI VERST.SCHARNIER T.V.	121
7291289 LI VERSTAERKG. STREBE SCHARN. UNTEN T.V.	182	7263675 LI VERSTAERKG.STREBE SCHARN.UNT. TUER VO	175
7314573 LI VERST.SCHARNIER UNTEN T.V.	123	7259235 LI VERST.SCHARNIER T.V.	121
7291285 LI VERST. TUERBREMSE T.V.	301	7259251 LI VERST.TUERBREMSE T.V.	380
Summe AE1 (ohne Scharniere und Standardteile)	16838	Summe AE1 (ohne Scharniere und Standardteile)	16332
7165581 ZB LI FENSTERHEBER ELEKTR. TUER VORN (E82)	2600	7067795 ZB LI FENSTERHEBER ELEKTR. T.V. (E87)	1796
Summe AE2 (Scheibe gewichtsneutral; nur FH)	2600	Summe AE2 (Scheibe gewichtsneutral; nur FH)	1796
Umfang 2. Dichtebene (in der Summe nicht berücks.)	164	Umfang 2. Dichtebene (in der Summe nicht berücks.)	391
Umfang Fensterführung + Spiegel	1148	Umfang Fensterführung + Spiegel	713
Umfang Schachtabdeckung (Formecken)	518	Umfang Schachtabdeckung	340
Umfang Blende BS	198	Umfang Blende BS	206
Summe AE3	1864	Summe AE3	1259
Gesamtgewicht AE nur li vo	21302		19387
Umfang Verstärkung BS	13256	Umfang Verstärkung BS	8824
Gesamtgewicht AB nur li	13256	Gesamtgewicht AB	8824
Gewichtsdelta rahmenlos/Rahmen (4-Türer)	16523		
* auf die Größe der F34-Tür skaliert			

Diese Tabelle liegt in Form einer PowerPoint Präsentation bei Herrn Semperowitsch (BMW in München, Abteilung EK-410) auf.

A6. Schnitt Porsche Panamera



Dieser Schnitt wurde von der Firma Porsche AG auf der Sealing Technology Conference am 9. Juni 2011 zur Verfügung gestellt. Ein Dokument mit weiter Details zu diesem Thema liegt bei der Magna Steyr Fahrzeugtechnik in Graz (Ansprechpartner Dirk Nelleßen) auf.