



Martin Vasold, BSc

Entwicklung einer wissensbasierten Methodik zur Prüfung von Class-A Daten in der Fahrzeugentwicklung

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing. Severin Stadler

Institut für Fahrzeugtechnik
Member of Frank Stronach Institute

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Ganz besonderer Dank gilt hierbei meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Severin Stadler für die hervorragende Betreuung dieser Arbeit, der sich immer Zeit genommen hat, bei entsprechenden Fragen mit hilfreichen Tipps und Anregungen diese Arbeit zu unterstützen. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Ass.Prof. Univ.-Doz. Dr. Mario Hirz bedanken, der sich für die Beurteilung meiner Masterarbeit zur Verfügung gestellt hat.

Mein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern des Instituts für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Graz, allen voran Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Fischer, für das stets angenehme Arbeitsklima während der Erstellung dieser Arbeit, sowie allen meinen Studienkollegen mit denen ich in meiner Studienzeit auf die eine oder andere Weise zusammengearbeitet habe.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei meiner Familie, im Besonderen bei meinen Eltern Helene und Josef Vasold, die mir das Studium ermöglicht haben und mich im Verlauf meines Studiums immer unterstützt haben.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

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. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

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 indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Kurzfassung

Die Oberflächenkonstruktion ist ein Bestandteil der frühen Phase des Entwicklungsprozesses von Fahrzeugen und nimmt im Zusammenspiel mit anderen Arbeitsbereichen aus Design und Technik eine entscheidende Rolle in diesem Prozess ein. Die stetig steigenden Anforderungen bezüglich der Durchlaufzeiten, der Qualität bzw. dem strukturellen Aufbau der Daten, sowie der erforderlichen Meta-Information der einzelnen Strak-Elemente, stellen die Oberflächenkonstruktion neben den Erfordernissen aus der Design-Technik-Konvergenz vor große Herausforderungen. Wobei die Oberflächenkonstruktion in dieser Design-Technik-Konvergenz das Bindeglied zwischen Design und Technik darstellt. Der Oberflächenkonstrukteur („Straker“) nimmt dazu die vom Design zur Verfügung gestellten Daten, z.B. Punktwolken aus Abtastungen, und bereitet diese für die Nachfolgeprozesse wie Bauteilkonstruktion, Simulation und Fertigung entsprechend in fertigungsgerechte, ästhetische und qualitativ hochwertige Flächendaten auf. Hierbei hat der Straker eine Vielzahl verschiedener Einflussfaktoren und Anforderungen, hinsichtlich Qualität, Design, Funktion, Sicherheit, etc., aus den unterschiedlichen Disziplinen in seine Arbeit miteinzubeziehen.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird hierfür eine wissensbasierte Methodik entwickelt, die eine gezielte Prüfung dieser Fahrzeug-Strakdaten hinsichtlich dieser allgemeinen und speziellen Anforderungen ermöglicht und somit qualitativ hochwertige Strakdaten für die Folgeprozesse zur Verfügung stellt. Hierfür werden ausgehend von diesen Anforderungen verschiedene externe Prüfwerkzeuge, wie z.B. der Q-Checker® für CATIA V5®, sowie interne Funktionen in CATIA V5® bzw. ICEM Surf® untersucht, und diese entsprechend der möglichen Optionen zur Prüfung von Strakdaten ausgewählt. Auf Basis dieser Selektion wird nachfolgend eine geeignete Prüfkonfiguration für die verschiedenen Reifegrade (C-CLASS A, B-CLASS A, A-CLASS A) im Fahrzeugentwicklungsprozess erarbeitet. Für eine übersichtliche und nachvollziehbare Prüfung der Strakdaten in CAD, sowie die gezielte Ablage der einzelnen geometrischen Elemente in CATIA V5®, wird im Weiteren eine prinzipielle Master-Struktur der Daten festgelegt, womit für alle Strak-Elemente eine durchgehend konsistente Strukturierung der Daten über den kompletten Freigabeprozess erreicht wird.

Diese wissensbasierte Methodik wird aufgrund des Zieles eines effizienten Freigabe- und Prüfprozesses der CAD-Daten schlussendlich in eine teilautomatisierte Software-Applikation mit gekoppelter Datenbank umgesetzt. Durch diese Umsetzung der Methodik in eine Software-Applikation, sowie die automatische Prüfung der Daten mit Hilfe der Software Q-Checker® sowie interner CATIA V5®-Funktionen, kann eine wesentliche Zeitersparnis im Prozess realisiert werden. Die gekoppelte Datenbank erlaubt hierbei eine gezielte Ablage der verschiedenen CAx-Dokumente mit den entsprechenden Prüfergebnissen, sowie aller erforderlichen Metadaten. Durch die Kombination der Software-Applikation mit dieser Datenbank kann der Freigabe- bzw. Prüfprozess von Strakdaten somit wesentlich effektiver und effizienter gestaltet werden.

Abstract

Class-A surfacing is part of the early phase in the development process of vehicles and it takes a crucial role in interaction with styling and engineering in this process. The increasing requirements regarding processing time, quality, structure and metadata of the individual elements pose a major challenge in addition to the requirements of the styling-engineering-convergence. In this styling-engineering-convergence Class-A surfacing represents the link between styling and engineering. The surface designer takes the provided data, for example point clouds of scans, and prepares it for downstream processes such as engineering, simulation and manufacturing into production-oriented and aesthetic Class-A surfaces. For this, the surface designer has to involve a variety of factors and requirements concerning quality, styling, function, safety etc. in his work.

In the cause of this master thesis a knowledge-based method is developed, which enables a specific check of Class-A surface data concerning these general and specific requirements and the provision of data with high quality for downstream processes. For this purpose different external tools, such as the Q-Checker® tool for CATIA V5®, as well as internal functions in CATIA V5® are investigated and selected according to their possible check options for Class-A surface data. Based on this selection, an appropriate check configuration for the different levels of maturity (C-CLASS A, B-CLASS A and A-CLASS A) is developed. For a clear and comprehensible check of CLASS-A surfaces, as well as a specific storage of all individual geometric elements in CATIA V5® a fundamental master-structure is defined. Using this master-structure a continuously and consistent structuring of data can be achieved during the whole release process.

Finally, this knowledge-based method is implemented in a semi-automated CAD-based software-application with linked database, due to the aim of an efficient release and check process. In this database, all CAx-documents, as well as their related check results and necessary metadata for downstream processes are stored. In combination with this database the implementation in a software-application with automatic data check, using the Q-Checker® software and internal CATIA V5® functions, an essential time saving can be realised which makes the release process more effective and efficient.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Entwicklungsprozess der Fahrzeugaußenhaut	1
1.1.1	Konzeptphase	2
1.1.2	Serienentwicklung	3
1.1.3	Design	4
1.1.4	Oberflächenkonstruktion (Strak)	5
1.1.5	Technische Entwicklung	6
1.2	Problembeschreibung	8
1.2.1	Strukturierung der Strak-Daten	10
1.2.2	Qualität des Straks	12
1.2.3	Meta-Informationen im Strak	12
1.3	Zielsetzung	13
1.4	Gliederung der Arbeit	13
2	Grundlagen	15
2.1	Begriffsdefinitionen	15
2.2	Geometrische Elemente	15
2.2.1	Kurven (Curves)	16
2.2.2	Trägerflächen (Surfaces)	16
2.2.3	Begrenzte Flächen (Bounded/ Trimmed Surfaces, Faces)	16
2.2.4	Topologie (Shell)	17
2.2.5	Segmentgrenzen bzw. Face-/Patchgrenzen	17
2.2.6	Berandungskurven (Edges):	18
2.2.7	Berandungskurvenzüge (Edge Loops)	18
2.3	Kurvendarstellung in CAx-Systemen	18
2.3.1	Bézier- Kurven	18
2.3.2	B-Spline-Kurven (Basis-Spline-Kurve)	19
2.3.3	NURBS-Kurven (Non Uniform Rational B-Spline-Kurven)	20
2.3.4	Kurventypen in der Strakerstellung	21
2.4	Flächendarstellung in CAx-Systemen	21
2.4.1	Bézier-Flächen	22
2.4.2	B-Spline-Flächen (Basis-Spline-Flächen)	22
2.4.3	NURBS-Flächen (Non Uniform Rational B-Spline-Flächen)	23
2.5	Oberflächenkonstruktion-Strak	24
2.5.1	Definition	24
2.5.2	Erstellung eines modernen Straks	25
2.6	Qualitätskriterien in der Konstruktion von Oberflächen	26
2.6.1	Punktstetigkeit/ Lagestetigkeit (G0-Stetigkeit)	26
2.6.2	Tangentenstetigkeit (G1-Stetigkeit)	27
2.6.3	Krümmungsstetigkeit (G2-Stetigkeit)	27
2.6.4	Krümmungsänderungsstetigkeit/ Torsionsstetigkeit (G3-Stetigkeit)	28
2.6.5	Zusammenhang der Stetigkeitstypen zum Reflexionsverhalten	28
2.7	Qualitätsklassen von CAD-Daten in der Automobilentwicklung	29
2.7.1	Class C	29
2.7.2	Class B	30
2.7.3	Class A	30

2.8	Wissensbasierte Konstruktion (Knowledge-Based Engineering)	31
3	Prüfung von CAD-Daten	34
3.1	Anforderungen an Strak-Daten	34
3.2	Mögliche Prüfwerkzeuge für Strakdaten.....	41
3.2.1	Externe Prüfwerkzeuge bzw. Prüfprogramme.....	42
3.2.2	Interne Prüfwerkzeuge in CATIA V5®.....	46
3.2.3	Interne Prüfwerkzeuge in ICEM Surf®	57
3.3	Auswahl geeigneter Prüfwerkzeuge	64
3.3.1	Allgemeine Anforderungen an Strakdaten.....	66
3.3.1.1	Interaktive Flächenverbände.....	66
3.3.1.2	Offsettbarkeit.....	66
3.3.1.3	Weitere allgemeine Anforderungen an Strak-Daten	67
3.3.2	Spezielle Anforderungen an Strakdaten.....	69
3.3.2.1	Identische begrenzte Fläche bzw. Flächen-Features	69
3.3.2.2	Offener oder überlappender Flächenverband	70
3.3.2.3	Krümmungs-, Tangenten- bzw. Lageunstetige begrenzte Flächen bzw. Flächensegmente	70
3.3.2.4	Minielemente in begrenzten Flächen bzw. Berandungskurven und Berandungskurvenzügen.....	71
3.3.2.5	Welligkeit von Flächen	71
3.3.2.6	Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband.....	72
3.3.2.7	Weitere spezielle Anforderungen an Strakdaten.....	72
3.4	Entwicklung einer geeigneten Prüfkongfiguration	73
3.4.1	Ermittlung geeigneter Prüfkriterien bzw. -parameter zur Strakfreigabe.....	73
3.4.2	Ermittelte Prüfkongfiguration zur Strakfreigabe.....	76
4	Wissensbasierte Methodik zur teilautomatisierten Freigabe von Strakdaten.....	78
4.1	Freigabeprozess von Strakdaten in der Automobilentwicklung.....	78
4.2	Wissensbasierte Methodik zur Strakfreigabe in der Automobilentwicklung	81
4.3	Aufbau der entwickelten Software-Applikation	89
4.4	Funktion zur Strak-Freigabe.....	90
5	Exemplarische Anwendung der Methodik.....	96
5.1	Prüfung und Auswertung der Ausgangsgeometrie.....	96
5.2	Erste Iterationsschleife zur Anpassung der Geometrie	97
5.3	Zweite Iterationsschleife zur Anpassung der Geometrie	99
5.4	Gegenüberstellung der Prüfergebnisse der einzelnen Prüfdurchläufe.....	101
6	Schlussfolgerung und Ausblick	103
7	Zusammenfassung	105
	Literaturverzeichnis	106
	Abbildungsverzeichnis	109
	Tabellenverzeichnis	113
	Anhang.....	114

Abkürzungen

API	Application Programming Interface
DB	Datenbank
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAID	Computer Aided Industrial Design
CAS	Computer Aided Styling
CFD	Computational Fluid Dynamics
COP	Carry Over Parts
DDKM	Digitales Datenkontrollmodell
DKM	Datenkontrollmodell
FEM	Finite Elemente Methode
G0	Punkt-/ Lagestetigkeit
G1	Tangentenstetigkeit
G2	Krümmungsstetigkeit
G3	Torsionsstetigkeit
GeoSet	Geometrisches Set in CATIA V5®
KBE	Knowledge-Based Engineering
PDM	Produkt-Daten-Management
SASIG	Strategic Automotive product data Standards Industry Group
VBA	Visual Basic for Applications
VBScript	Visual Basic Script
VDA	Verband der Automobilindustrie
VR	Virtual Reality

1 Einleitung

Dieses einführende Kapitel gibt einen ersten Überblick über die Abläufe in der Aufbauentwicklung von Fahrzeugen sowie die damit verbundenen Problemstellungen. Zu Beginn soll näher auf den Entwicklungsprozess an sich eingegangen werden, sowie später auf die verschiedenen Disziplinen in dieser frühen Phase der Produktentwicklung. Eine detaillierte Problembeschreibung bildet gemeinsam mit einer kurzen Beschreibung der Gliederung dieser Arbeit den Abschluss der Einleitung.

1.1 Entwicklungsprozess der Fahrzeugaußenhaut

Die Oberflächenkonstruktion ist ein Bestandteil der frühen Phase der Entwicklung von Fahrzeugen. Im Zusammenspiel mit anderen Arbeitsbereichen aus Design und Technik nimmt sie eine entscheidende Rolle in diesem Prozess ein. Um den stetig steigenden Anforderungen hinsichtlich Qualität und Durchlaufzeiten gerecht zu werden, wird in dieser Phase der Produktentwicklung die Vorgehensweise des Simultaneous Engineering angewendet. Darunter versteht man die Überschneidung von Arbeitsabläufen, die traditionell nacheinander ablaufen, um die Entwicklungszeit eines neuen Produktes zu verkürzen und spätere, schwerwiegende Änderungen zu vermeiden. Wurden in einem Arbeitsbereich genügend Informationen bezüglich des Produktes erarbeitet, kann bereits in einem anderen Arbeitsbereich parallel mit dem nächsten Schritt im Entwicklungsprozess begonnen werden. Im Entwicklungsprozess der Fahrzeugaußenhaut ist diese Arbeitsweise vor allem durch die Design-Technik-Konvergenz und die dadurch nötigen Validierungsschleifen von großer Bedeutung. Dadurch können Fehler im Ablauf schneller erkannt und somit in einer späteren Phase der Entwicklung hohe Kosten vermieden werden. Abbildung 1.1 zeigt einen Ausschnitt aus dem Entwicklungsprozess in der Automobilentwicklung mit Fokus auf die Fahrzeugaußenhaut.

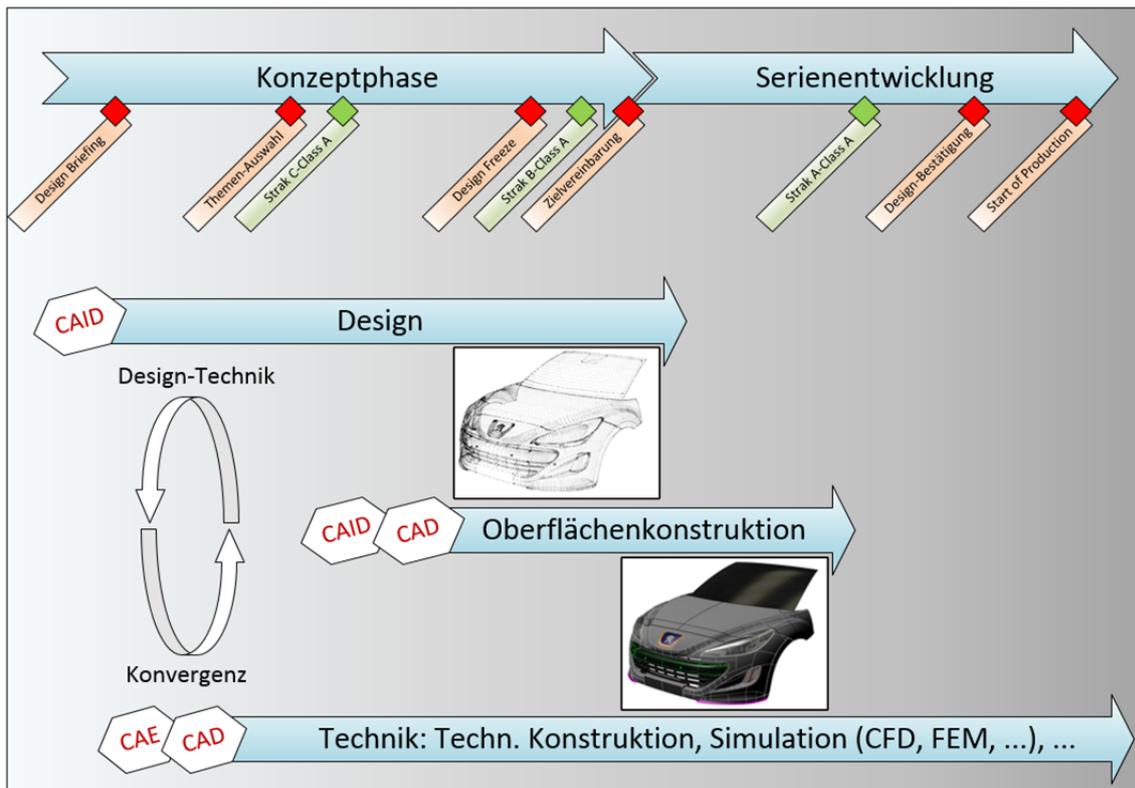


Abbildung 1.1 Design-Technik-Konvergenz im Entwicklungsprozess

1.1.1 Konzeptphase

Zu Beginn der Frühphase werden die strategischen Ziele und Anforderungen definiert. Der Leitgedanke ist hier die Erarbeitung einer ersten Zielversion für das Produkt, Ableitung des Vorleistungsbedarfs und die Formulierung erfolgsversprechender Konzeptaufträge. Die erste Zielversion wird im Team erarbeitet. Sie kennzeichnet den Produktlösungsraum und definiert Zielgruppen, die das Fahrzeug später kaufen sollen. Ebenfalls werden Produkt-, Preis- und Volumenpositionen festgelegt und alternative Konzeptaufträge, die unterschiedliche Positionierungen oder Vorgaben hinsichtlich möglicher Konfigurationen enthalten, formuliert.
[1]

Nachdem die Anforderungen an das Design des Fahrzeuges im *Design Briefing (Styling Briefing)* festgelegt wurden, kann in Computer-Aided Industrial Design-Systemen (CAID), wie ICEM Surf® [2] oder Alias® [3], mit ersten Entwürfen des Fahrzeugs begonnen werden. Abgeschlossen wird die Phase der Design-Findung mit der *Themen-Auswahl (Theme Selection)*, siehe Abbildung 1.1. Hier wird aus allen angefertigten Design-Vorschlägen jener ausgewählt der funktionell und ästhetisch die vordefinierten Anforderungen am besten erfüllt. Ab diesem Zeitpunkt wird ausschließlich an dieser gewählten Design-Studie weitergearbeitet. In dieser Phase der Konzepterstellung stellt die Design-Entwicklung der Oberflächenkonstruktion Daten in Form von Punktwolken (Abbildung 1.2, links), aus Abtastungen von Ton-Modellen, oder erste Flächen aus 3D-CAID-Systemen zur Verfügung (Abbildung 1.2, rechts). Die Oberflächenkonstruktion erstellt in iterativen Schritten aus diesen Design-Vorgaben und technischen Anforderungen die Fahrzeugaußenhaut, auch als Strak oder Class-A bezeichnet, in einem 3D-CAID-System und gibt diese Daten nach deren Aufbereitung bzw. nach Erstellung von ersten fertigungsgerechten Flächen an die technische Entwicklung, in der u.a. Packaging, die darauf basierende technische Konstruktion zu Bauteilen inkl. Simulation erfolgt, weiter. Treten bei der Konstruktion bzw. Simulation der Bauteile nun Probleme verschiedener Art auf, z.B. weist die Simulation Bereiche erhöhter Rissgefahr aus, wird eine Meldung über dieses Problem an die Oberflächenkonstruktion zurückgegeben. Die Oberflächenkonstruktion setzt sich hinsichtlich dieses Problems wiederum mit der Design-Entwicklung in Verbindung und in Zusammenarbeit aller beteiligten Disziplinen wird versucht, diesbezüglich eine in jeder Hinsicht zufriedenstellende Lösung zu erarbeiten. Abhängig von der Konstellation des jeweiligen Fahrzeugprojektes sind für die Kommunikation, Steuerung und Dokumentation zwischen Design, Technik und Strak (Oberflächenkonstruktion) eigene sogenannte Studio-Ingenieure zuständig, um eine effektive Design-Technik-Konvergenz zu erreichen.

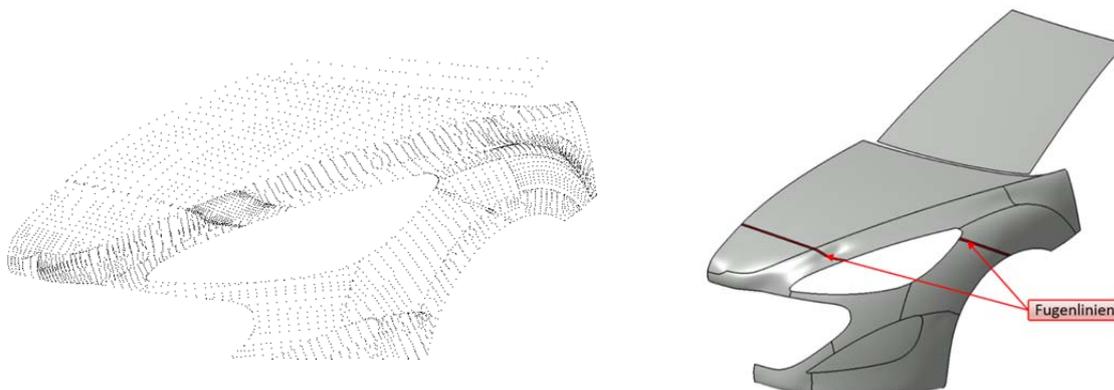


Abbildung 1.2 Punktwolke einer Abtastung (li.); erste Design-Flächen aus CAID-System (re.)

Der permanente Dialog innerhalb des Projektteams bietet die Möglichkeit, Zielkonflikte zwischen Design, Konstruktion und Fertigungstechnik bereits in einer frühen Phase des Produktentstehungsprozesses zu erkennen und aufzulösen. Daraus resultiert die so genannte Design-Technik-Konvergenz, die darauf ausgerichtet ist, eine ideale Synthese aus Form und Funktion zu erzeugen. Sie berücksichtigt alle Faktoren, die das Design, die Oberflächenkonstruktion, die Funktionalität und die Wirkung der verschiedenen Komponenten beeinflussen. Fortschritte auf einzelnen Gebieten werden durch Rückkopplung der Repräsentanten mit ihrem jeweiligen Fachbereich forciert, der permanente Austausch in der Projektgruppe gewährleistet eine harmonische Zusammenführung aller Merkmale zu einem stimmigen Gesamtkonzept. Auf diese Weise wird es möglich, die Kompetenz der Fachbereiche umfassend zu nutzen und zugleich den klar definierten Charakter des neuen Modells zum gemeinsamen Maßstab der Entwicklungsarbeit zu machen. [4]

Bei der Übergabe der Daten vom Design an die Oberflächenkonstruktion entspricht die Qualität dieser im Idealfall dem Reifegrad C-CLASS A, wobei die 3D-CAID-Daten nur die Geometrie an sich beschreiben und z.B. noch keine Fugen vorhanden sind. Praktisch betrachtet sind diese Daten noch nicht in diesem Stadium der Qualität und müssen daher wie bereits erwähnt basierend auf Punktwolken oder groben 3D-CAID Entwürfen zu diesem Qualitätsstand „gestrakt“ werden. Bevor nun mit der genaueren Detaillierung des Fahrzeuges begonnen wird, kommt es zum sogenannten *Design Freeze (Styling Freeze)*. Ab diesem Zeitpunkt steht das endgültige Konzept des Fahrzeuges und es werden keine wesentlichen Änderungen am Design mehr vorgenommen. Nach diesem Meilenstein erfolgt Schritt für Schritt eine weitere Verfeinerung der Oberflächendaten und es werden unter anderem Fugen und Abstufungen in das Modell eingearbeitet, bis der nächst höhere Reifegrad B-CLASS A erreicht wird. Durch das Erreichen dieses Reifegrades (B-CLASS A) weist der Fahrzeugstrak jenen technischen Grad auf, der die fertigungstechnische Produktionsfähigkeit aller Flächen gewährleistet und auf dessen Basis Langläuferteile zur Produktion freigegeben werden können. Wurde der Meilenstein der Zielvereinbarung (*Target Agreement*) erreicht ist die Konzeptphase bzw. Produktdefinition abgeschlossen und der Start zur Serienentwicklung kann vorgenommen werden. Zur Freigabe dieses Meilensteins müssen unter anderem ein detailliertes Produktionskonzept oder auch eine vollständige Konzept-Stückliste vorliegen.

1.1.2 Serienentwicklung

In der Serienentwicklung werden die Konzepte der „Frühen Phase“ detailliert ausgestaltet und der Serienanlauf in den Werken vorbereitet. Hierbei haben die Fachstellen der Entwicklung die Verantwortung für die Gleichteile und Eigenleistungsstrategie sowie für die Fahrzeug- und Komponentenentwicklung. [1]

Der hier beschriebene Fahrzeugentwicklungsprozess ist beispielhaft zu verstehen, da dieser im Allgemeinen von Fahrzeughersteller zu Fahrzeughersteller bzw. Projekt zu Projekt variieren kann. Aus der Literatur ([1], [5], [6]) und Gesprächen mit Entwicklungsingenieuren sowie Kollegen des Instituts für Fahrzeugtechnik der TU Graz ergibt sich der hier vereinfacht beschriebene Prozess mit dem Fokus auf die Aufbauentwicklung eines Fahrzeuges.

Zu Beginn der Projektphase werden die letzten Detaillierungen im Strak des Fahrzeuges vorgenommen, womit die Flächendaten die höchste Qualitätsstufe A-CLASS A erreichen. Für diesen Reifegrad werden z.B. die Flächenübergänge krümmungsstetig ausgeführt, um

tangentenstetige Reflexionen und somit optische Eindrücke zu erhalten. Ein Beispiel für den Strak eines Fahrzeuges des Reifegrades A-CLASS A ist in Abbildung 1.3 dargestellt.



Abbildung 1.3 Fahrzeug des Reifegrades A-CLASS A, [7]

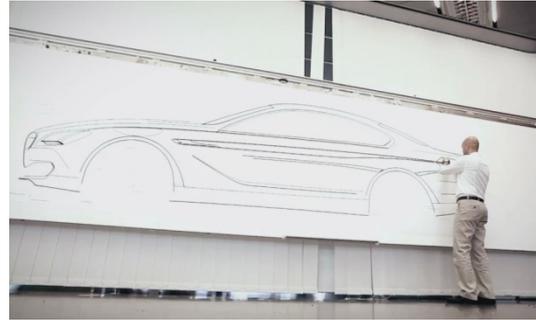
Mit dem Erreichen des Meilensteines Design-Bestätigung (*Styling Confirmation*) ist die Zielerreichbarkeit mit dem Kunden abgeschlossen und die Machbarkeit des Fahrzeuges ist bestätigt. Technische Produktdokumentationen aller Bauteile und auskonstruierte Datensätze sowie Anlagen-, Fertigungs- und Logistikkonzepte für die Fertigung müssen zur Freigabe dieses Zielpunktes vollständig vorliegen. Bevor schlussendlich mit dem Start der Serienproduktion (*Start of Production*) begonnen werden kann, müssen noch die Meilensteine *Funktionsbestätigung*, *Produktions-Test* und *Leistungstest* erarbeitet und freigegeben werden. So müssen etwa zur Funktionsbestätigung die Oberflächen-, Montage- und Fertigungskonzepte für das Fahrzeug bestätigt worden sein. Für den Meilenstein *Produktions-Test* wird das erste Fahrzeug auf der Serienanlage fertig lackiert, montiert und in Betrieb genommen. Wurde auch der Zielpunkt *Leistungstest*, in dem die Baubarkeit eines kundentauglichen Fahrzeuges unter Serienbedingungen in Serientaktzeit nachgewiesen wurde, freigegeben, kann die Produktion des Fahrzeuges in Serie gehen.

1.1.3 Design

In der Entwicklung von Automobilen findet man die Design-Entwicklung ganz zu Beginn des Entwicklungsprozesses. Ausgehend von initial definierten Zielen und Anforderungen seitens der Fahrzeugarchitektur erstellt der Designer erste Entwürfe (Abbildung 1.4, a). Durch das Anfertigen von so genannten Tapebildern wird mit Hilfe von Klebeband (Tape) das Fahrzeugdesign in seinen Proportionen, Linien und Kurvenverläufen immer weiter konkretisiert (Abbildung 1.4, b). Dieses Tapebild dient wiederum als Grundlage für spätere 3D-Modelle in CAID-Systemen bzw. für physische Modelle (Clay-Modelle) aus Ton bzw. Lehm (Abbildung 1.4, c). Diese Clay-Modelle werden anschließend meist mit einer Spezialfolie überzogen, die einer Lackierung ähnelt, wodurch eine erste realistische Beurteilung der Oberflächen, Linien und Proportionen bei verschiedenen Lichtverhältnissen ermöglicht wird. Abschließend erfolgt durch Scannen dieser Modelle eine messtechnische Erfassung der Fahrzeugoberfläche, wobei die hierbei generierten Punktwolken (Abbildung 1.4, d) wiederum eine Basis für die weitere virtuelle Design-Entwicklung oder die darauf folgende Oberflächenkonstruktion bilden können, und somit eine Weiterverarbeitung der Daten in anderen CAD- bzw. CAID-Systemen ermöglichen. [4]



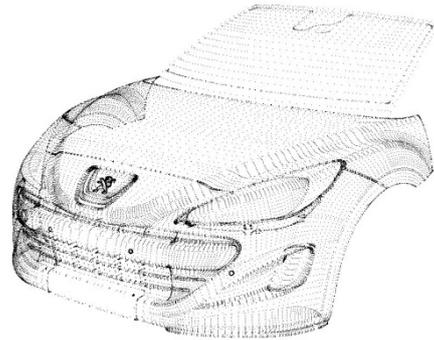
a) Skizze, [8]



b) Tapebild, [8]



c) Modell aus Ton (Clay-Modell), [8]



d) Scan eines Vorderwagens

Abbildung 1.4 Arbeitsschritte im Fahrzeugdesign

1.1.4 Oberflächenkonstruktion (Strak)

Die Disziplin der Oberflächenkonstruktion, kurz auch Strak-Disziplin genannt, nimmt die von der Design-Entwicklung zur Verfügung gestellten CAID-Daten oder digitalen Abtastungen (Punktwolken) und bereitet diese in fertigungsgerechte, ästhetische und qualitativ hochwertige Flächendaten für Nachfolgeprozesse wie Bauteilkonstruktion, Simulation und Fertigung auf. Der Oberflächenkonstrukteur („Straker“) dient dabei als Bindeglied zwischen Design und Technik, und stellt die Basis für die bereits zuvor erwähnte Design-Technik-Konvergenz im Prozess dar. Hierbei hat der Straker eine große Anzahl verschiedener Einflussfaktoren, wie z.B. Package, Sicherheit, Herstellbarkeit, etc. zu berücksichtigen.

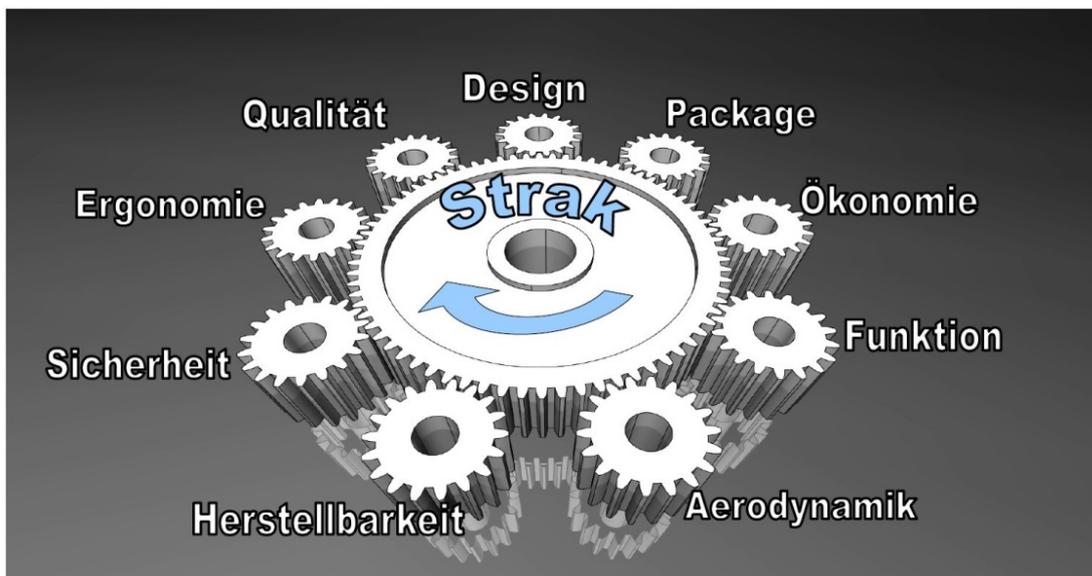


Abbildung 1.5 Einflussfaktoren in der Entwicklung eines Fahrzeug-Straks, [9]

Wie die Grafik (Abbildung 1.5) sinnbildlich darstellt, verzahnen sich divergente Entwicklungsbereiche bei der Oberflächenerstellung. Kernelement der Strakarbeit ist es, die vielfältigen Anforderungen zu synchronisieren und bei der Oberflächenfindung zu berücksichtigen. In dieser Prozessphase ist der Strakspezialist mehr Mediator und Koordinator als Entwickler. [9]

Das Package eines Fahrzeuges dient als Grundlage für dessen Entwicklung, denn das Gesamtfahrzeug-Package gibt die Fahrzeugabmessungen und Bauräume vor, die vom Straker eingehalten werden müssen. Die Ökonomie verfolgt das Ziel, Kosten im Entwicklungsprozess zu sparen, jedoch wird hier nicht ausschließlich versucht z.B. niedrige Stundensätze auszuhandeln, sondern auch die baureihenübergreifende Verwendung von Gleichteilen angestrebt, die folglich in den neu entstehenden Strak einzuarbeiten sind. Abbildung 1.6 zeigt eine solche Anwendung von Gleichteilen. In allen 3 Modellen (Porsche Boxster, Cayman und 911) wurde der identische Türrohbau verwendet und der Strak vor und hinter der Tür entsprechend angepasst. Die Anforderungen bezüglich Herstellbarkeit berücksichtigten nicht nur die Einhaltung der minimal erlaubten Biegeradien oder der gesetzlich festgelegten Mindestradien an einem Bauteil, sondern es müssen bereits bei der Erstellung der Oberflächen Entformungsrichtungen, Entformungsschrägen oder mögliche Narbungen im Strak an sich bedacht werden. Die bereits erwähnte Einhaltung der gesetzlichen Forderungen hinsichtlich der Mindestradien muss in der Entwicklung des Straks unter dem Aspekt der Sicherheit ausnahmslos beachtet werden. So bedarf es einer kontinuierlichen Überprüfung der Radien aus den Design-Vorgaben und gegebenenfalls einer Anpassung dieser Radien gemäß dieser gesetzlichen Vorgaben. Die Ergonomie beschäftigt sich z.B. mit der Bedienung des Fahrzeuges, so müssen alle Schalter und Anzeigen leicht erreichbar bzw. einsehbar sein, womit die Einhaltung ergonomischer Gesichtspunkte von fundamentaler Bedeutung für die Sicherheit des Fahrzeuges ist.



Abbildung 1.6 Gleichteilerverwendung: identer Türrohbau in Porsche Boxster, Cayman und 911, [9]

1.1.5 Technische Entwicklung

Mit Hilfe der Strak-Daten aus der Oberflächenkonstruktion können die technischen Disziplinen, wie Konstruktion und Simulation, wiederum die weiteren Arbeitsschritte

durchführen. Der Bauteilkonstruktion dienen die Oberflächendaten als Vorgabe bzw. als Randbedingung, um daraus die Bauteilgeometrie zur Außenhaut (Exterieur oder Interieur) zu begrenzen. Des Weiteren fügt die Bauteilkonstruktion den Strak-Daten Wandstärken bzw. Volumen hinzu und verarbeitet die vom Straker erstellten Abstellungsflächen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass der Bauteilkonstrukteur keine Änderungen an den Strak-Daten vollziehen darf, lediglich die Abststellungen dürfen verändert werden (z.B. zur Bördelkonstruktion). Diese Änderungen werden im Weiteren wieder an die Oberflächenkonstruktion übergeben, damit diese die neu definierten Abststellungen einarbeiten kann. Neben der Bauteilkonstruktion kann die Simulation aufbauend auf den Bauteilkonstruktionsdaten oder direkt auf den Strak-Daten (je nach Entwicklungsfortschritt) ihre Berechnungsmodelle erstellen. Am Beginn des Entwicklungsprozesses stehen der Technik jedoch noch keine detaillierten Konzeptdaten und Ausarbeitungen für deren Berechnungen, wie Fahrkomfort oder Verbrauch, zur Verfügung, womit keine Auslegung mit exakten Konstruktionsdaten möglich ist. Je nach Simulationsdisziplin werden auch direkt vom Design erstellte Flächen mit geringer Qualität übernommen, welche jedoch erhöhten Pre-Processing Aufwand für die Simulation mit sich bringen.

Abhilfe bietet entweder die Nutzung angepasster Vorgängermodelle oder die Erstellung spezifischer Konzeptmodelle mittels parametrischer Konzepttools. Solche Werkzeuge erlauben es das modulare Fahrzeugkonzept durch wenige (Größenordnung 1000) Parameter zu beschreiben. Jeder dieser Parameter kann interaktiv geändert werden. Die geänderte Konstruktion wird automatisch in den durch diese Veränderung beeinflussten Nachbarbereichen der Geometrie angepasst. So lässt sich zum Beispiel die komplette B-Säule innerhalb weniger Minuten um 5 cm nach hinten verschieben; ein Prozess der im konventionellen CAD-Ansatz mehrere Tage in Anspruch nehmen würde. [5], [10]

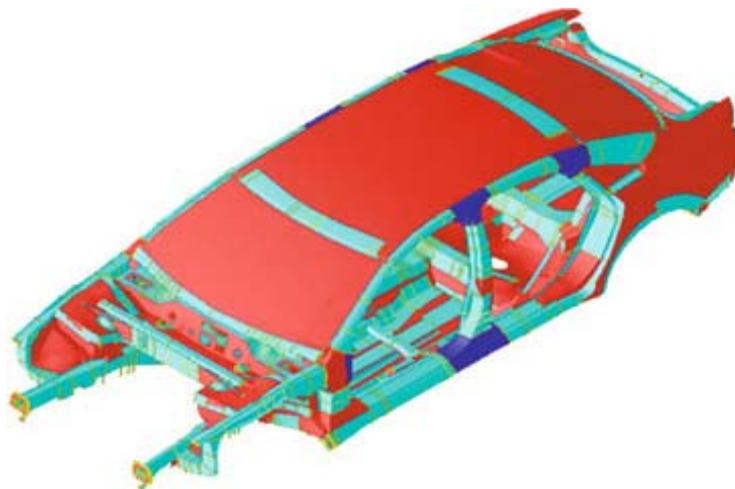


Abbildung 1.7 Beispiel eines parametrisierten Karosserie-Modells, [5]

Die Simulation kann anhand dieser Modelle und Flächendaten (Schnellstrak = Pre-C-Class A) nun erste Simulationen beispielsweise hinsichtlich Aerodynamik, Akustik oder auch Fußgängerschutz durchführen. Die Ergebnisse der Simulation gehen nun ebenso wieder in die Oberflächenkonstruktion zurück und werden von dieser nötigenfalls in den Strak eingearbeitet. Periodisch werden die überarbeiteten Strakflächen anschließend wieder an die Technik übermittelt um die technische Bauteilkonstruktion zu aktualisieren. Außenhautabhängige Bauteile werden direkt aus diesen Strakflächen konstruiert, indirekt abhängige Teile mit sogenannten abgewandelten Strakdaten. [1]

1.2 Problembeschreibung

Die stetig steigenden Anforderungen der Automobilindustrie an die Qualität von CAD-Daten und der Wunsch nach kurzen Durchlaufzeiten (Kosten) erfordern eine rasche und vor allem zuverlässige Prüfung dieser Daten. Die enorme Komplexität heutiger Fahrzeuge, mit hunderten verschiedenen Bauteilen, erschweren es dem Menschen zusätzlich qualitativ hochwertige Flächendaten zur Verfügung zu stellen. Nur durch gezielte Arbeitsweisen und die Einhaltung vorgeschriebener Arbeitsrichtlinien ist es möglich, Strakdaten in zufriedenstellender Qualität bereitzustellen. Aufgrund der begrenzten Prüfmöglichkeiten in CAID-Systemen beschränken sich die Qualitätsprüfungen im heutigen Entwicklungsprozess großteils auf die Kontrolle der verschiedenen Stetigkeitbedingungen (G0, G1, G2, G3) von Flächenübergängen. So ist es angesichts dieser eingeschränkten Prüfoptionen nicht möglich, interessante Kriterien, wie die Erstellung eines zusammenhängenden Flächenverbandes oder die anschließende Offsettiefbarkeit dieses Flächenverbandes, in CAID-Systemen zu prüfen. Aus diesem Grund werden Strak-Daten, wenn überhaupt, erst in einem nachfolgenden Arbeitsschritt in CAD-Systemen kontrolliert.

Ein weiteres wichtiges Thema für diese Betrachtungen ist die Strukturierung der Daten in den verschiedenen CAx-Systemen. Die Tatsache, dass in CAID-Umgebungen, anders als in CAD-Systemen, keine explizite Aufgliederung in einzelne Bauteile erfolgt, sondern ein kompletter Bereich eines Fahrzeuges gleichzeitig bearbeitet wird, erschwert die qualitative Bewertung der Strakflächen ebenso. Die orangen Pfeile in Abbildung 1.8 zeigen den Weg einer Aufbereitung und Prüfung von Strakdaten, wie er heute typischerweise in der Fahrzeugentwicklung abläuft. Nachdem der Fahrzeug-Strak im CAID-System (hier: ICEM Surf®) erstellt und die ersten Prüfungen hinsichtlich Stetigkeiten von Flächenübergängen oder Selbstdurchdringungen durchgeführt wurden, erfolgt eine direkte Konvertierung der Daten in das Zielsystem (hier: CATIA V5®). Betrachtet man die Struktur der Daten vor bzw. nach der Konvertierung, so erkennt man, dass die Strukturierung des ICEM-Files in das Zielsystem übernommen wurde. Die ursprüngliche *Region* in ICEM Surf® wurde in ein *Part* umgewandelt und für jedes *Teil* ein eigenes Geometrisches Set (GeoSet) mit identer Bezeichnung erstellt. Unterhalb dieses Sets wurde wiederum ein GeoSet angelegt, welches einem *Molekül* in ICEM Surf® entspricht, und die einzelnen geometrischen Elemente (*Atome*) enthält. Treten während der Konvertierung der Daten etwaige Fehler auf, können diese abhängig von direkter oder neutraler Konvertierung ausgewiesen werden oder nicht. Bei der direkten Konvertierung der Daten werden für diese Fehler in CATIA V5® zusätzliche Geometrische Sets (z.B. Teilfläche KO39_625#120823) im Modellbaum (Abbildung 1.8, violetter Bereich) erzeugt, in denen die fehlerhaften Elemente schließlich abgelegt werden. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde als Konvertierungsverfahren stets die direkte Konvertierung angewendet. Die Auswirkungen und Unterschiede der einzelnen Konvertierungsmöglichkeiten wurden bereits im Rahmen einer anderen Masterarbeit [11] am Institut für Fahrzeugtechnik der TU Graz behandelt.

In Abbildung 1.8 ist schematisch der Ablauf der Konvertierung und Prüfung von Strak-Daten in ICEM Surf® bzw. CATIA V5® auf zwei unterschiedlichen Wegen dargestellt. Der gelbe Bereich zeigt beispielhaft die Umgebung in ICEM Surf® mit den betreffenden Flächendaten eines Vorderwagens und der zugehörigen ICEM-Struktur (graues Feld, links im gelben Bereich). Im roten Bereich ist derselbe Vorderwagen nach der direkten Konvertierung nach

1. Einleitung

CATIA V5® wiederum mit dem entsprechenden Modellbaum (weißes Feld, rechts im roten Bereich) abgebildet. Der dritte (grüne) Bereich zeigt wiederum eine Umgebung aus CATIA V5® mit einem zugehörigen Modellbaum (weißes Feld, links im grünen Bereich). Dieses Mal wird jedoch nicht mehr ein kompletter Vorderwagen dargestellt, sondern lediglich ein einzelnes Bauteil (*Front Bumper*), welches aus dem Vorderwagen herausgesplittet wurde.

Für die genauere Betrachtung bzw. Prüfung der Daten ist im nächsten Prozessschritt eine Zerlegung des Vorderwagen-Exterieurs (*Front Body*) in seine Einzelteile notwendig. Hierfür wird in der Regel für jedes Geometrische Set der ersten Ebene (z.B. *Front Bumper*, *Cowl*, etc.) ein eigenes CATIA V5®-Dokument erstellt und die darunter liegenden Sets (*Bumper Beam*, *Tow Cover*) in das neue Dokument (Abbildung 1.8, grünes Feld) kopiert. In diesem erfolgt schließlich die Prüfungen auf die Herstellbarkeit einer Zusammenfügung oder eines Offsets (Abbildung 1.8, hellblauer Bereich). Dieses manuelle Erstellen bzw. Kopieren der einzelnen Bauteile bzw. Geometrischen Sets stellt aufgrund der hohen Anzahl der verschiedenen Elemente in den jeweiligen Fahrzeug-Teilbereichen einen enormen Aufwand für den Oberflächenkonstrukteur dar. Angesichts dieses hohen Zeitbedarfs ist der Weg des grünen Pfeiles in Abbildung 1.8 mit einer direkten Konvertierung und anschließender automationsunterstützten Zerlegung des kompletten Fahrzeugbereiches in einzelne CATIA V5®-Dokumente anzustreben.

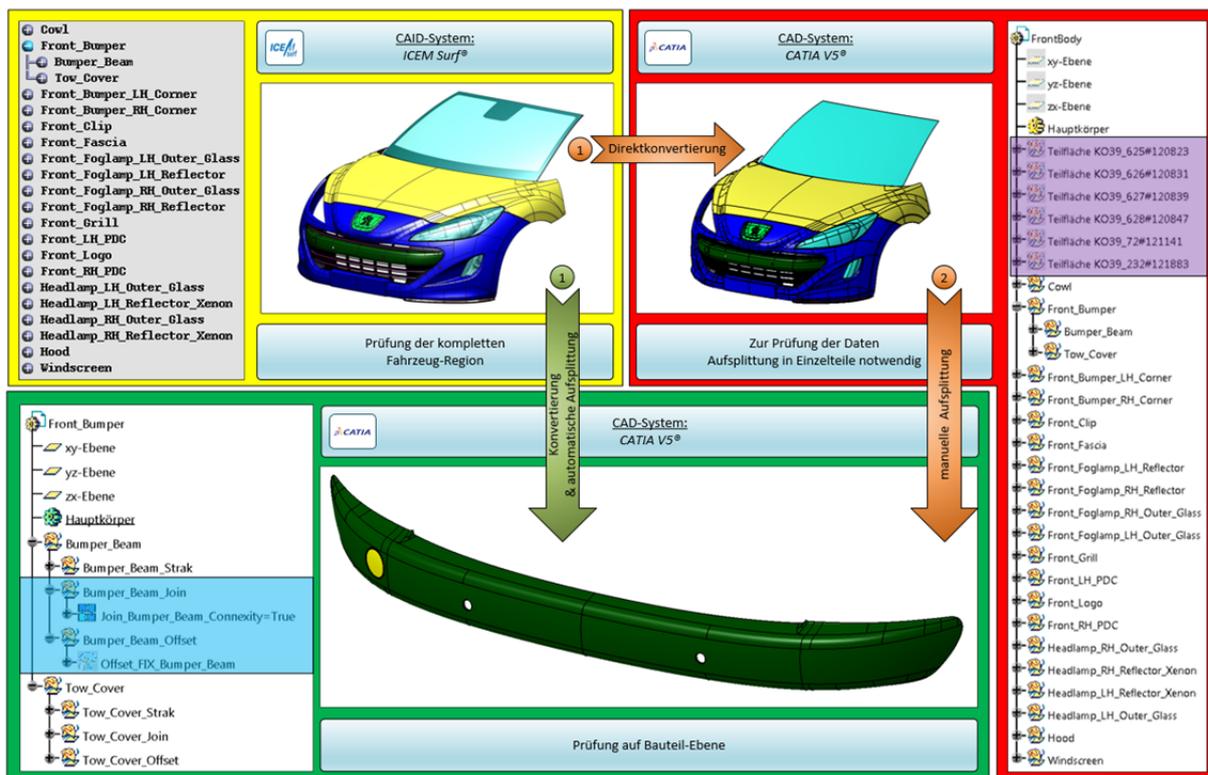


Abbildung 1.8 Workflow der Datenaufbereitung und Datenprüfung

Weitere zum Teil hohe Anforderungen stellt die Design-Technik-Konvergenz in der Fahrzeugentwicklung an die Strak-Entwicklung. Durch die ständige Kommunikation zwischen den verschiedenen Arbeitsbereichen kommt es besonders in der Konzeptphase permanent zu Änderungen und Anpassungen in der Fahrzeuggeometrie. Die bei jeder Änderungsschleife notwendige Aufbereitung und anschließende Prüfung der Flächendaten stellt einen großen zeitlichen Aufwand im Prozessverlauf dar. Aus zweierlei Gründen dürfen

diese Aufbereitungsarbeiten ausschließlich in der Strak-Entwicklung ausgeführt werden. So bedeutet dies zwar für den Straker einen beträchtlichen Mehraufwand an Zeit neben seinen normalen, kreativen Tätigkeiten im Entwicklungsprozess, jedoch ist dieser um ein Vielfaches geringer als jener, der durch eine parallele Aufbereitung in den nachfolgenden Disziplinen entstehen würde. Zudem wird durch diese Arbeitsweise erreicht, dass in allen Disziplinen stets mit dem aktuellen Stand der Strak-Daten gearbeitet wird und innerhalb des Entwicklungsprozesses keine unterschiedlichen Datenstände auftreten. Um jedoch keine allzu großen Verzögerungen in den Downstream-Prozessen zu verursachen, muss der Straker in diesen Fällen die Ergebnisse der Design-Technik-Konvergenz möglichst rasch und vor allem in einer zufriedenstellenden Qualität darstellen können. Diese hohen zeitlichen und qualitativen Anforderungen stellen somit eine große Herausforderung an die Oberflächenkonstruktion im heutigen Entwicklungsprozess dar.

Grundsätzlich gibt es somit drei große Problembereiche die Oberflächenkonstruktion betreffend, welche bei der Entwicklung eines Fahrzeug-Straks zu beachten sind:

- Strukturierung der Strak-Daten
- Qualität des Straks
- Meta-Informationen zu den Strak-Daten

1.2.1 Strukturierung der Strak-Daten

Bevor mit dem eigentlichen „Straken“ eines neuen Modells begonnen wird, sollte sich der Oberflächenkonstrukteur in Abstimmung mit den anderen technischen Abteilungen eine übersichtliche und vor allem sinnvolle Strukturierung des Fahrzeuges überlegen. So wäre es sowohl aus Gründen der Übersichtlichkeit, der performanten Verarbeitbarkeit, als auch in Hinblick auf die Prüfbarkeit wenig sinnvoll, den gesamten Fahrzeugstrak in nur einer CAID-Datei zu modellieren. Erschwerend wirkt hierbei zusätzlich die Tatsache, dass CAID-Systeme, wie z.B. ICEM Surf®, diesbezüglich auch nur relativ beschränkte Möglichkeiten zur Erstellung einer übersichtlichen Struktur anbieten. ICEM Surf® ermöglicht es dem Anwender z.B. lediglich in zwei Ebenen eine Strukturierung seiner Daten durchzuführen, wobei nur innerhalb einer Ebene (Atomebene) die geometrischen Elemente abgelegt werden können. Aus diesem Grund werden Fahrzeuge in verschiedene Teilbereiche (*Front Body*, *Rear Body*, *Side Body* ...) unterteilt und schließlich für jeden dieser Bereiche ein eigene Datei erstellt.

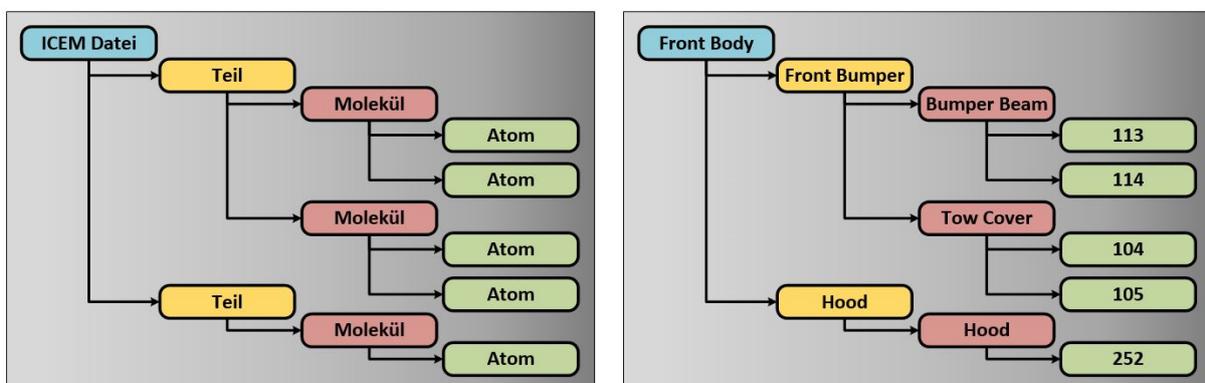


Abbildung 1.9 Aufbau der Datenstruktur in ICEM Surf (li.); Beispiel einer Strukturierung (re.)

Wie bereits zuvor erwähnt, erlaubt ICEM Surf® eine Strukturierung des Straks nur in der Teil- und Molekülebene. Jede Datei kann nur genau eine Region (= ICEM-Datei) enthalten,

welche bei der Dateierstellung automatisch generiert wird. Eine Strukturierung der geometrischen Elemente ist folglich erst ab den beiden darunter liegenden Stufen (Teilebene, Molekülebene) möglich. In diesen erlaubt es ICEM Surf® dem Anwender eine beliebig große Anzahl an *Teilen* bzw. *Molekülen* anzulegen. *Atome*, d.h. die geometrischen Bausteine, wie Flächen, Kurven, Patches, etc. werden schlussendlich wiederum innerhalb von *Molekülen* abgelegt, womit in der Atomebene an sich keine Strukturierung möglich ist (Abbildung 1.9). Im Gegensatz zu CAD-Programmen, wie CATIA V5®, ist die Strukturierung in ICEM Surf® streng einzuhalten bzw. es kann deren Aufbau nicht geändert oder umgangen werden. *Atome* werden immer in *Molekülen* abgelegt, und diese wiederum ausschließlich in *Teilen*. Wird ein neues *Atom* erstellt und liegt für die *Region* noch keine Struktur im Objektmanager vor, wird in diesem automatisch ein *Teil* mit einem darunterliegenden *Molekül* erstellt, in welchem das *Atom* schließlich abgelegt wird. Es ist also nicht möglich, geometrische Elemente direkt in der *Region* oder einem *Teil* abzulegen. Für die weitere Bearbeitung und Bauteilkonstruktion inklusive Simulation, sowie die spätere Datenverwaltung im Produkt-Daten-Management-System (PDM-System), werden seitens der Technik jedoch unbedingt einzelne Bauteile benötigt, die eine spätere Aufgliederung der ICEM-Datei (z.B. *Front Body*) in seine Einzelteile (*Front Bumper*, *Hood*, etc.) erfordert.

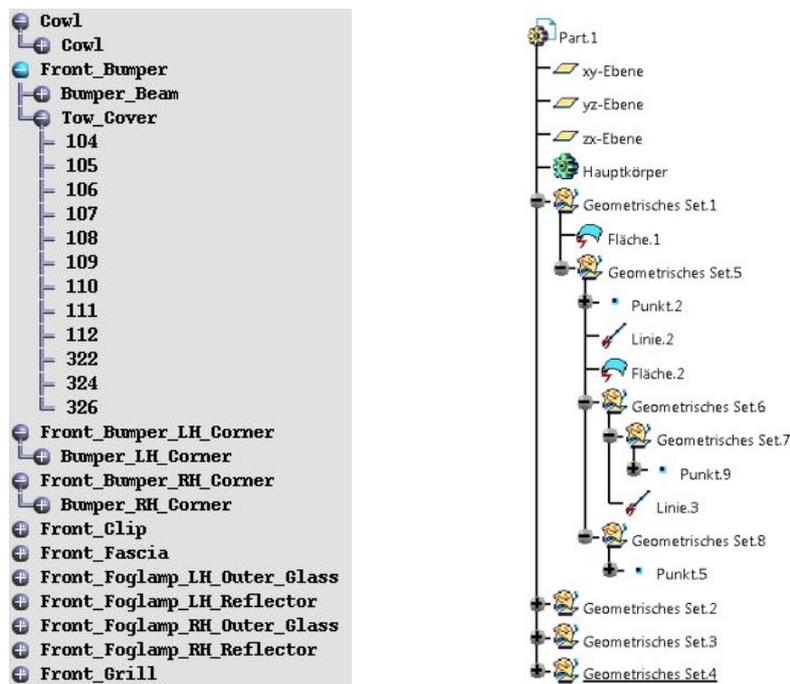


Abbildung 1.10 Struktur in ICEM Surf® (links) und Struktur in CATIA V5® (rechts)

Im Vergleich dazu erlauben CAD-Systeme, z.B. CATIA V5®, dem Anwender eine relativ willkürliche Strukturierung seiner Dokumente und vor allem seiner geometrischen Elemente sowie Features (Historie). CATIA V5® hat dabei keine Beschränkung hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Ebenen, womit eine sehr tiefe Strukturierung in vielen Ebenen ermöglicht wird, und geometrische Elemente wie Punkte, Linien, Flächen, etc. sowohl in der ersten, als auch in der letzten oder in einer dazwischen liegenden Stufe abgelegt werden können. In Abbildung 1.10 ist ein Ausschnitt des Objektmanagers des *Front Bodies* in ICEM Surf® (links), sowie der Modellbaum einer beliebigen Geometrie in CATIA V5® (rechts) dargestellt.

1.2.2 Qualität des Straks

Unter der Qualität eines Fahrzeug-Straks versteht man hauptsächlich die Einhaltung der Vorgaben verschiedener Reifegrade, welche im Fahrzeugentwicklungsprozess häufig auch als A-Class, B-Class oder C-Class (siehe Kapitel 2.7) bezeichnet werden. Jedoch können trotz der Einhaltung dieser speziellen, qualitativen Vorgaben Probleme in weiteren Prozessschritten auftreten. Ein großes Problem stellt hierbei die Prüfung der Flächendaten und deren anschließende Weiterverarbeitung dar. So erfolgt die Qualitätsprüfung der Oberflächendaten zumeist im CAID-Autorensystem (z.B. ICEM Surf®) selbst, während die weiteren Konstruktionsschritte in einem CAD-System (z.B. CATIA V5®) durchgeführt werden, wofür eine Konvertierung der Daten vom Ausgangssystem in das entsprechende Datenformat des Zielsystems notwendig ist. Solch eine Datenkonvertierung ist jedoch meist mit einer Abnahme der Datenqualität verbunden. Dieser Qualitätsverlust kann bei Oberflächendaten, die bei der Prüfung im Autorensystem noch keinerlei Fehler aufgewiesen haben, in der späteren Weiterverarbeitung im CAD-Programm zu großen Problemen führen. Ein Beispiel hierfür wären kleine Flächenelemente, die eine bestimmte Ausdehnung unterschreiten. Liegen die Abmessungen des besagten Flächenelementes unter den Werten der Systemtoleranz, können diese Elemente nach dem Datenaustausch zu degenerierten, fehlerhaften Elementen führen oder sie werden von einigen Schnittstellen zum Teil erst gar nicht übertragen. Tritt der Fall ein, dass diese Mini-Elemente beim Systemwechsel nicht übertragen wurden, kann ein im CAID-System fehlerfreier Fahrzeug-Strak im CAD-System plötzlich Lücken aufweisen. Durch diese Lücken in der Topologie können etwaige Folgeoperationen, wie die Erstellung eines zusammenhängenden Flächenverbandes möglicherweise fehlschlagen oder es treten Unstetigkeitsstellen im Flächenverband auf. Die Tatsache, dass Änderungen und Anpassungen von Flächendaten einzig und allein im Verantwortungsbereich des Oberflächenkonstruktors liegen, erfordert eine Überarbeitung der Flächendaten im CAID-System, obwohl die Flächenprüfung in diesem System zuvor keine Fehler aufgeworfen hat. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, bereits vor der Weitergabe der Daten an die Bauteilkonstruktion diese innerhalb der Oberflächenkonstruktion im Zielsystem zu prüfen, etwaige Fehler zu korrigieren und somit Anpassungsschleifen im Prozess zu vermeiden. Die Auswirkungen von Fehlern an Flächenmodellen wurden bereits im Rahmen einer anderen Masterarbeit [12] am Institut für Fahrzeugtechnik der TU Graz behandelt.

1.2.3 Meta-Informationen im Strak

Als Metadaten bzw. Metainformationen werden strukturierte Daten bezeichnet, die Informationen über andere Informationsressourcen enthalten. Metadaten beschreiben also die eigentlichen Daten auf eine Art und Weise. Metainformationen werden erforderlich, wenn es größere Datenmengen zu verwalten gibt. Ein ausgesprochenes Merkmal von Metadaten ist daher oft, dass sie maschinell lesbar und auswertbar sind. [13]

In Bezug auf die Fahrzeugentwicklung werden Meta-Informationen bezüglich der technologischen Eigenschaften von Flächen übermittelt. So werden mit den Oberflächendaten nicht ausschließlich geometrische Informationen, wie Entformungsrichtungen von Bauteilen, Richtung der Materialaufdickung, Auszugsschrägen, etc. weitergegeben, sondern auch Informationen für Methoden und Systeme nachfolgender Arbeitsschritte (Materialeigenschaften, fertigungstechnische Parameter, usw.) übertragen.

Einen weiteren wichtigen Punkt stellt die Übermittlung von zusätzlichen geometrischen Informationen dar, die über die reinen Strakflächen hinausgehen. Beispielsweise werden in späten Phasen der Entwicklung vom Oberflächenkonstrukteur bereits Fugen, Abststellungen oder gar schon Bördelungen in den Strak eingearbeitet. Für die Strömungssimulation (CFD-Simulation) von Fahrzeugen werden diese jedoch nicht benötigt, da hierfür eine geschlossene Außenhaut der Karosserie erforderlich ist. Für die Durchführung der Simulation müsste der Techniker zur Aufbereitung seines Simulationsmodells, diese zusätzlichen Konstruktionsbausteine nun wieder entfernen was jedoch einen enormen Mehraufwand im Pre-Processing darstellt. Dies bedeutet einen großen, zusätzlichen Zeitaufwand im Entwicklungsprozess, weshalb es sich anbieten würde, bereits in dieser Phase der Entwicklung die nötigen Informationen für die späteren Arbeitsschritte in den Strak mit einzuarbeiten.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine effektive und effiziente Methodik zu entwickeln, die ausgehend von CAID-Daten in ICEM Surf® eine Aufbereitung und Prüfung dieser Daten in CATIA V5® ermöglicht. Dazu ist es notwendig folgende Themen zu erarbeiten:

- Festlegen einer geeigneten Strukturierung der CAID-Daten in ICEM Surf® sowie der konvertierten CAD-Daten in CATIA V5® zur Prüfung von Strak-Daten.
- Erarbeiten einer Methodik zur raschen und qualitativ hochwertigen Prüfung von Fahrzeug-Strakdaten hinsichtlich ihrer Strukturierung, Qualität und Meta-Informationen.
- Definieren von Prüfkfigurationen zur Durchführung von Oberflächenanalysen für die verschiedenen Reifegrade im Entwicklungsprozess.

Die Anwendung der erarbeiteten Methodik soll es dem Oberflächenkonstrukteur ermöglichen, seine Fahrzeug-Strakdaten neben der heute in der Industrie üblichen strukturellen Prüfungen auch bezüglich ihrer qualitativen Eigenschaften (Stetigkeiten, Selbstdurchdringungen, Offsettiefbarkeit, etc.) zu analysieren. Durch die Umsetzung des Prüfwerkzeuges in eine wissensbasierte CAD-Applikation für CATIA V5® wird eine wesentliche Zeitersparnis der Strakfreigabe bei jeder Änderungsschleife des Straks angestrebt, sowie darüber hinaus qualitativ hochwertige Strakdaten für die Folgeprozesse zur Verfügung gestellt.

1.4 Gliederung der Arbeit

Zu Beginn werden für das allgemeine Verständnis in Kapitel 2 die für diese Arbeit notwendigen Grundlagen näher erklärt. Neben Erläuterungen über die Entwicklung des Strakens im Fahrzeugbau werden in diesem Abschnitt die für die Oberflächenkonstruktion relevanten geometrischen Elemente, wie Kurven und Flächen, sowie deren Darstellungsmöglichkeiten genauer behandelt. Abschließend befasst sich Kapitel 2 mit den verschiedenen Qualitätsklassen und deren Reifegraden (z.B. Stetigkeiten an Flächenübergängen), die ein Fahrzeugstrak in seinem Entwicklungsprozess durchläuft, sowie mit der wissensbasierten Konstruktion in CAD-Systemen. In Kapitel 3 werden schließlich gezielt die Möglichkeiten zur Prüfung von CAD-Daten beschrieben. Ausgehend von allgemeinen und speziellen Anforderungen an Strak-Daten in der Fahrzeugentwicklung werden unter diesem Punkt sowohl CAx-interne Prüfoptionen in ICEM Surf® bzw. CATIA

V5®, als auch externe Werkzeuge zur Aufbereitung und Prüfung von Oberflächendaten erläutert und gezeigt, wie die zuvor definierten Anforderungen mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen am effizientesten geprüft werden können. Abgeschlossen wird dieser Abschnitt mit der Erarbeitung einer geeigneten Prüfkongfiguration. Die wissensbasierte Methodik, welche dem Ablauf der Qualitätsprüfung im Entwicklungsprozess zugrunde liegt, wird in Kapitel 4 eingehend behandelt. Ausgehend von einem Freigabeprozess nach heutigem Stand der Technik, werden anschließend die genaue Arbeitsweise der erarbeiteten Methodik, sowie der Aufbau der Software-Applikation bzw. der Freigabe-Funktion beschrieben. Unter der exemplarischen Anwendung der Methodik in Kapitel 5 soll schließlich anhand eines Beispiels die genaue Vorgehensweise zur Erstellung eines Bauteils mit zufriedenstellender Qualität erläutert werden. Die Schlussfolgerung in Kapitel 6 soll die, durch die Anwendung der Software-Applikation, entstehenden Vorteile darstellen, sowie einen Ausblick auf die noch vorhandenen Potentiale im Freigabeprozess geben. Abschließend werden in Kapitel 7 die Ergebnisse der Arbeit kurz zusammengefasst.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit Grundlagen, auf welchen diese Arbeit aufgebaut wurde. So werden unter anderem die für das weitere Verständnis erforderlichen Begriffe definiert und ein Einblick in die Entwicklung des Strakens im Fahrzeugbau gegeben. Die Qualitätsklassen und deren Reifegrade werden ebenso behandelt, wie die dem Strak zugrunde liegenden geometrischen Elemente, wie Kurven und Flächen. Die Qualitätskriterien, die an Strak-Daten in der Automobilindustrie gestellt werden, sollen gemeinsam mit einem Einblick in die wissensbasierte Konstruktion in CAD-Systemen den Abschluss dieses Abschnitts bilden.

2.1 Begriffsdefinitionen

In diesem Unterpunkt soll zunächst eine Definition der wichtigsten Begriffe dieser Arbeit erfolgen:

- **Polynom:** Ein Polynom ist eine Funktion der Form $Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n$. [14]
- **Grad:** Der Grad eines Polynoms ist gleich dem höchsten vorkommenden Exponenten (n) der Variablen (x) des Polynoms. [14]
- **Dimension:** Die Dimension ist gleich Grad+1. Sie bezeichnet die Anzahl der Koeffizienten des Polynoms. [14]
- **Ordnung:** Der Grad des Polynoms ist die Ordnung der Kurve. [14] Jedoch wird der Begriff der Ordnung auch oft mit Grad+1 benutzt, und ist aus diesem Grund mit Vorsicht zu genießen.
- **CAX:** Computer-Aided-Everything; Die zusammenfassende Bezeichnung aller Systeme der Rechnerunterstützung in einem Unternehmen lautet CAX-Systeme. Dabei steht „CA“ für „Computer-Aided“, also „rechnerunterstützt“ und „x“ als Platzhalter für eine Vielzahl von Akronymen, die bestimmte Einsatzbereiche näher spezifizieren. [15]
- **CAD:** Computer-Aided-Design; rechnerunterstütztes Konstruieren. [15]
- **CAE:** Computer-Aided-Engineering; im Sinne von Berechnen/ Simulieren
Die wichtigsten Systemklassen sind:
 - FEM/ FEA: Finite-Elemente-Methode/ -Analyse,
 - CFD: Computational-Fluid-Dynamics; rechnerunterstützte Strömungssimulation. [15]
- **CAID:** Computer-Aided-Industrial-Design; Systeme zur rechnerunterstützten Formgebung im Sinne des technischen Designs bzw. des Stylings. [15]
- **DMU:** Digital Mock-Up; Aufbau von digitalen Prototypen im Computer. [15]
- **KBE:** Knowledge-Based-Engineering; Einsatz von Systemen der Wissensverarbeitung in der Produktentwicklung. [15]
- **PDM:** Product-Data-Management; Management der Produktdaten in der Produktentstehung. [15]

2.2 Geometrische Elemente

Dieses Unterkapitel soll einen kurzen Überblick über die wichtigsten geometrischen Elemente geben, die bei der Erstellung von Oberflächen in der Automobilentwicklung von Bedeutung sind.

2.2.1 Kurven (Curves)

Punkte, Kurven und Linien erlauben die Generierung von Drahtgeometrien. Sie dienen sowohl als Hilfsgeometrie bei der Erstellung von Flächen und Solids, als auch als Konturen für die NC-Programmierung oder Zeichnungen. [16] Kurven können sowohl einsegmentig sein, als auch aus mehreren Segmenten bestehen. Abbildung 2.1 zeigt einen Kurvenzug, in dem 2 Kurven durch eine geeignete Übergangsbedingung (Linie) miteinander verbunden wurden.

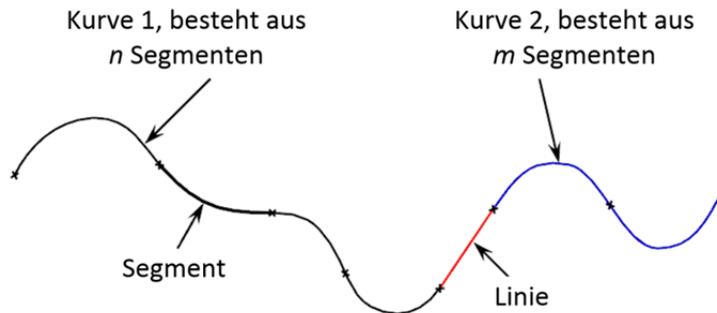


Abbildung 2.1 Beispiel einer Kurve, vgl. [16]

2.2.2 Trägerflächen (Surfaces)

Unter Trägerflächen versteht man die grundlegende mathematische Darstellung eines geometrischen Flächenelementes, das von Randkurven begrenzt wird, und aus mindestens einem aber auch aus mehreren Patches bestehen kann. Je nach Patchanzahl (n, m) bildet ein Flächenverband aus $n \cdot m$ Patches eine Trägerfläche. Die Trägerflächen eines Teils können über seine tatsächlichen Konturen hinausragen. [16] Jedoch werden Trägerflächen in CAD-Systemen grundsätzlich nicht dargestellt, sondern dienen nur als Grundlage für die Erstellung begrenzter Flächen. Abbildung 2.2 zeigt eine Trägerfläche mit seinen einzelnen Flächensegmenten.

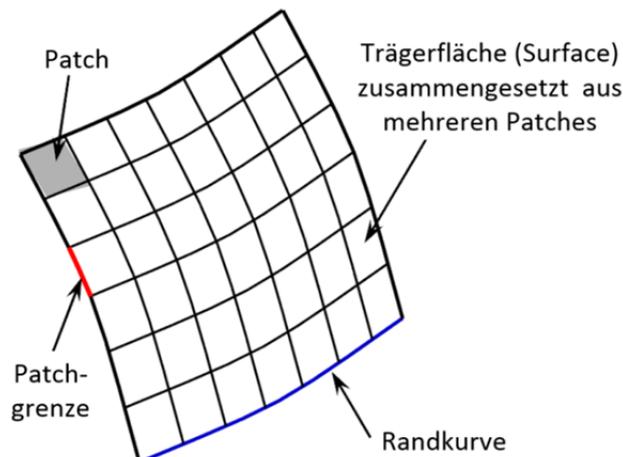


Abbildung 2.2 Beispiel einer Trägerfläche aus mehreren Patches, vgl. [16]

2.2.3 Begrenzte Flächen (Bounded/ Trimmed Surfaces, Faces)

Durch das Beschneiden (Trimmen) oder Facen eines bzw. mehrerer vierseitiger Patches mit Berandungskurven werden begrenzte Flächen oder kurz Faces definiert. Das Basispatch bleibt dabei erhalten und die nicht benötigten Teile des Basispatches werden ausgeblendet.

Begrenzte Flächen beschreiben die geometrische Oberfläche eines Objekts auf der zugrunde liegenden Trägerfläche. [16], [17] Im Gegensatz zu Trägerflächen stellen begrenzte Flächen die sichtbaren Flächenelemente in CAD-Systemen dar. Abbildung 2.3 zeigt eine begrenzte Fläche, die mittels eines Berandungskurvenzuges aus einer Trägerfläche herausgeschnitten wird.

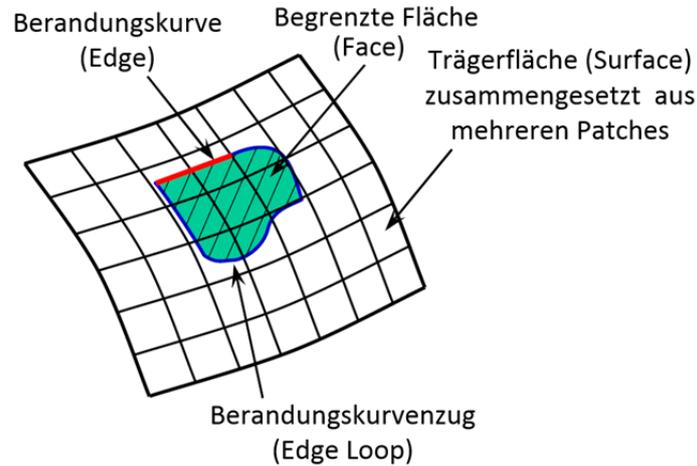


Abbildung 2.3 Beispiel einer begrenzten Fläche, vgl. [16]

2.2.4 Topologie (Shell)

In einer kompletten Topologie können zur Beschreibung der Geometrie sowohl begrenzte Flächen als auch (ungetrimmte) Patches vorkommen. Die Aneinanderreihung mehrerer begrenzter Flächen und/oder Patches nennt man Flächenverband oder Topologie. [16] In Abbildung 2.4 ist beispielsweise solche eine Topologie dargestellt.

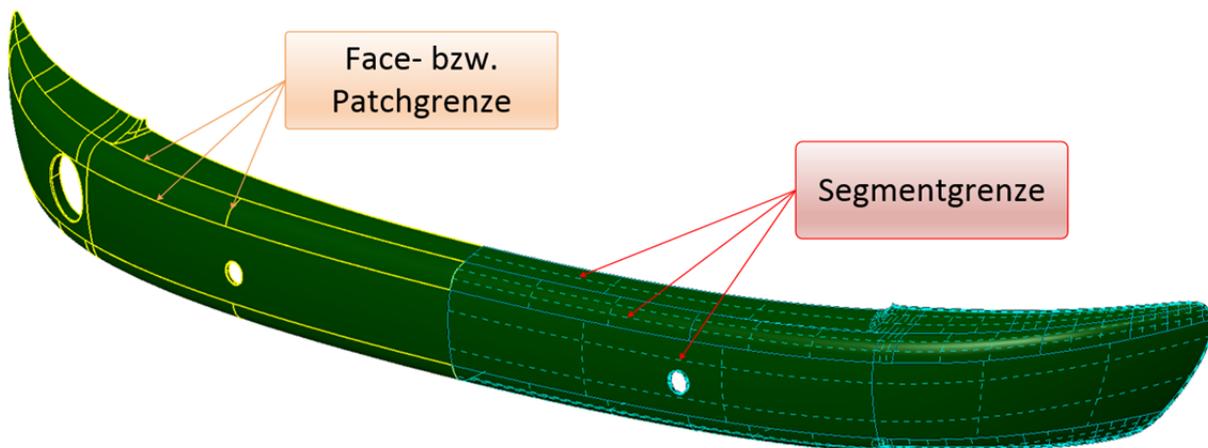


Abbildung 2.4 Beispiel einer Topologie mit Segment- bzw. Face-/Patchgrenzen

2.2.5 Segmentgrenzen bzw. Face-/Patchgrenzen

Während Face-/Patchgrenzen die Berandungskurven einzelner Flächenstücke bzw. die Trennlinien zwischen Flächenelementen innerhalb einer Topologie darstellen, versteht man unter Segmentgrenzen die innere Unterteilung von Flächen in ihre Flächensegmente. Grundsätzlich werden jedoch weder Segmentgrenzen noch Flächensegmente in CAD-Programmen, wie CATIA V5®, dargestellt; diese können nur über spezielle

Analysefunktionen dargestellt werden. In Abbildung 2.4 ist beispielhaft der Unterschied zwischen Segment- bzw. Face-/Patchgrenzen dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Face- bzw. Patchgrenzen (gelb) zwischen den verschiedenen Flächenstücken auftreten, während die Segmentgrenzen (türkis) innerhalb der einzelnen Flächenelemente liegen.

2.2.6 Berandungskurven (Edges):

Eine Edge ist eine Randkurve einer begrenzten Fläche und Teil eines kompletten Berandungskurvenzuges. [16] (siehe Abbildung 2.5)

2.2.7 Berandungskurvenzüge (Edge Loops)

Ein Berandungskurvenzug ist die geschlossene Menge von aneinandergefügten Berandungskurven, die zur Definition von begrenzten Flächen auf Trägerflächen benötigt werden. [16] (siehe Abbildung 2.5)

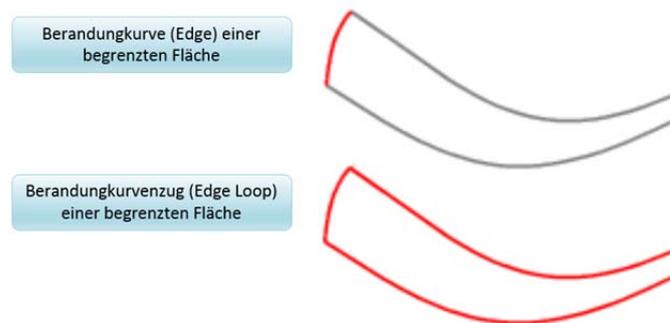


Abbildung 2.5 Beispiel Edge & Edge Loop, vgl. [18]

2.3 Kurvendarstellung in CAx-Systemen

Für die geometrische Beschreibung von Kurven bieten sich in CAID- bzw. CAD-Systemen verschiedene Möglichkeiten. So werden Kurven in CAx-Umgebungen, wie z.B. ICEM Surf® oder CATIA V5®, unter anderem als Bézier-, B-Spline- oder NURBS- Kurven beschrieben.

2.3.1 Bézier- Kurven

Eine Bézierkurve ist eine Kurve n -ten Grades, die durch $n+1$ Kontrollpunkte a_i beschrieben wird und die Darstellung von Freiformkurven ermöglicht. Durch die Verbindung dieser Kontrollpunkte erhält man ein Polygon, welches man zur Darstellung von Bézier-Kurven auch als Bézier-Polygon bezeichnet und die Kurve vollständig einhüllt. Abbildung 2.6 zeigt eine Bézier-Kurve samt seinem Kontrollpolygon mit vier Kontrollpunkten, womit man eine Kurve dritten Grades erhält. [6]

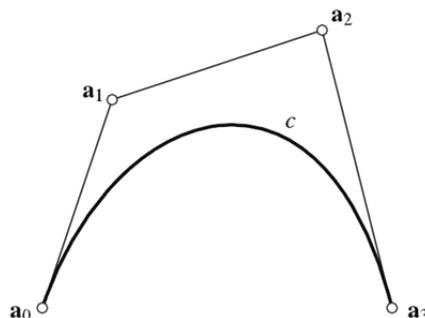


Abbildung 2.6 Bézier-Kurve dritter Ordnung, [6]

Durch die Multiplikation der Kontrollpunkte mit Bernsteinpolynomen (Abbildung 2.7, links), welche den Einfluss der Kontrollpunkte in Abhängigkeit vom Kurvenparameter angeben, erhält man schließlich eine Bézier-Kurve. [6]

Die Summe aller Kurven ist an jeder Stelle des Intervalls immer 1. Besonders deutlich wird das, wenn man sich die jeweils erste und letzte Kurve anschaut. Diese nehmen an den Rändern einmal den Wert 1 an, während alle anderen Kurven an den Rändern verschwinden. [14]

Aufgrund dieser Tatsache nehmen an den Anfangs- und Endpunkten logischerweise nur jene Kurven der Bernstein-Basisfunktion Einfluss auf die Bézier-Kurve, die den Wert 1 aufweisen, weshalb die Anfangs- und Endpunkte der Bézier-Kurve auch mit jenen des Kontrollpolygons zusammenfallen. Alle anderen Kontrollpunkte sind, je nach Grad, von mehreren Kurven abhängig, weswegen diese Kontrollpunkte nicht mehr mit der Bézier-Kurve zusammenfallen. [14]

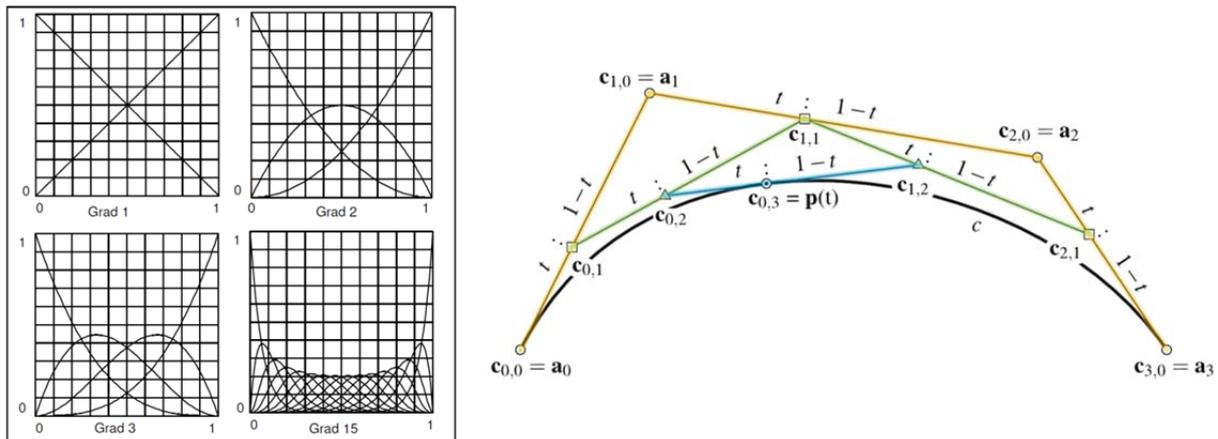


Abbildung 2.7 Bernsteinpolynome verschiedener Grade (links), [14]; De-Casteljau-Algorithmus für eine Bézier-Kurve dritten Grades (rechts), [6]

Zur zeichnerischen Darstellung einer Bézierkurve kann der De-Casteljau-Algorithmus verwendet werden, der eine Bézier-Kurve durch einen neuen Polygonzug annähert (Abbildung 2.7, rechts). Bei diesem Algorithmus werden in Abhängigkeit vom Parameter t und ausgehend vom ursprünglichen Kontrollpolygon (Abbildung 2.7, rechts; gelbes Polygon) die Punkte c_{ij} errechnet. Durch anschließendes Verbinden dieser Punkte entsteht ein neues Polygon (Abbildung 2.7, rechts; grünes Polygon), welches im Vergleich zum Ursprünglichen einen Kontrollpunkt weniger aufweist. Im nächsten Schritt wird dieselbe Methode auf das neue Polygon angewendet und wiederum ein neues Polygon mit einem Kontrollpunkt weniger erstellt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis schlussendlich nur noch eine Linie (Abbildung 2.7, rechts; blaue Linie) bzw. ein Punkt $p(t)$ übrig bleibt, der einen Punkt auf der Bézier-Kurve ergibt (Abbildung 2.7, rechts). [6]

2.3.2 B-Spline-Kurven (Basis-Spline-Kurve)

Analog zu Bézier-Kurven werden B-Spline-Kurven über Kontrollpunkte gesteuert, und über die Multiplikation mit Basisfunktionen erstellt. Während Bézier-Kurven einsegmentige Kurven darstellen, bestehen B-Splines aus mehreren Segmenten, was den Vorteil bietet, dass sich bei einer Änderung eines Kontrollpunktes im Gegensatz zur Bézier-Kurve nicht der komplette Kurvenzug ändert, sondern ausschließlich die betroffenen Segmente (Abbildung 2.8, rechts)

angepasst werden. Ein weiterer Unterschied zu Bézier-Kurven besteht darin, dass bei B-Spline-Kurven der Grad des Polynoms unabhängig von der Anzahl der Kontrollpunkte sein kann. Des Weiteren erlauben Gewichtungs- und Knotenvektoren bei dieser Kurvendarstellung eine Einflussnahme auf die Kurvenform. [17], [19]

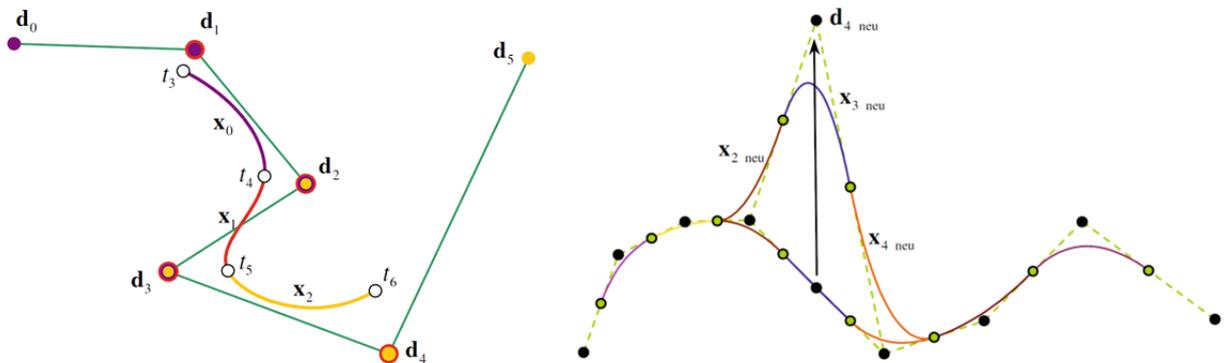


Abbildung 2.8 B-Spline mit Grad 3 und 5 Kontrollpunkten (links) und B-Spline mit einem geänderten Kontrollpunkt (rechts), [17]

Der Grad eines B-Splines gibt Auskunft über die Stetigkeit der Segmentübergänge. Abbildung 2.8 zeigt einen B-Spline mit 5 Kontrollpunkten und einem Grad von 3. Diese Ordnung von 3 bedeutet, dass die Kurve Krümmungsstetigkeit (G2-Stetigkeit) aufweist, hätte sie eine Ordnung von 2, würde dies eine Tangentenstetigkeit (G1-Stetigkeit) zwischen den Kurvensegmenten bedeuten. [17]

2.3.3 NURBS-Kurven (Non Uniform Rational B-Spline-Kurven)

Die bisher besprochenen Kurvendarstellungen waren alle *Uniform*, d.h. die Knotenabstände des Knotenvektors waren gleichmäßig verteilt. B-Splines können aber sowohl *Uniform* als auch *Non Uniform* sein. Bei Kurven, die *Non Uniform* sind, kann der Abstand zwischen den Knotenpunkten verändert werden, wodurch sich eine weitere Möglichkeit zur Beeinflussung der Kurvenform ergibt. NUBS (Non Uniform B-Spline), NUPBS (Non Uniform Polynomial B-Spline) und NURBS (Non Uniform Rational B-Spline) sind Beispiele für Kurven des Typs *Non Uniform*. Rationale B-Splines, wie NURBS, erlauben zusätzlich zur ungleichmäßigen Verteilung eine Gewichtung dieser Kontrollpunkte und geben somit eine weitere Option die Form der Kurve zu steuern. Abbildung 2.9 zeigt die Beschreibung eines exakten Kreises mittels NURBS durch eine geeignete Gewichtung der 9 Kontrollpunkte. [14]

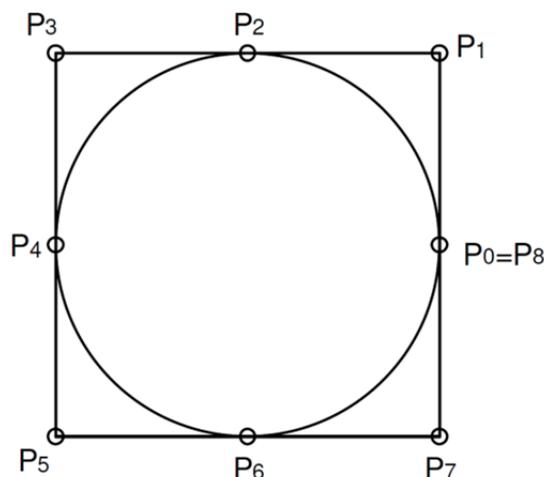


Abbildung 2.9 Beschreibung eines exakten Kreises durch NURBS, [14]

NURBS-Elemente sind die Grundlage der (einheitlichen) Geometriebeschreibung in CAD-Systemen. Sie bieten dabei den Vorteil, dass nicht mehr zwischen Freiform-Geometrien und kanonischen Geometrieobjekten unterschieden werden muss. Bei geeigneter Wahl von Knotenvektoren und Gewichtung lassen hiermit kanonische Formen exakt abbilden. [14] Dem gegenüber stehen aber auch einige Nachteile, wie die Neigung zur Welligkeit oder die größere Datenmenge gegenüber den anderen Kurventypen. [17]

2.3.4 Kurventypen in der Strakerstellung

Um unerwünschte Wendepunkte im Krümmungsverlauf zu vermeiden bzw. die Glattheitsforderungen im Strak zu erfüllen, versucht der Oberflächenkonstrukteur meist mit niedrigen Ordnungen von 3 oder 4 auszukommen. Diese niedrigen Ordnungen führen dazu, dass man mit Bézier-Kurven sehr überschaubare Wirkungen über die gesamte Form erreicht. Der Nachteil der eingeschränkten Flexibilität einer niedriggradigen Bézier-Kurve kann durch das Zusammensetzen von Bézierkurvenabschnitten zu einer Gesamtkurve überwunden werden. In diesem Fall spricht man auch von Bézier-Spline-Kurven. Bei B-Spline-Kurven niedriger Ordnung ist die Wirkung einer Kontrollpunktänderung lokal begrenzt und es kann zu Wellenbildungen in der Form kommen. Aus diesen Gründen bevorzugt der Straker für seine Arbeit den reinen Bézieransatz. Im Werkzeugbau z.B. die genaue mathematische Erfassung von Ziehwürsten erforderlich, weshalb in diesem Bereich oft der B-Spline-Ansatz vorteilhafter ist. [17]

	Bézier-Kurve	Bézier-Spline-Kurve	B-Spline
Allgemeine Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> einfache Handhabung hoher Glättungseffekt bei niedriger Ordnung geringe Datenmenge 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Flexibilität trotz niedriger Ordnung optimal wenige Steuerpunkte und Segmente überschaubare Handhabung, weniger Daten als B-Spline 	<ul style="list-style-type: none"> einheitliche Darstellungsmöglichkeit für alle Geometrielemente hat für interne Datenbasen und Algorithmen Bedeutung
Allgemeine Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> begrenzte Flexibilität Neigung zur Wellenbildung bei hoher Ordnung (≥ 7) 	<ul style="list-style-type: none"> mehr Daten als Béziereinzelkurven Segmentgrenzen müssen gezielt gesetzt werden (manchmal Vorteil) 	<ul style="list-style-type: none"> schwer handhabbar übersichtliche Wirkung von Steuerpunkten große Datenmengen (durch Steuerpunkte) Neigung zur Welligkeit
Anpassungsfähigkeit an eine Rohdatenpunktfolge	<ul style="list-style-type: none"> begrenzt, steigt mit der Ordnung 	<ul style="list-style-type: none"> sehr gut, durch festlegbare Segmentierung optimal wenig Segmente 	<ul style="list-style-type: none"> sehr gut, durch automat. Segmentierung Anzahl der Segmente ist abhängig von der Ordnung und Anzahl der Gesamtpunktzahl der Steuerpunkte Mögliche Rationalität erlaubt genauere Anpassung

Tabelle 2.1 Vor- und Nachteile der Kurventypen für einen Strak, [17]

2.4 Flächendarstellung in CAx-Systemen

Zur Darstellung von Kurven in CAx-Systemen wird das Kontrollpunkt Polygon der Kurvendarstellungen zu einem Kontrollpunktnetz erweitert, in dem Kurven in Längs- und Querrichtung aufgespannt werden. Die Eigenschaften der Kurven-Darstellungen können meist direkt auf die Flächendarstellung übertragen werden, womit in CAx-Systemen sowohl

Bézier-Flächen als B-Spline-Flächen generiert werden können. Ebenso können Flächenstücke analog zu Kurven, welche aus Segmenten bestehen, zu Flächen zusammengefügt werden. [17]

2.4.1 Bézier-Flächen

Das Tensorprodukt zweier Bézier-Kurvendarstellungen liefert eine Bézier-Flächendarstellung, welche durch ein Kontrollnetz beschrieben wird. Abbildung 2.10 zeigt solch eine Bézier-Fläche mit dem zugehörigen Kontrollnetz, die eine Beschreibung der wichtigsten Eigenschaften von Bézier-Flächen erlaubt: [6]

- Analog zur Bézier-Kurvendarstellungen fallen die Endpunkte der Bézier-Fläche mit jenen des zugehörigen Kontrollnetzes zusammen.
- Sowohl die 4 Flächenbegrenzungen als auch die Parameterlinien (Isolinien) in u - bzw. v -Richtung sind Bézier-Kurven.
- Die Tangentialebenen einer Bézier-Fläche werden in seinen Eckpunkten von 3 Punkten des Kontrollnetzes aufgespannt, z.B. für den Eckpunkt $a_{0,0}$ durch die Kontrollpunkte $a_{0,0}$, $a_{0,1}$ und $a_{1,0}$.
- Eine Bézier-Fläche liegt komplett in der konvexen Hülle des Kontrollnetzes.

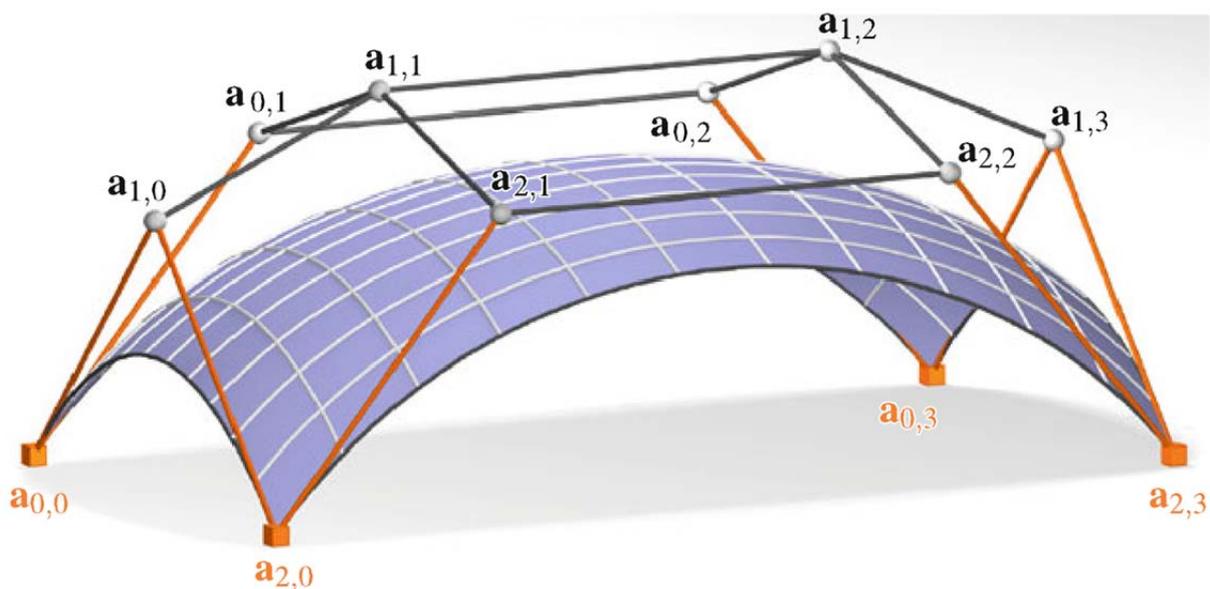


Abbildung 2.10 Bézierfläche mit Kontrollnetz, [6]

Bézier-Flächen weisen bei der Modifikation von Kontrollpunkten ein analoges Verhalten zu jenem der Bézier-Kurven auf, so wird bei einer Veränderung eines Punktes im Kontrollnetz das ganze Flächenelement beeinflusst. Diese Eigenschaft kann jedoch beim Aneinanderfügen von Flächenstücken zu Problemen führen, da diese oftmals nicht nur in einer Richtung aneinandergesetzt werden müssen. In vielen Fällen ist es deshalb notwendig, den Polynomgrad der Fläche zu erhöhen um die gewünschte Flexibilität zu erhalten. [14]

2.4.2 B-Spline-Flächen (Basis-Spline-Flächen)

Analog zur Beschreibung von Bézier-Flächen erfolgt die Definition von B-Spline-Flächen über ein Kontrollnetz, dass durch die Bildung eines Tensorproduktes zweier B-Spline-Kurven errechnet wird. Eine B-Spline-Fläche mit dessen Kontrollnetz ist in Abbildung 2.11

dargestellt. Die wichtigsten Eigenschaften von B-Spline-Kurven sollen kurz erläutert werden: [6]

- Ähnlich der B-Spline-Kurven hängen die Flächensegmente nicht von allen Kontrollpunkten ab, womit bei einer Änderung eines Kontrollpunktes nicht die gesamte Fläche, sondern ausschließlich die betroffenen Segmente angepasst werden.
- Eine B-Spline-Fläche ist in sich glatt. Die Stetigkeit an Übergängen hängt vom Grad der Kurve ab, so hat eine Fläche mit dem Grad k eine Stetigkeit von $G(k-2)$.
- Analog zu B-Spline-Kurven ist der Grad der Fläche nicht von der Anzahl der Kontrollpunkte abhängig.

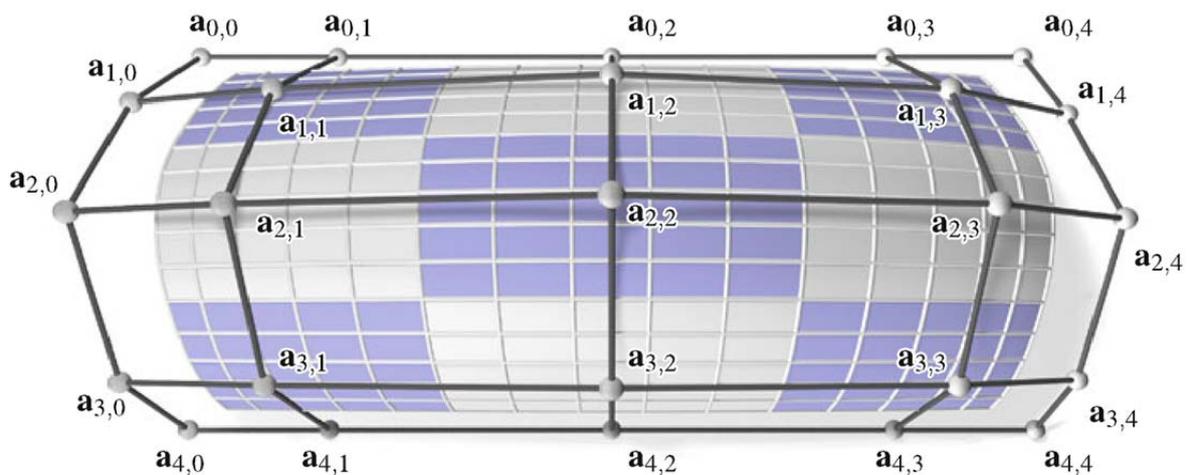


Abbildung 2.11 B-Spline-Fläche mit Kontrollnetz, [6]

Bei B-Spline-Flächen ergeben sich beim Aneinanderfügen von mehreren Flächen meist etwas weniger Schwierigkeiten, da bekanntlich der Polynomgrad nicht an die Zahl der Kontrollpunkte gekoppelt ist. In heutigen CAD-Systemen wird jedoch vermehrt das NURBS-Konzept angewandt, da aufgrund der immer leistungsfähiger werdenden Rechner der erhöhte numerische Rechenaufwand, abhängig von der Anzahl der zu berechnenden Daten, ein geringeres Problem darstellt. [14]

2.4.3 NURBS-Flächen (Non Uniform Rational B-Spline-Flächen)

Wie bereits für NURBS-Kurven erwähnt wurde, bieten die Möglichkeiten der ungleichmäßigen Verteilung und Gewichtung der Knotenpunkte eine höhere Flexibilität zur Steuerung der Kurvendarstellungen. Diese Eigenschaften findet man auch bei der Beschreibung von NURBS-Flächen wieder. Durch diese Vielzahl verschiedener Parameter zur Steuerung der Flächen, hat sich NURBS als Standard in CAD-Systemen etabliert. Die Gewichtung und Änderung der Abstände zwischen den Knotenpunkten erlauben es dem Anwender neben Freiformflächen auch kanonische Flächen mit NURBS zu erstellen. Abbildung 2.12 zeigt zwei NURBS-Flächen, mit identischen Kontrollnetzen. Während in der oberen Darstellung alle Kontrollpunkte gleich gewichtet wurden, erkennt man, dass in der unteren Abbildung durch eine erhöhte Gewichtung der orangenen Punkte und Änderung der Knotenvektoren eine merkbare Änderung der Fläche auftritt. [6]

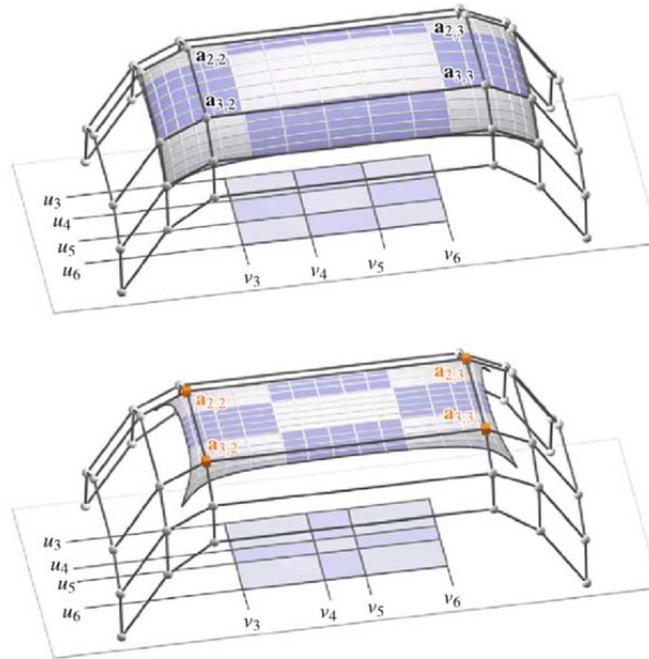


Abbildung 2.12 NURBS-Fläche mit Kontrollnetz, [10]

2.5 Oberflächenkonstruktion-Strak

2.5.1 Definition

Der Begriff *Strak* kommt ursprünglich aus dem Schiffsbau, in dem über Höhen-, Längs- und Querschnitte komplexe Freiformflächen beschrieben wurden. Als Hilfsmittel zum Straken der Kurven wurden biegsame Holz- oder Kunststoffleisten, die sogenannten Straklatten verwendet, die anschließend mit Hilfe von Gewichten grob in die gezeichnete Form gezwungen wurden (Abbildung 2.13). Ausgehend von der ersten Dreiergruppe an Gewichten wird das mittlere Strakgewicht angehoben, wodurch die Straklatte in seine natürliche Biegelinie springt. Diese Methodik wird nun immer, mit der um ein Gewicht weitergesprungenen Dreiergruppe wiederholt, bis schlussendlich eine glatte Kurve über die komplette Kontur entsteht. Für die Automobilentwicklung wurde der Begriff des Strakens übernommen, jedoch wurden aufgrund der Einführung der CAID- bzw. CAD-Systeme die Straklatten bzw. –gewichte durch interaktive graphische Methoden ersetzt. [1], [17]

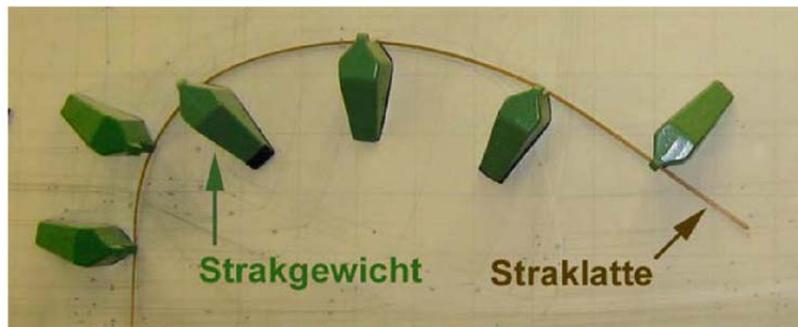


Abbildung 2.13 Straklatte und Strakgewichte, [17]

Der Strak ist die geometrische Darstellung aller kundensichtbaren Oberflächen im Interieur und Exterieur unter Berücksichtigung aller technischen und formalästhetischen Ansprüche. [9]

2.5.2 Erstellung eines modernen Straks

Der Ausgangspunkt für die Erstellung eines Fahrzeugstraks ist oftmals ein Claymodell (Ton-Modell). Dieses Modell wird durch photogrammetrische Abtastung in Punktwolken übersetzt, welche in CAID-Systeme, wie ICEM Surf®, übertragen werden. Dort wird dieser Scan zur Visualisierung trianguliert (es werden Dreiecksflächen zwischen den Punkten erstellt, Detail in Abbildung 2.14) und mittels Highlightverläufen eine erste Beurteilungen des Modells vorgenommen, um etwaige Fehler bereits bei der Erstellung der Oberflächen berücksichtigen zu können. Die durch das Schneiden dieser triangulierten Flächen in Längs- und Querrichtung erhaltenen Rohdaten bilden schließlich die Basis zur Erzeugung der eigentlichen Strakflächen. In dieser Phase der Strakerstellung kann es jedoch vorkommen, dass der Oberflächenkonstrukteur vom vorgegebenen Modell abweichen muss. Im nächsten Schritt werden die, auf Grundlage der Rohdaten erstellten Flächen schattiert und zur visuellen Beurteilung wiederum mit Highlightverläufen dargestellt. Eine weitere Option zur optischen Beurteilung ist die Darstellung des Straks in einem VR-System (Virtual Reality-System). Dies bietet die Möglichkeit, schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt das komplette Fahrzeug in einer virtuellen Umgebung, zur Beurteilung von Linien, Proportionen und Oberflächen, darzustellen. [9] Die nachfolgende Abbildung 2.14 zeigt die Erstellung einer Strak-Fläche aus triangulierten Flächen einer Abtastung.

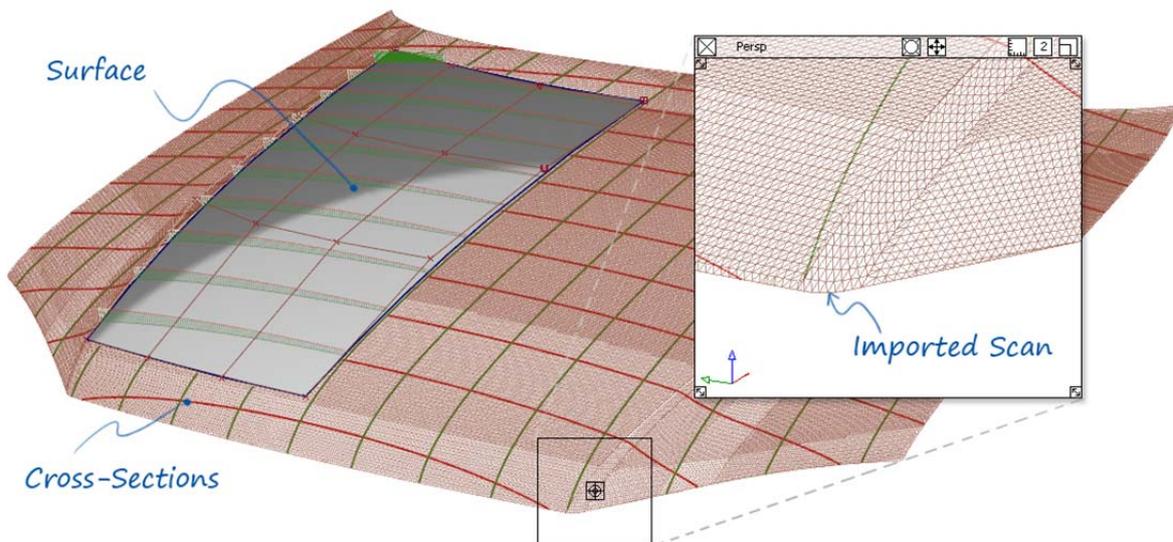


Abbildung 2.14 Erstellung einer Strakfläche ausgehend von einer Abtastung eines Clay-Modells, [20]

Die Notwendigkeit der Durchführung des aufwendigen Strakprozesses zur Erstellung ästhetischer Oberflächendaten soll anhand Abbildung 2.15 nochmals genauer aufgezeigt werden. Die linke Darstellung zeigt einen Highlightverlauf der triangulierten Flächen einer Abtastung, während die rechte Abbildung die Lichtspiegelungen des daraus gestrakten fertigen Fahrzeugbereiches zeigt. Vergleicht man den Highlightverlauf des Scans (Abbildung 2.15, links) mit jenem des fertigen Straks (Abbildung 2.15, rechts), erkennt man aufgrund der welligen Lichtverläufe, dass die Oberflächen nach der Abtastung nur eine sehr geringe Qualität aufweisen. Die Reflexionen des fertigen Straks zeigen hingegen einen kontinuierlichen Verlauf der Spiegelungen, und geben somit Auskunft über eine Oberfläche höchster Qualität.

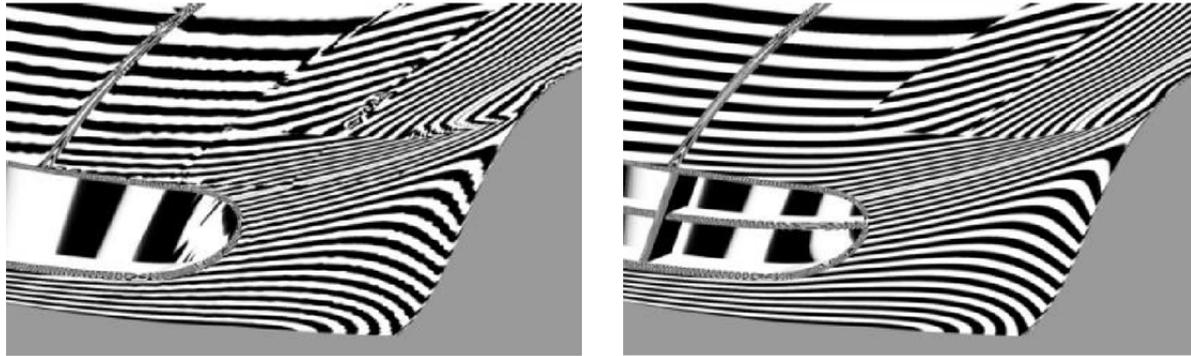


Abbildung 2.15 Highlightanalysen eines Scans (links) & eines Straks (rechts), [21]

2.6 Qualitätskriterien in der Konstruktion von Oberflächen

Die Stetigkeit ist ein Gradmesser für die Übergangsqualität zwischen benachbarten Kurven und Flächen. Man unterscheidet mathematische Stetigkeiten, die auf der exakten Übereinstimmung der Ableitungen beruhen (C-Stetigkeiten) und sehr starken Einfluss auf das Nachbarelement ausüben, und geometrischen Stetigkeiten (G-Stetigkeiten), die mehr Freiheiten beim Übergang erlauben und somit für CAD-Systeme besser geeignet sind. So liegt beispielsweise der Unterschied zwischen G1- und C1-Stetigkeit darin, dass bei der C1-Stetigkeit gegenüber der G1-Stetigkeit zusätzlich zur Tangentenrichtung, auch die Länge der Tangentenvektoren übereinstimmen muss (siehe Abbildung 2.16). [17], [22]

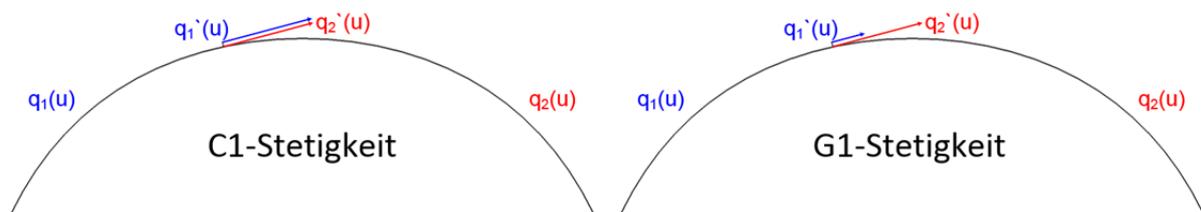


Abbildung 2.16 Unterschied zwischen C1- und G1-Stetigkeit, vgl. [22]

Da in der Erstellung von Strakdaten jedoch die geometrische Stetigkeit zwischen Kurven bzw. Flächen vollkommen ausreichend ist, und im Aussehen der Kurve kein Unterschied auftritt, ist im Weiteren nur noch die G-Stetigkeit von Interesse. [22] Die Klasse der G-Stetigkeiten besteht aus den vier folgenden Stetigkeitstypen:

- Punktstetigkeit/ Lagestetigkeit (G0)
- Tangentenstetigkeit (G1)
- Krümmungsstetigkeit (G2)
- Krümmungsänderungsstetigkeit/ Torsionsstetigkeit (G3)

2.6.1 Punktstetigkeit/ Lagestetigkeit (G0-Stetigkeit)

Unter Lagestetigkeit versteht man den lückenlosen Übergang von begrenzten Flächen oder Patches innerhalb eines Flächenverbandes bzw. den Übergang zwischen Kurven oder Kurvensegmenten ohne Lücken und/oder Überlappungen. Die G0-Stetigkeit stellt sowohl bei Kurven, als auch in Flächenverbänden das wichtigste Qualitätsmerkmal dar. [16] Tritt also am Übergang zwischen Flächen bzw. Kurven eine Lücke bzw. Überlappung auf, so ist der Übergang nicht punktstetig. Abbildung 2.17 zeigt eine Lageunstetigkeit von Kurven, an deren

Übergängen es sowohl zu einer Überlappung als auch zu einer Lücke kommt, während in Abbildung 2.17 beispielsweise ein lageunstetiger Flächenverband dargestellt ist.

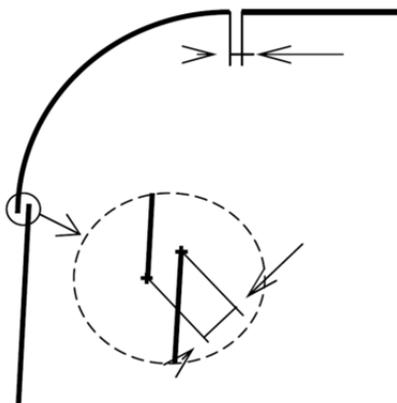


Abbildung 2.17 Beispiel lageunstetiger Kurven, [16]

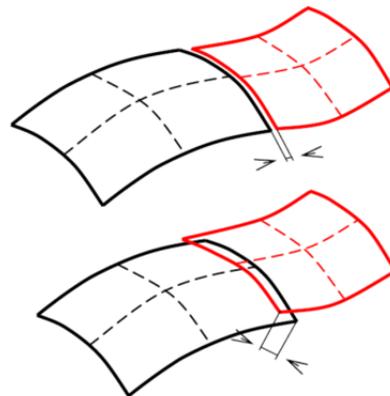


Abbildung 2.18 Beispiel lageunstetiger Flächen, [16]

2.6.2 Tangentenstetigkeit (G1-Stetigkeit)

Tangentenstetigkeit bedeutet den knickfreien Übergang zweier Kurven bzw. zweier benachbarter Patches oder Flächen ohne Änderung des Tangentenwinkels bzw. einer Änderung unterhalb eines vorgegebenen Toleranzwertes. In fertigen Produkten ist eine Tangentenunstetigkeit meist fühl- und sichtbar, sie kann jedoch zur Beschreibung von Fasen oder Charakterlinien auch gewollt sein. [16] Abbildung 2.19 sowie Abbildung 2.20 zeigen wiederum Beispiele für Tangentenunstetigkeit zwischen Kurven bzw. Flächen.

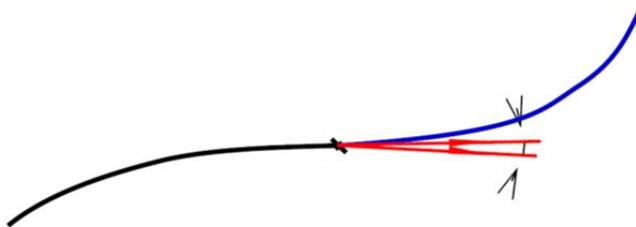


Abbildung 2.19 Beispiel tangentenunstetiger Kurven, [16]

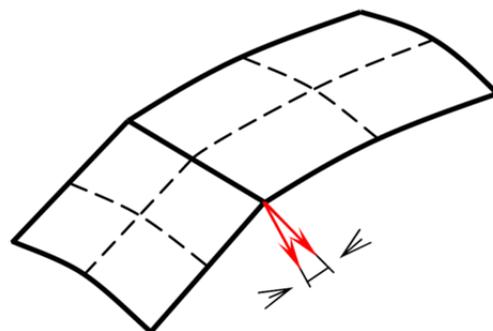


Abbildung 2.20 Beispiel tangentenunstetiger Flächen, [16]

2.6.3 Krümmungsstetigkeit (G2-Stetigkeit)

Krümmungsstetigkeit ergibt sich bei Gleichheit der Krümmungsradien an einer Berührstelle bzw. wenn der Quotient aus der absoluten Differenz der Krümmungsradien und dem Mittelwert der beiden Radien unter einem vorgegebenen Grenzwert liegt. G2-Stetigkeit stellt damit einen harmonischen Krümmungsübergang zwischen Kurven und Flächen dar. [16] Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 2.21, Abbildung 2.22) zeigen krümmungsunstetige Kurven- bzw. Flächenübergänge.

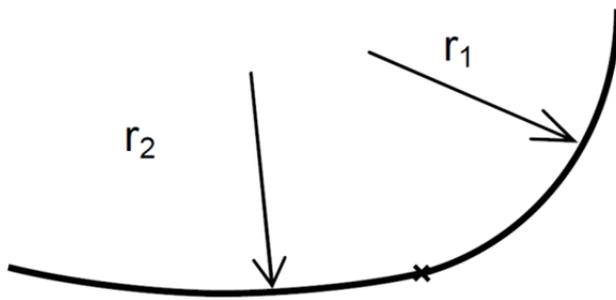


Abbildung 2.21 Beispiel krümmungsunstetiger Kurven, [16]

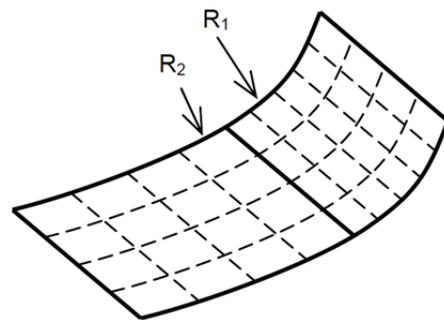


Abbildung 2.22 Beispiel krümmungsunstetiger Flächen, [16]

2.6.4 Krümmungsänderungsstetigkeit/ Torsionsstetigkeit (G3-Stetigkeit)

Torsionsstetigkeit bedeutet, dass nicht nur die Bedingungen der G2-Stetigkeit erfüllt werden, sondern auch, dass die Änderungsrate der Krümmung auf beiden Kurven bzw. Flächen an den gemeinsamen Eckpunkten bzw. Kanten gleich ist bzw. innerhalb einer vorgegebenen Toleranz liegt. Durch die Betrachtung des Krümmungsgitters einer Krümmungsanalyse wird dieser Effekt sichtbar. [18], [23] Abbildung 2.23 zeigt solch eine Krümmungsanalyse zwischen zwei torsionsstetigen Kurven samt dem zugehörigen Krümmungsgitter.

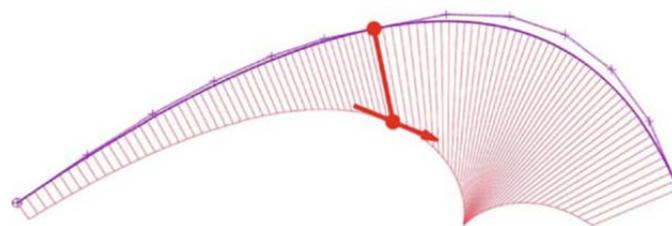


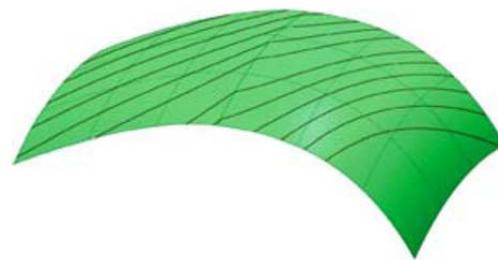
Abbildung 2.23 Beispiel torsionsstetiger Kurven, [17]

2.6.5 Zusammenhang der Stetigkeitstypen zum Reflexionsverhalten

Die Stetigkeit an Übergängen zwischen Flächen bzw. Kurven spielt eine wesentliche Rolle für das Reflexionsverhalten der geometrischen Elemente und stellt somit ein wichtiges Qualitätskriterium für Strakdaten dar. In Abbildung 2.24 sind Highlightverläufe von Flächenübergängen der Typen G0 bis G3 dargestellt. Aus den verschiedenen Darstellungen kann man erkennen, dass die Reflexion stets um einen Stetigkeitsgrad unterhalb des Grades des Flächenüberganges selbst liegt. So ist z.B. die Reflexion eines G1-stetigen Überganges lediglich G0-stetig (Abbildung 2.24, b) bzw. ist für ein G2-stetiges Reflexionsverhalten ein G3-stetiger Flächenübergang erforderlich (Abbildung 2.24, d).



a) G0-Stetigkeit



b) G1-Stetigkeit

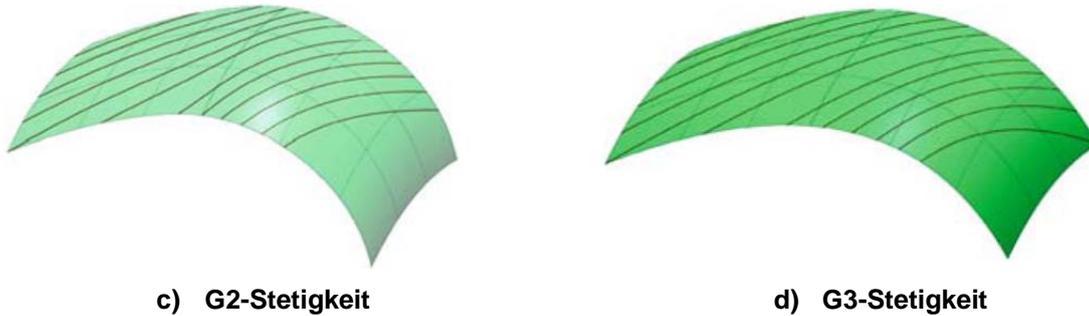


Abbildung 2.24 Highlightverläufe der unterschiedlichen Stetigkeitstypen, [17]

Die geforderten Stetigkeitstypen hängen vor allem vom jeweiligen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess (Entwicklungsphase, Serienphase) bzw. Art der Flächen (sichtbare Flächen, Bearbeitungsflächen ...) ab. So müssen Bearbeitungsflächen keine besonderen Anforderungen bezüglich der Flächenübergänge erfüllen (G0- bzw. G1 Stetigkeit ausreichend), während Übergänge an sichtbaren, stilistisch relevanten Flächen (CLASS A) im Interieur und Exterieur zumindest G2-Stetigkeit, wenn nicht gar G3-Stetigkeit aufweisen müssen.

2.7 Qualitätsklassen von CAD-Daten in der Automobilentwicklung

Zur Beschreibung von Strakdaten in der Automobilentwicklung erfolgt eine Einteilung der Flächen entsprechend ihrer Güte in drei Klassen (*Class A*, *Class B* und *Class C*). Wie bereits zuvor erwähnt, treten abhängig vom jeweiligen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess, sowie der Art der Flächen verschiedene Anforderungen auf, womit die unterschiedlichen Qualitätsklassen zur Anwendung kommen. Diese verschiedenen Klassen unterscheiden sich hauptsächlich in den erlaubten Toleranzbereichen der diversen Stetigkeitstypen bzw. werden in bestimmten Qualitätsklassen einzelne Stetigkeitstypen nicht verlangt. So werden z.B. krümmungsstetige Flächenübergänge erst ab der Qualitätsklasse *Class A* gefordert. Tabelle 2.2 zeigt mögliche Toleranzbereiche von Flächenübergängen der Stetigkeitstypen G0 bis G2 für die einzelnen Qualitätsklassen.

Kriterium	C-Class A	B-Class A	A-Class A
G0-Stetigkeit	< 0,02 mm	< 0,02 mm	< 0,01 mm
G1-Stetigkeit	< 0,5°	< 0,1°	< 0,05°
G2-Stetigkeit	-	-	< 10%

Tabelle 2.2 Toleranzbereiche der G0- bis G2-Stetigkeit je Qualitätsklasse

2.7.1 Class C

Von allen Klassen stellt *Class C* die geringsten Anforderungen an die Qualität von Flächen. *Class C*-Flächen kommen vor allem zu Beginn des Entwicklungsprozesses für erste Evaluierungen von Konzepten und Machbarkeitsstudien zur Anwendung. Sie weisen meist relativ diskontinuierliche Flächenübergänge (Punktstetigkeit) auf. Darüber hinaus werden sie nur noch für verdeckte Bereiche und Komponenten, sowie für Ankonstruktionen (Blechhalterflächen, Ziehwälste, etc.) im Werkzeugbau verwendet. Abbildung 2.25 zeigt beispielsweise solch notwendige Ankonstruktionen (blau und rot dargestellt), die zur Herstellung des eigentlichen Bauteils (grüner Bereich) durch Tiefziehen erforderlich sind. [17], [6]

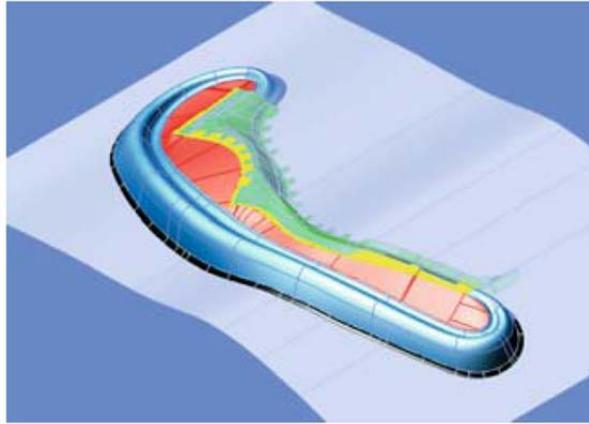


Abbildung 2.25 Flächen der Güte *Class C*, [17]

2.7.2 **Class B**

Verborgene innere Strukturen (z.B. Gerippe, Motorabdeckungen, Unterboden, etc.), die rein funktionelle und keine ästhetischen Aufgaben erfüllen müssen, oder schlecht einsehbare Flächen werden zumeist in der Qualität *Class B* ausgeführt. Flächenübergänge dieser Qualitätsklasse weisen meist den Stetigkeitstyp G1 (Tangentenstetigkeit) auf. In Abbildung 2.25 ist die Innenkonstruktion einer Fahrzeugtür dargestellt, welche einen typischen Anwendungsfall für *Class B*-Flächen im Automobilbereich zeigt. [17], [6]



Abbildung 2.26 Flächen der Güte *Class B*, [17]

2.7.3 **Class A**

Die höchsten qualitativen Anforderungen an geometrische Daten, hinsichtlich Design, Qualität, Ergonomie, Package, Herstellbarkeit, etc., werden durch Flächen der Güte *Class A* (=Strak) erfüllt. Sie findet vor allem im Bereich der design-relevanten Flächen, sprich der sichtbaren Flächen im Interieur und Exterieur Anwendung. Flächenübergänge der Qualität *Class A* zeichnen sich durch ein hohes Maß an Glätte, d.h. der Übergang zwischen zwei Patches bzw. Flächen ist zumindest krümmungsstetig, wenn nicht sogar torsionsstetig, aus. Im Entwicklungsprozess von Fahrzeugen erfolgt innerhalb dieser Klasse eine weitere Aufteilung in die Reifegrade *A-Class A*, *B-Class A* und *C-Class A*. Den Reifegrad *C-Class A* findet man ganz zu Beginn des Entwicklungsprozesses, wenn die Flächen nur die Form der Geometrie an sich beschreiben. Fugen oder dergleichen sind in diesem Stadium der Entwicklung im Strak noch nicht vorhanden. Durch schrittweise Verfeinerung der Oberflächendaten und Einarbeitung von Fugen und Abstimmungen in den Strak wird die

nächsthöhere Qualitätsstufe *B-Class A* erreicht. Der letzte und qualitativ hochwertigste Reifegrad, *A-Class A*, wird durch weitere Detaillierungen im Strak erreicht. So wird die bereits angesprochenen G2- bzw. G3-Stetigkeit der Flächenübergänge für harmonische Lichtverläufe und Spiegelungen, in diesem Reifegrad in den Strak eingearbeitet. (Abbildung 2.27)



Abbildung 2.27 Fahrzeug-Strak des Reifegrades A-CLASS A, [7]

2.8 Wissensbasierte Konstruktion (Knowledge-Based Engineering)

Unter wissensbasierter Konstruktion, kurz KBE, versteht man die Integration von vordefinierten Methoden, Regeln oder Ergebnissen in den Prozessablauf der CAD-Konstruktion. In vielen Fällen erhält man durch die Ergebnisse des Verfahrens neue Informationen zur möglichen Erweiterung der Methode bzw. des Werkzeuges. Diese Implementierung des zuvor generierten Wissens und die Umsetzung in automatisierte Routinen im Konstruktionsprozess führen zu einer signifikanten Verbesserung in der Produktentwicklung, sowie einer deutlichen Reduktion des Entwicklungsaufwandes. Die Methode des KBE hat den großen Vorteil, dass sie für verschiedene Anwendungen bewährte Lösungsansätze zur Verfügung stellt. Jedoch ist zu beachten, dass vor allem für die erstmalige Erstellung dieser Vorlagen-Modelle, Algorithmen und Routinen ein großer Aufwand betrieben werden muss, sowie ständige Wartungs- und Updatevorgänge notwendig sind, um diese Werkzeuge auf dem neuesten Stand zu halten. Ebenso kann in manchen Fällen eine Anwendung des KBE, im Besonderen die Wiederverwendung bestehender Geometriemodelle, eine Einschränkung der kreativen Freiräume für den Konstrukteur bedeuten. Auf lange Sicht gesehen, überwiegen jedoch die potentiellen Gewinne in Leistung und Effizienz gegenüber jenen der zuvor erwähnten Nachteile. Wissensbasierte Applikationen können sowohl als unabhängige Softwarelösungen ausgeführt werden, als auch in Konstruktions- und Simulationsprogramme integriert werden, wobei der Trend dahin geht, KBE-Lösungen direkt in die jeweiligen CAx-Umgebungen einzubinden, weil die meisten Applikationen direkt auf bestehende Funktionen der CAx-Systeme aufbauen. [6]

Durch die breite Palette von Funktionen und Anwendungen findet man in der Literatur verschiedene Definitionen der wissensbasierten Konstruktion. Einerseits beginnt KBE mit der Parametrisierung von verschiedenen geometrischen Objekten im Verlauf des Entwicklungsprozesses, während andererseits die Schaffung umfangreicher, problemorientierter Simulationsalgorithmen innerhalb einer Design-Umgebung einen Übergang in komplexe Software-Anwendungen darstellt. Auf diese Weise wird durch die Erzeugung verschiedener Arten von wissensbasierter Entwurfsmethoden eine Bearbeitung

spezifischer Problemstellungen ermöglicht. Abbildung 2.28 zeigt verschiedene Arten von KBE-Anwendungen im Hinblick auf den Aufwand, der zur Erstellung und Wartung erforderlich ist, sowie den Grad der Komplexität. [6]

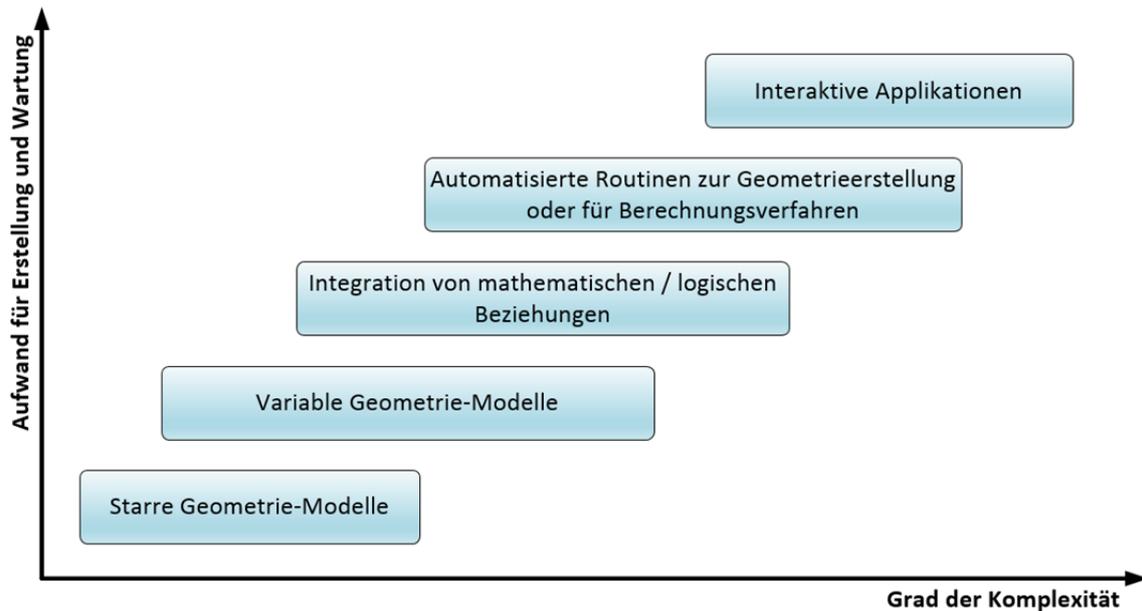


Abbildung 2.28 Die verschiedenen Typen der wissensbasierten Konstruktion, vgl. [6]

Die Gruppe der *Starren Geometrie-Modelle* in Abbildung 2.28 beinhaltet verschiedene Typen von 2- oder 3-dimensionalen nicht parametrisierten Modellen. Diese Modelle stellen meist Komponenten aus früheren Entwicklungsprojekten, die eins zu eins in die neue Konstruktion übernommen werden (COP), oder einfache Standardbauteile dar. Aufgrund dieser Tatsachen beschränkt sich der Aufwand zur Erstellung und Wartung dieser Modelle einzig auf organisatorische Punkte und die Datenbereitstellung. *Variable Geometrie-Modelle*, auch bekannt als Vorlagemodelle, beinhalten die vordefinierten Konfigurationen der geometrischen Parameter zur Steuerung der geometrischen Eigenschaften. Im Vergleich zur Herstellung von Vorlagemodellen aus starren Modellen ist die Erzeugung von variablen Vorlagen um ein Vielfaches komplexer und führt somit zu einem höheren Aufwand bezüglich Erzeugung und Wartung. Durch die *Integration von mathematischen und logischen Beziehungen* in die Modelle mittels Formeln, Regeln oder Reaktionen bietet sich ein hohes Potential im Bereich der unterstützten Geometrieerstellung. Logische Beziehungen sowie mathematische Kombinationen der Parameter, die die Abmessungen des Modells vorgeben, erweitern die Möglichkeit der Steuerung der Geometrie durch Eingabeparameter zusätzlich. Neben geometrischen Eigenschaften können auch andere Parameter (z.B. Material, Gewicht) automatisch im Designprozess berechnet werden. *Automatisierte Routinen zur Geometrieerstellung oder für Berechnungsverfahren* werden durch integrierte Skripte (Makros), z.B. mittels VBA (Visual Basic for Application), die entsprechend den Anforderungen der Softwareentwicklung konfiguriert wurden, durchgeführt. Ausgehend von Eingabeparametern oder geometrischen Eingabeelementen werden Berechnungsergebnisse und/oder neue geometrische Elemente generiert. Automatische Routinen werden in Vorlagemodellen umgesetzt und benötigen einigen Aufwand an Pflege und Wartung. *Interaktive Applikationen* werden im Gegensatz zu automatisierten Routinen nicht innerhalb von CAD-Modellen programmiert, sondern in angewandten Software-Entwicklungs-umgebungen (z.B. Microsoft Visual Studio) und sind deshalb unabhängig vom aktuell

geladenen Modell in der CAD-Umgebung. Interaktive Anwendungen stellen problemorientierte Softwarelösungen für spezifische Aufgaben dar. Diese Softwarelösungen sind durch grafische Benutzeroberflächen, kurz GUI (Graphical User Interfaces) für die benutzerfreundliche Handhabung, professionelle Parameterverwaltung und integrierte Berechnungs- oder Simulationsverfahren charakterisiert. Falls erforderlich, können CAD-externe Softwarepakete oder Datenbanken über Datenschnittstellen integriert werden. Auf diese Weise ermöglichen interaktive Anwendungen eine Integration von CAE-Methoden in einen CAD-Prozess. [6]

Diese Integration von wissensbasierten Methoden und Werkzeugen in den Entwicklungsprozess kann die Produktentwicklung maßgeblich unterstützen und gleichzeitig die Entwicklungseffizienz, sowie das produkt- und prozessbezogene Know-how verbessern. Die verschiedenen Phasen der wissensbasierten Konstruktion, mit den verschiedenen Ebenen der Komplexität, ermöglichen somit eine problemorientierte Auswahl geeigneter Lösungsansätze. Es ist jedoch zu bedenken, dass die Umsetzung neuer Methoden und Werkzeuge immer mit einem gewissen Aufwand zur Erstellung und Betreuung dieser Applikationen verbunden ist. [6]

3 Prüfung von CAD-Daten

Dieses Kapitel befasst sich mit den Anforderungen sowie den verschiedenen, externen und in CAD-Programmen enthaltenen internen Prüfwerkzeugen zur Qualitätsprüfung von Fahrzeug-Strakdaten. Im Weiteren werden die geeigneten Prüfmethoden für die jeweiligen Anforderungen erarbeitet, sowie anschließend die Vorgehensweise zur Erstellung einer geeigneten Prüfkongfiguration gezeigt.

3.1 Anforderungen an Strak-Daten

An Strakdaten wird in der Entwicklung von Fahrzeugen eine Vielzahl verschiedener Anforderungen bezüglich der Flächenqualität, dem Datenaufbau, der Strukturierung, etc. gestellt. Grundsätzlich kann man hierbei zwischen allgemeinen, die für alle Qualitätsklassen und Reifegrade gelten, und speziellen Anforderungen, welche nur in bestimmten Fällen verlangt werden bzw. je nach Qualitätsklasse unterschiedlich gewichtet werden, unterscheiden.

Bei vielen Automobilherstellern beginnen diese bereits bei der Vorgabe der zu verwendenden geometrischen sowie mathematischen Beschreibung der Strakdaten. Aufgrund der Neigung zur Wellenbildung von B-Spline- bzw. NURBS-Elementen werden für Strakdaten oftmals nur Bézierflächen bzw. Bézierkurven akzeptiert. Die Entformbarkeit bzw. Offsettiefbarkeit stellen weitere Kriterien bei der Erzeugung von Strakflächen dar. Die Entformbarkeit von Flächen ist bei deren Erstellung stets zu beachten, denn treten innerhalb der Flächenverbände z.B. Hinterschneidungen auf, sind diese Elemente trotz der Erfüllung aller anderen qualitativen Anforderungen fertigungstechnisch nicht herstellbar und somit unbrauchbar. Bei der Offsettiefbarkeit von Flächen bedarf es einer Unterscheidung der Bauteile zwischen Blechteilen und Volumenbauteilen. Für Blechteile ist zumindest die Offsettiefbarkeit der Blechdicke zu gewährleisten, während es bei Volumenbauteilen möglich sein muss, die Bauteildicke aufzudicken. Bei Volumenbauteilen, z.B. durch Spritzguss gefertigte Bauteile, wie dem *Bumper Beam* in Abbildung 3.1, kann jedoch der Effekt auftreten, dass die Bauteildicke größer als der kleinste Krümmungsradius im Flächenverband ist. Tritt dieser Fall ein, so muss die Innenkontur des Bauteils als eigenständige Konstruktion erstellt werden. Abbildung 3.1 zeigt die Offsetflächen des *Bumper Beams* (blau) sowie des *Tow Covers* (gelb) eines *Front Bumpers*.

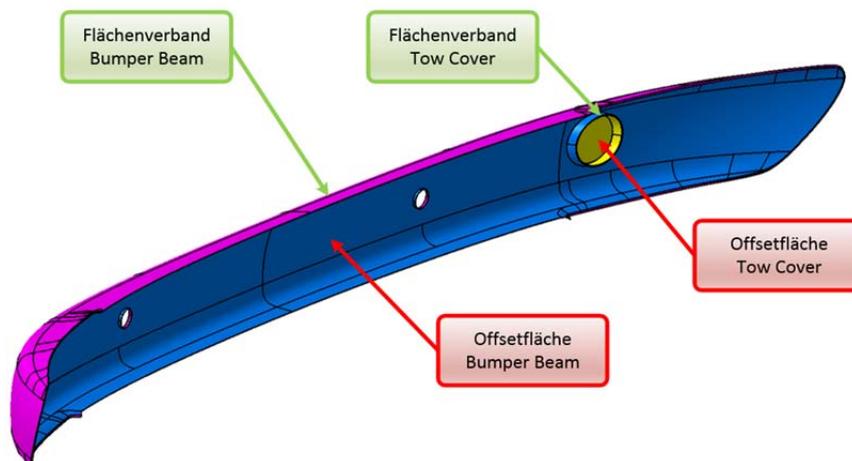


Abbildung 3.1 *Front Bumper* mit Offsetflächen

Krümmungsradien in Flächenverbänden dürfen aus gesetzlichen und fertigungstechnischen Aspekten gewisse *Mindestradien* nicht unterschreiten, sowie maximale Krümmungsradien nicht überschreiten. So wird aus fertigungstechnischer Sicht der minimale Krümmungsradius meist durch die Bauteildicke plus 20 Prozent Zuschlag von dieser definiert, während die Maximalwerte (z.B. ca. 48.000 mm für Stahlblech bzw. ca. 40.000 mm für Aluminiumblech im Bereich des Seitenstraks oder ca. 18.000 mm bei Dachflächen) durch die Presswerktechnik vorgegeben werden. In manchen Fällen kann ein Überschreiten dieser Grenzwerte jedoch trotzdem akzeptiert werden, wenn zum Beispiel im betreffenden Flächenbereich die Krümmung in Querrichtung so groß ist, dass die zu kleine Krümmung in Längsrichtung kompensiert wird. Bei Konstruktionen der Frontklappen- bzw. vorderen Seitenwandflächen sind jedenfalls die Vorschriften für den Fußgängerschutz (z.B. Mindestradien bei hervorstehenden Kanten und Ecken) zu beachten. Für Radien ab einem bestimmten Wert (ca. 3 mm) ist der Übergang zu benachbarten Flächenelementen je nach Situation G2- bzw. G3-stetig auszuführen. Tangentenstetige Anschlüsse sind nur bei Verrundungen mit technologischen Minimalradien erlaubt, z.B. an Kanten von Abstellungen. Tabelle 3.1 zeigt mögliche, zulässige *Toleranzen* für Flächenverbände bzw. Flächenübergänge der einzelnen Qualitätsklassen in der Strakentwicklung, welche je nach Hersteller und Fahrzeug-Projekt unterschiedlich sein können.

Kriterium	C-Class A	B-Class A	A-Class A
G0-Stetigkeit	<0,02mm	<0,02mm	<0,01mm
G1-Stetigkeit - Exterieur	<0,5° (0°30')	<0,1° (0°6')	<0,05° (0°3')
G1-Stetigkeit - Interieur	<0,5° (0°30')	<0,2° (0°12')	<0,1° (0°6')
G2-Stetigkeit	-	-	<10%
G3-Stetigkeit	-	-	-
Mindestradius	0,1mm	0,1mm	0,1mm
Normalenorientierung	gleich	gleich	gleich
Normalenumklappung	keine	keine	keine
Welligkeit	keine	keine	keine

Tabelle 3.1 Erlaubte Toleranzen für die verschiedenen Qualitätsklassen

Je nach Stadium in der Entwicklungsphase bzw. geforderter Qualitätsklasse sind Flächen- bzw. Kurvenübergänge G0-, G1-, G2- oder G3-stetig auszuführen, wobei die Anschlussgenauigkeit im Allgemeinen am Ende des Entwicklungsprozesses aller Übergänge eine *Stetigkeit* des Typs G3 aufweisen muss. Diese strengen Randbedingungen können jedoch zu Welligkeiten führen, womit ein G3-stetiger Übergang zwischen Kurven bzw. Flächen nicht zwingend zu einem harmonischeren Verlauf führen muss. (siehe Abbildung 3.2)

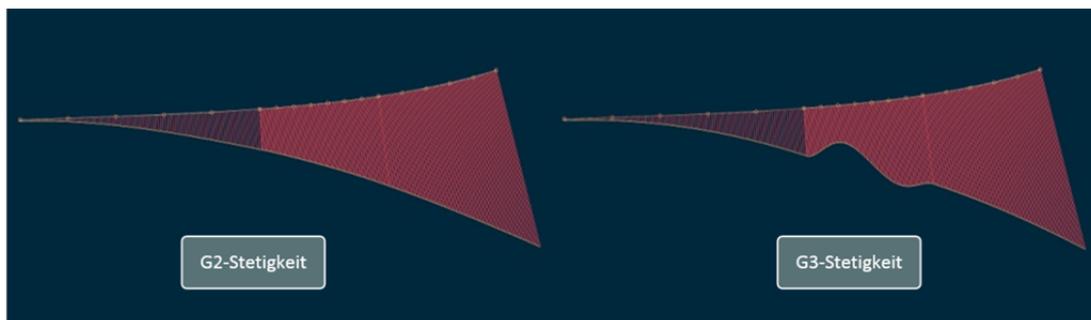


Abbildung 3.2 Übergang zwischen Kurvenabschnitten mit G2-Stetigkeit (links) und G3-Stetigkeit (rechts)

Weitere Punkte, die beim Aufbau von Flächen eines Fahrzeugstraks zu beachten sind, sind die *Patchstruktur* sowie die *Gewichtung* des Kontrollpunktnetzes. Grundsätzlich sollen Strakflächen mit möglichst wenig Patches mit möglichst geringer Ordnung aufgebaut werden, sowie eine gewichtete Verteilung des Kontrollpunktnetzes nur in begründeten Ausnahmefällen erfolgen. Patchgrenzen richten sich nach der Krümmungsänderung. Beim Setzen dieser Patchgrenzen ist zu beachten, dass ein- und dasselbe Patch nicht sowohl konvexe, als auch konkave Bereiche enthält. In einem solchen Fall muss das Patch entlang der Kurve an welcher der Richtungswechsel der Krümmung stattfindet, getrennt werden. Dadurch wird ein genau definierter Lichtverlauf im konvex-konkaven Übergangsbereich gewährleistet. Abbildung 3.3 zeigt schematisch zwei Flächenverbände mit einer gewollten „geringen“ Patchanzahl (links), sowie einer ungewollten „hohen“ Anzahl an Patches (rechts).

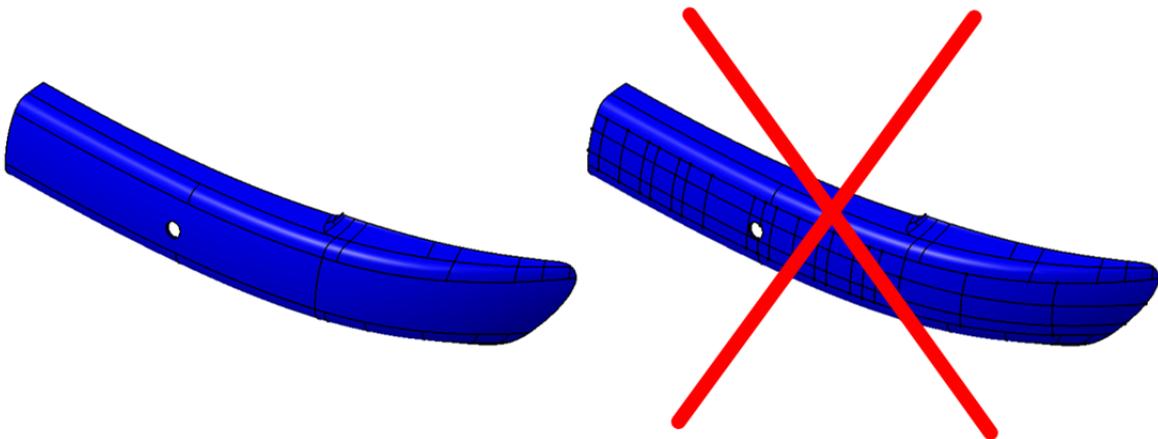


Abbildung 3.3 Fläche mit "geringer" Patchanzahl (li.), sowie "hoher" Patchanzahl (re.)

In späteren Arbeitsschritten, z.B. in der CFD-Simulation oder Werkzeugkonstruktion werden Basisflächen ohne Verrundungen oder Fugen benötigt, weshalb eine tangential- bzw. krümmungsstetige *Extrapolation* der Flächen über das Fugenmaß hinaus möglich sein muss. (Abbildung 3.4, links) Um im späteren Konstruktionsprozess in jedem Fall Beschnittoperationen an den *Abstellungen* durchführen zu können, müssen diese mit einem Übermaß von 10 – 20% vom Sollmaß ins Konzept eingearbeitet werden. (Abbildung 3.4, rechts)

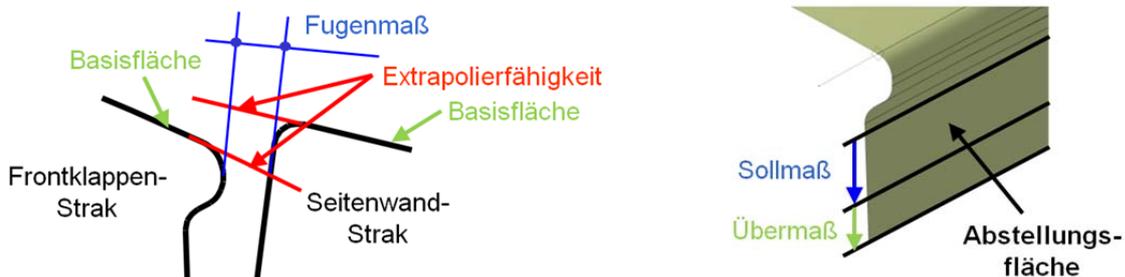


Abbildung 3.4 Extrapolierfähigkeit (links) und Übermaß von Abstellungen (rechts), vgl. [1]

Ebenso sollen zur Mittelebene symmetrische Patches über die Mitte hinweg symmetrisch aufgebaut werden, d.h. eine ungerade Ordnung in Querrichtung aufweisen, sodass die mittlere Kontrollpunktreihe in der Symmetrie-Ebene liegt. In Abbildung 3.5 ist sowohl ein Beispiel eines symmetrischen Patches mit konformer, ungerader Ordnung (links) und nicht konformer, gerader Ordnung (rechts) in Querrichtung dargestellt.

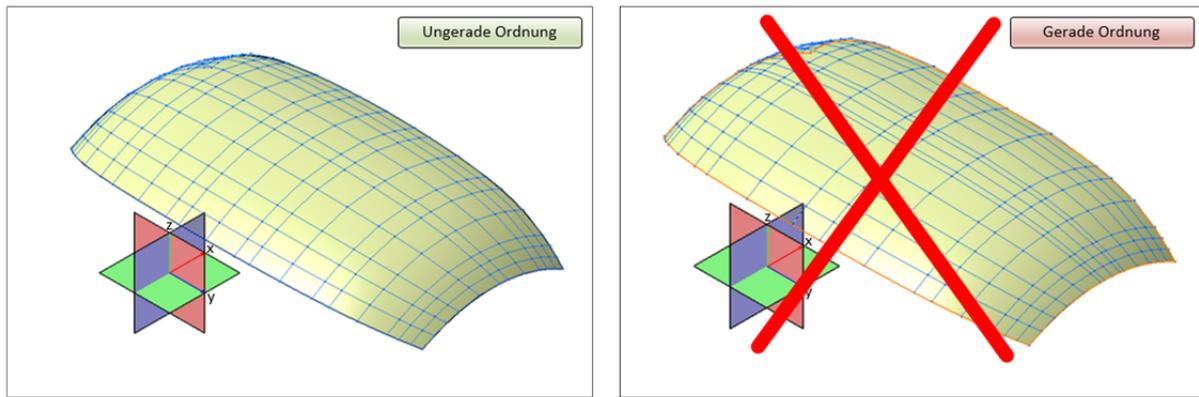


Abbildung 3.5 Symmetrisches Patch mit ungerader Ordnung (li.) und gerader Ordnung (re.)

Die Highlight- sowie Licht- und Schattenverläufe der Flächenmodelle müssen mit denjenigen des Clay-Modells bzw. dessen Abtastung übereinstimmen oder besser sein. So müssen Highlight- und Reflexionslinien harmonische Verläufe besitzen, d.h. es treten keine Knicke, Versetzungen, Diskontinuitäten, etc. in den Lichtlinien auf und deren Übergänge sind möglichst tangentialstetig und weisen zudem keine Wellenbewegung auf. Harmonische Fugenverläufe und konstante Fugenabstände, sowie keine S-Schläge oder Herzformen sind ebenso wichtige Kriterien in der Strakerstellung. In Abbildung 2.15 sind beispielweise die Highlights eines Scans (links) bzw. eines Fahrzeugstraks (rechts) dargestellt.

Weitere Kriterien für die Erzeugung von Strakdaten hoher Qualität sind unter anderem die einheitliche *Ausrichtung der Flächen-Normalen* (entweder in Richtung der Materialstärke oder in Richtung der Sichtfläche) im kompletten Flächenverband oder die Einhaltung der *Face-Toleranzen* beim Beschneiden der Trägerfläche (z.B. erlaubte Lücke zwischen Berandungskurven).

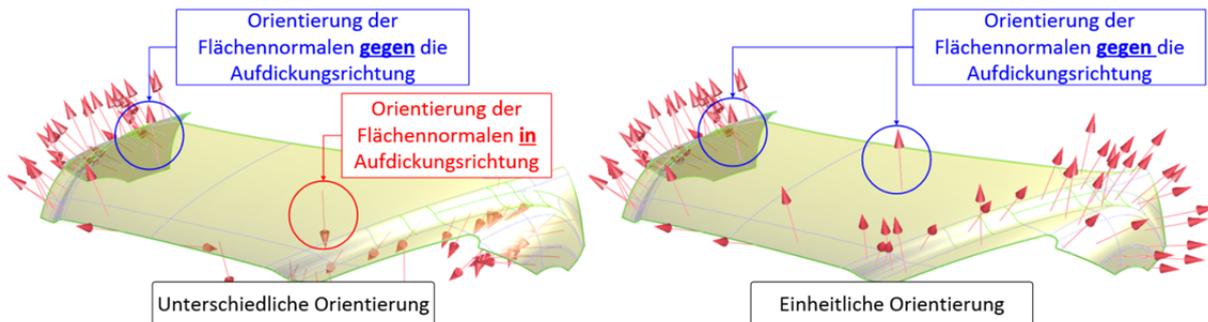


Abbildung 3.6 Normalenausrichtung Motorhaube: nicht ausgerichtet (links) und ausgerichtet (rechts)

Um die Weiterverarbeitbarkeit gestrahter Flächen in Folgeoperationen und anderen Disziplinen gewährleisten zu können, müssen von diesen noch weitere spezielle Anforderungen erfüllt werden. Eines der wichtigsten Kriterien ist die Möglichkeit einer fehlerfreien Erstellung eines zusammenhängenden Flächenverbandes (*Join*) in CATIA V5®, welcher meist der Ausgangspunkt für alle nachfolgenden Prüf- sowie Konstruktions- und Simulationsschritte im weiteren Entwicklungsprozess ist (Abbildung 3.7). So dient dieser Flächenverband z.B. dem Bauteilkonstrukteur später als Grundlage zur Erstellung der einzelnen Fahrzeugteile und Baugruppen. Des Weiteren ist zur Prüfung der verschiedenen Stetigkeitstypen an Flächenübergängen eine zusammenhängende Topologie unbedingt

erforderlich. Die Prüfung der Offsettbarkeit von Flächen wäre ohne die Erstellung einer zusammenhängenden Topologie ebenso nur bedingt möglich bzw. wenig sinnvoll. Zwar ist es möglich jede Fläche eines Bauteils einzeln aufzudicken, dies bedeutet jedoch einen großen zeitlichen Aufwand und diverse Fehler, wie zu kleine Übergangsradien zwischen Flächenelementen, die dadurch übersehen werden können.

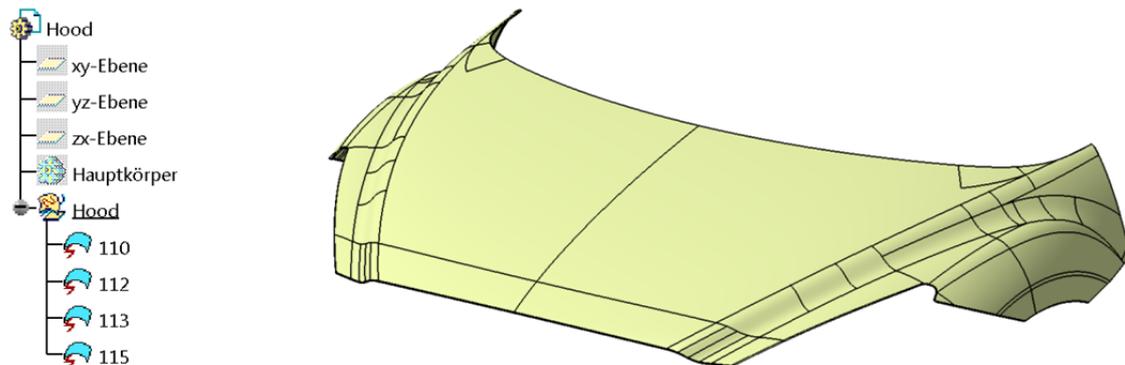


Abbildung 3.7 Flächenverband einer Motorhaube mit zugehörigem Modellbaum in CATIA V5®

Auch können durch die Erstellung eines zusammenhängenden Flächenverbandes bereits verschiedene Fehler ohne spezielle Prüfung erkannt bzw. ausgeschlossen werden. Treten z.B. topologische Fehler in einem Bauteil auf (Abbildung 3.8), ist die Erzeugung eines Flächenverbandes nicht möglich und es bedarf somit einer Überarbeitung der Geometrie, womit auf eine genauere Prüfung der Flächen hinsichtlich anderer Kriterien (Stetigkeiten, Reflexionen, etc.) vorerst verzichtet werden kann.

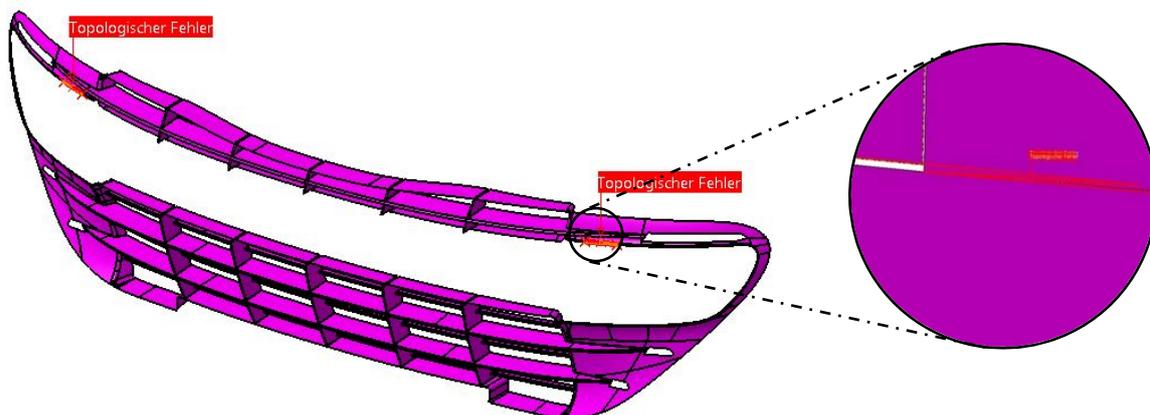


Abbildung 3.8 Topologischer Fehler beim Versuch der Erstellung eines Flächenverbandes in CATIA V5®, Front Grill

Wurden bei der Erstellung der Daten im CAID-System fälschlicherweise mehrere Teile innerhalb eines Moleküls, z.B. *Bumper Beam* und *Tow Cover* des *Front Bumpers* nicht gesplittet abgelegt, kann dies in vielen Fällen ebenfalls durch den Versuch, einen zusammenhängenden Flächenverband zu erstellen, erkannt werden. Dadurch kann ein weiteres wesentliches Kriterium in der Strakentwicklung aufgezeigt werden, die Strukturierung. Ein übersichtlicher und logischer Aufbau der Datenstruktur spielt in der

Weiterverarbeitbarkeit von Strakdaten eine große Rolle. Aufgrund der enormen Menge der einzelnen Elemente (Flächen, Kurve, etc.) in den jeweiligen Bauteilen und der ebenso großen Anzahl verschiedener Teile in den unterschiedlichen Teilbereichen eines Fahrzeuges ist die richtige Zuordnung und Benennung dieser Elemente für die Übersichtlichkeit, das Handling und die Weiterverarbeitbarkeit im weiteren Entwicklungsprozess von essentieller Bedeutung. So ist es ratsam, sich vor Beginn der Strakerstellung eine geeignete und übersichtliche Struktur zu überlegen bzw. zu erarbeiten, und diese anschließend über den kompletten Entwicklungsprozess beizubehalten, um ein rasches und vor allem fehlerfreies Arbeiten zu ermöglichen. Durch die Festlegung einer einheitlichen Strukturierung für die gesamte Fahrzeugentwicklung bietet sich im Weiteren die Möglichkeit, standardisierte Vorgehensweisen und Werkzeuge in den Entwicklungsprozess zu implementieren. Abbildung 3.9 zeigt die Strukturierung eines *Front Bodies* mit den verschiedenen Strukturierungsebenen in ICEM Surf® (links) und CATIA V5® (rechts).

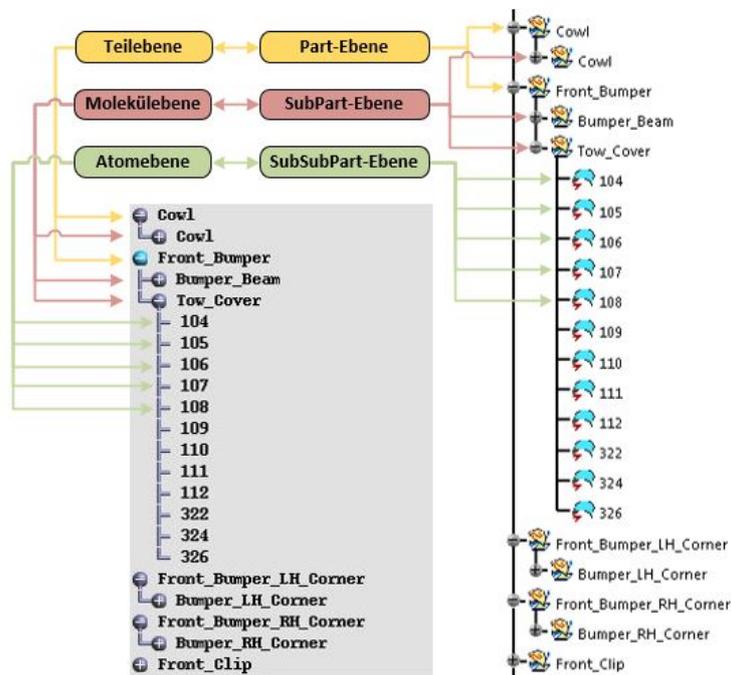


Abbildung 3.9 Ausschnitt aus der Datenstruktur eines *Front Bodies* in ICEM Surf® (links) und CATIA V5® (rechts)

Den dritten Punkt bezüglich Strakdaten, neben qualitativen und strukturellen Anforderungen, stellen die Meta-Informationen dar. Mit ihnen werden über die rein geometrischen Informationen hinaus technologische Eigenschaften von Flächen, wie das Oberflächenmaterial, der Autor, der Freigabestatus, etc., übertragen. Durch die frühzeitige Definition und Einarbeitung dieser Informationen bereits in der Erstellung des Fahrzeugstraks, können Unklarheiten und Rückfragen im weiteren Entwicklungsprozess ausgeschlossen werden und führen somit zu einer wesentlichen Zeit- und Kostenersparnis über den gesamten Prozess. Diese zu Beginn des Prozesses definierten Informationen können schlussendlich mit den CAD-Daten in ein PDM-System übertragen werden und stehen somit den Nachfolgeprozessen zur Verfügung.

Tabelle 3.2 soll zusammenfassend eine Übersicht über die zuvor erwähnten allgemeinen Anforderungen an Strakdaten in der Fahrzeugentwicklung geben.

Allgemeine Anforderungen/ Kriterien
Flächenverband mit und ohne Konnektivität muss erstellbar sein
Offsettierbarkeit mit fixen und variablen Offsetwerten muss erstellbar sein
Richtige geometrische bzw. mathematische Beschreibung der Strakdaten (keine NURBS-Strukturen, nur Bézier-Kurven und Bézier-Flächen)
Entformbarkeit ist stets zu gewährleisten
Gesetzliche und fertigungstechnische Mindest- und Maximalradien sind einzuhalten
Verrundungen größer 3 mm sind mit Anlauf und G2- bzw. G3-stetig auszuführen
Flächen müssen über das Fugenmaß hinaus extrapolierbar sein
Abstellungen müssen mit einem Übermaß von 10 - 20% vom Sollmaß konstruiert werden
Anschlüsse zwischen Kurven und Flächen müssen im Allgemeinen G3-stetig sein
Flächenaufbau mit möglichst wenigen Patches mit möglichst geringer Ordnung
Keine konvex-konkaven Patches, Patchgrenzen entsprechend setzen
Gewichtung des Kontrollpunktnetzes nur in begründeten Ausnahmefällen
Ungerade Ordnung bei symmetrischen Patches über die Mittelebene
Lichtlinienverlauf gleich oder besser als jener der Abtastung
Kein Versatz, keine Diskontinuitäten in den Lichtlinien, harmonische Verläufe
Keine S-Schläge oder Herzformen
Highlights, Licht- und Schattenverläufe müssen mit jenen des Clay-Modells übereinstimmen
Richtung der Flächennormalen muss einheitlich sein
Einhaltung der Face-Toleranzen
Einhaltung der Toleranzen für Flächenübergänge (G0- bis G3-Stetigkeit)
Keine Welligkeit in Flächen
Übersichtliche und logische Strukturierung der Daten
Einarbeitung von Meta-Informationen in den Strak

Tabelle 3.2 Auflistung allgemeiner Anforderungen an einen Fahrzeugstrak

Neben den Möglichkeiten zur Überprüfung der bereits erwähnten Anforderungen bezüglich der verschiedenen Stetigkeitstypen (Lage-, Tangenten-, Krümmungs- und Torsionsstetigkeit) bieten Prüfprogramme noch eine Vielzahl weiterer interessanter Prüfkriterien (Minielemente in Berandungskurven, spitze Winkel zwischen Berandungskurven, schmale begrenzte Flächen, etc.) zur Bewertung von Strakdaten an. Um einen Überblick über die wichtigsten qualitativen Anforderungen an Flächen und Kurven eines Fahrzeugstraks zu bekommen, soll eine Auswahl dieser in Tabelle 3.3 aufgelistet werden, sowie wird, falls vorhanden, die zugrunde liegende VDA 4955/2 Norm neben dem jeweiligen Kriterium angegeben.

Spezielle Anforderungen/ Kriterien	VDA 4955/2
Leere Domains	
Multi-Domain Fläche	[G-SO-MU]
Identische Flächen-Features	[G-SO-EM]
Überbelegter Eckpunkt	[G-SH-OU]
Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband	[G-SH-IT]
Offener oder überlappender Flächenverband	[G-SH-FR]
Tangentenstetige Randkurve beim Flächenverband	
Treppenkante in Randkurve beim Flächenverband	

Überbelegte topologische Kante	[G-SH-NM]
Krümmungs-unstetig begrenzte Flächen (G2-Unstetigkeit)	[G-SH-NS]
Lage-unstetig begrenzt Flächen (G0-Unstetigkeit)	[G-SH-LG]
Tangenten-unstetig begrenzte Flächen (G1-Unstetigkeit)	[G-SH-NT]
Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband	[G-SH-IT], [G-FA-IT]
Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes	[G-SH-IS], [G-SO-IS]
Scharfe Kante im Flächenverband	[G-SH-SA]
Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges	[G-LO-IS], [G-FA-IS]
Inkonsistente Orientierung von Berandungskurve in Berandungskurvenzug	[G-LO-IT]
Lage-unstetige Berandungskurven (G0-Unstetigkeit)	[G-LO-LG]
Spitzer Winkel zwischen Berandungskurven	[G-LO-SA]
Hohe Segmentanzahl in Berandungskurve	[G-ED-FG]
Geschlossene Berandungskurve	[G-ED-CL]
Minielement Berandungskurve	[G-ED-TI]
Minielement Berandungskurvensegment	[G-ED-TI]
Geschlossene begrenzte Fläche	[G-FA-CL]
Identische begrenzte Fläche	[G-FA-EM]
Minielement begrenzte Fläche	[G-FA-TI]
Schmale begrenzte Fläche	[G-FA-NA], [G-FA-RN]
Degenerierter Eckpunkt von Flächensegmenten (spitzer oder flacher Winkel)	[G-SU-DP]
Großer Krümmungsradius in Fläche	[G-SU-CR]
Krümmungs-unstetige Flächensegmente (G2-Unstetigkeit)	[G-SU-NS]
Lage-unstetige Flächensegmente (G0-Unstetigkeit)	[G-SU-LG]
Tangenten-unstetige Flächensegmente (G1-Unstetigkeit)	[G-SU-NT]
Relativ schmale begrenzte Flächen	
Identische Fläche	[G-SU-EM]
Kleiner Krümmungsradius in Fläche	[G-SU-CR]
Minielement Fläche	[G-SU-MU]
Hoher Polynomgrad einer Fläche	[G-SU-HD]
Planare Flächen mit Polynomgrad größer als 1	
Hohe Segmentanzahl in Fläche	[G-SU-FG]
Unbelegte Flächensegment-Reihen	[G-SU-UN]
Welligkeit von Flächen	[G-SU-WV]

Tabelle 3.3 Auflistung ausgewählter spezieller Prüfkriterien für Strakdaten im Fahrzeugbau

3.2 Mögliche Prüfwerkzeuge für Strakdaten

Wie bereits zu Beginn erwähnt, werden aufgrund der stetig steigenden Qualitätsanforderungen in der Entwicklung von Fahrzeugen rasche und zuverlässige Methoden zur Prüfung von CAD-Daten benötigt. Grundsätzlich kann eine manuelle Prüfung von CAD- bzw. CAID-Daten in den jeweiligen CAx-Systemen (CATIA V5®, ICEM Surf®, etc.) selbst durchgeführt werden. Da eine vollständige, manuelle Kontrolle dieser Flächendaten jedoch nur mit einem enormen zeitlichen Aufwand durchgeführt werden kann, und aufgrund der hohen Komplexität heutiger Konstruktionen wahrscheinlich nicht zu den gewünschten Ergebnissen führen würde, vertrauen Automobilhersteller sowohl auf interne Prüfprogramme,

welche in das jeweilig benutzte CAD-Programm implementiert sind (z.B. CATDUA V5 in CATIA V5®, CheckMate in Siemens NX®), oder nutzen externe Programme (z.B. Q-Checker®, 3D Evolution®, CADIQ®) zum Überprüfen ihrer CAD-Daten nach Normen wie SASIG [24] oder VDA 4955/2 [16].

Die Prüfbereiche dieser internen und externen Programme lassen sich grob in drei Kategorien einteilen:

- Geometrie
- Normen und Standards
- Entwicklungsmethodik

Bei der Geometrieprüfung werden die jeweiligen Bauteile gezielt nach ausgewählten Prüfkriterien wie Überlappungen, Minielementen, Unstetigkeiten, usw. geprüft. Da Fehler somit gleich bei der Konstruktion und nicht erst bei nachfolgenden Operationen erkannt werden, können somit Schleifen zur Geometrieanpassung und daraus folgende Verzögerungen im weiteren Prozessablauf vermieden werden. Die Prüfung der Daten bezüglich Normen und Standards kontrolliert unter anderem die Benennung der Modelle, den Speicherzustand oder auch die Einhaltung firmenspezifischer CAD-Richtlinien. Die Entwicklungsmethodik ist meist eine rein unternehmensspezifische Prüfung, da in dieser Kategorie unter anderem der Modellaufbau, notwendige Bauelemente sowie wiederum korrekte Benennungen geprüft werden können.

3.2.1 Externe Prüfwerkzeuge bzw. Prüfprogramme

Je nach CAX-Software bzw. Datenformat steht zur Prüfung von CAD-Daten eine mehr oder weniger große Anzahl an verschiedenen, externen Prüfprogrammen zur Verfügung. Gewisse Programme sind reine Prüfprogramme, wie der Q-Checker® in CATIA V5® oder CheckMate in Siemens NX®, die direkt in das jeweilige CAD-System als Plug-In implementiert sind, während andere Programme wie CADIQ® oder der CADdoctor® eigentlich Konvertierungsprogramme mit integrierten Qualitätscheckern sind, und somit eine größere Bandbreite an möglichen CAD-Datenformaten bearbeiten und prüfen können. Tabelle 3.4 zeigt eine kurze Auflistung der zurzeit vorhandenen Prüfprogramme und welche Datenformate von den jeweiligen Programmen unterstützt werden.

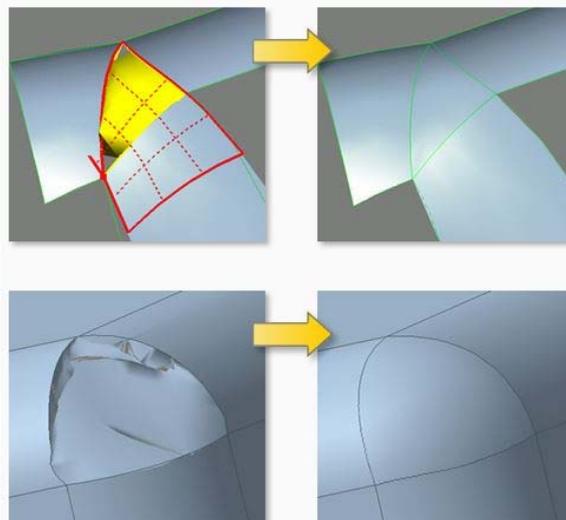


Abbildung 3.10 Beispiel einer Fehlerbehebung mit dem Healing-Tool des CADdoctors®, [25]

Zusätzlich zu den reinen Prüffunktionen bieten fast alle diese Anwendungen ein so genanntes Healing-Werkzeug zur Datenreparatur der beschädigten Modelle an. Abbildung 3.10 zeigt beispielhaft die Behebung zweier solcher Fehler durch die Anwendung der Healing-Funktion der Software CADdoctor®. Diese Tools dienen vor allem der Reparatur von Konvertierungsfehlern bei der Übertragung der Daten von einem CAX-System in ein anderes. Besonders hilfreich sind diese Applikationen bei der Erstellung von Modellen zur Durchführung von FEM- oder CFD-Simulationen. Bei diesen Anwendungen ist es im Gegensatz zur Oberflächenkonstruktion nicht notwendig, die hohen qualitativen Anforderungen, wie z.B. Krümmungsstetigkeiten, einzuhalten, womit mit diesen Werkzeugen eine schnelle Reparatur der fehlerhaften Geometrie möglich ist. In der Oberflächenkonstruktion liegen geometrische Eingriffe in die Topologie der Modelle einzig und allein im Arbeits- und Verantwortungsbereich der jeweiligen Design- bzw. Strak-Disziplin, weshalb keine Verwendung dieser Werkzeuge erlaubt ist. Die Änderungen der Geometrie bzw. die Behebung etwaiger Fehler sind ausschließlich in der Oberflächenkonstruktion im CAID-System (z.B. ICEM Surf®) durchzuführen.

Programm	Hersteller	unterstützte CAD-Datenformate
Q-Checker® [26]	Transcat	CATIA® (Plugin)
CheckMate® [27]	Siemens	Siemens NX® (Plugin)
CADIQ® [28]	ITI TranscenData	CATIA V5®, Siemens NX®, PTC Creo®, SolidWorks®, Inventor®, IGES, STEP, Parasolid
spGate® [29]	Armonicos	CATIA V5®, Siemens NX®, PTC Creo®, SolidWorks®, IGES, STEP, Parasolid
3D Evolution® [30]	CT CoreTechnologie	CATIA V5®, Siemens NX®, PTC Creo®, SolidWorks®, STEP, JT
CADdoctor® [31]	Elysium	CATIA V5® (Plugin), CATIA V5®, PTC Creo® (Plugin), PTC Creo®, Siemens NX® (Plugin), Siemens NX®, Parasolid, STEP, IGES

Tabelle 3.4 Externe Prüfprogramme für CAD-Daten

Die Arbeitsweise der verschiedenen Prüfprogramme ist im Allgemeinen sehr ähnlich und richtet sich hinsichtlich der verschiedenen Prüfmöglichkeiten nach Normen wie SASIG [24] oder der VDA 4955/2 [16]. Einzig die Anzahl der zur Verfügung stehenden Prüfoptionen variiert von ein paar wenigen Kriterien bis zu über 300 verschiedenen beim Q-Checker®. Aufgrund der großen Anzahl an zur Verfügung stehender Prüfkriterien und dem Vorliegen der zu prüfenden Daten in CATIA V5®, wurde für diese Masterarbeit der Q-Checker® als kommerzielles Prüfwerkzeug zur Untersuchung von CAD-Daten in der Automobilentwicklung ausgewählt. Im Folgenden wird nun mit Hilfe des Q-Checkers® die Funktions- und Arbeitsweise dieser externen Prüfwerkzeuge genauer erläutert. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt hauptsächlich auf der Prüfung der geometrischen Eigenschaften der zu untersuchenden Strakflächen. Aus diesem Grund wird in den nächsten Zeilen vermehrt auf die Möglichkeiten der geometrischen Prüfungen eingegangen und die zusätzlichen, im Kriterienpool zur Verfügung stehenden Optionen (Abbildung 3.11) sollen im Weiteren nur kurz erläutert werden.

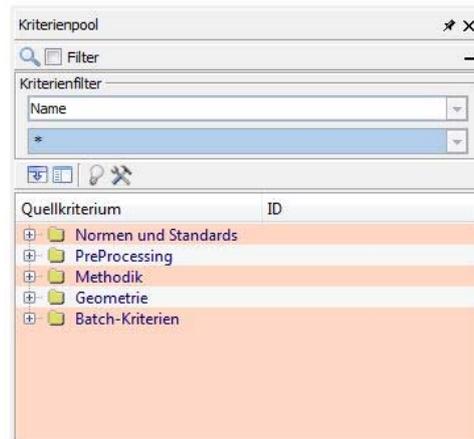


Abbildung 3.11 Kriterienpool Q-Checker

Der Q-Checker® bietet unter dem Reiter „Normen und Standards“ dem CAD-Anwender die Möglichkeit, seine Modelle, Baugruppen und Zeichnungen unter anderem auf Benennungen, Inhalt, Beschreibungen, etc. zu prüfen. So findet man z.B. im Unterverzeichnis „Allgemein“ den Aufruf für das CATIA V5®-interne Prüfprogramm CATDUA V5 (vgl. Kapitel 3.2.2). Unter „Elemente“ bieten sich Optionen zum Untersuchen von Zeichnungen, Skizzen oder Achsensystemen, um nur ein paar zu nennen. Das Verzeichnis „PreProcessing“ erlaubt es dem Bediener, unter anderem diverse Updates und Anpassungen, wie z.B. „graphische Eigenschaften zurücksetzen“ durchzuführen. Im Ordner „Methodik“ sind Prüfoptionen zum Untersuchen von Teilen, Baugruppen, Prozessen, usw. aufgelistet. So findet man dort Möglichkeiten, Solids in Körpern auf deren richtige Konstruktionsreihenfolge zu kontrollieren oder die vollständige Parametrisierung von Skizzen zu überprüfen. Für Baugruppen ist es möglich, die maximal erlaubte Anzahl an Freiheitsgraden zu betrachten oder das Modell nach Überschneidungen innerhalb des Produkts zu durchsuchen. Im Container „Batch-Kriterien“ ist es wiederum möglich, das in CATIA V5® implementierte Prüfprogramm CATDUA V5 aufzurufen.

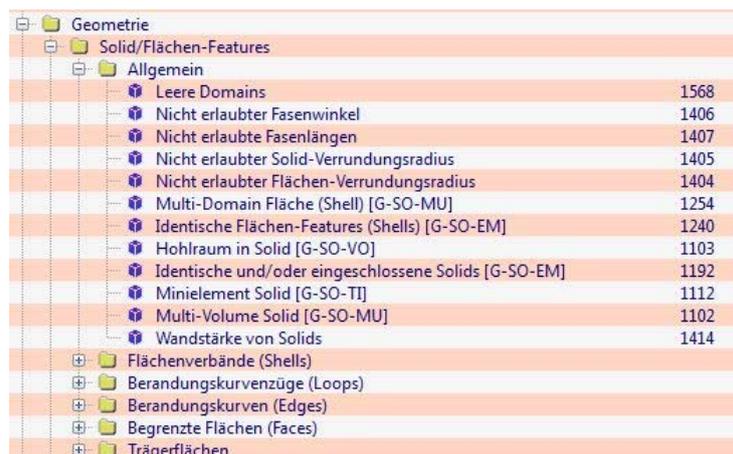


Abbildung 3.12 Allgemeine Geometrieprüfungen im Q-Checker®

Der fünfte zur Verfügung stehende Kriterienpool „Geometrie“ bietet eine große Anzahl an Möglichkeiten, um die geometrischen Eigenschaften eines Modells zu untersuchen, und ist daher von großem Interesse. Wie bereits zuvor erwähnt, verwenden Programme zur Prüfung von CAD-Daten Normen wie SASIG [24] oder VDA 4955/2 [16]. So bezieht sich auch der Q-Checker bei seinen Kriterien meist auf die dahinterliegende VDA-Norm und gibt diese in der

Bezeichnung des jeweiligen Prüfkriteriums an, bietet aber zusätzlich zur VDA 4955/2 weitere Prüfungen an. Abbildung 3.12 zeigt mögliche allgemeine Kriterien zur Geometrieprüfung mit teilweise in der Norm enthaltenen Prüfoptionen (Multi-Domain Fläche [G-SO-MU], Minielement Solid [G-SO-IT] ...) sowie auch diverse nicht genormte, zusätzliche Prüfmöglichkeiten (Leere Domains, Nicht erlaubte Fasenwinkel ...).

Mit dem Q-Checker® ist es dem Anwender zudem möglich, zusätzlich zu den allgemeinen Kriterien auch gezielt spezielle Geometriebausteine wie Flächenverbände, Berandungskurven und -kurvenzüge, sowie begrenzte Flächen und Trägerflächen zu prüfen (Abbildung 3.12). Unter dem Ordner „Flächenverbände“ (Abbildung 3.13) ist bereits ein Großteil der wichtigsten Prüfkriterien für die Flächenprüfung in der Automobilentwicklung zu finden. So findet man unter anderem die Prüfung der Topologie auf diverse Unstetigkeiten (Lage, Tangente, Krümmung) sowie auch Kriterien bezüglich der Orientierung der Flächen zu den jeweiligen Flächenverbänden. Von großem Interesse sind vor allem aber auch Prüfungen wie „Offener oder überlappender Flächenverband“, „Überbelegte topologische Kanten“ oder das Kriterium „Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes“.

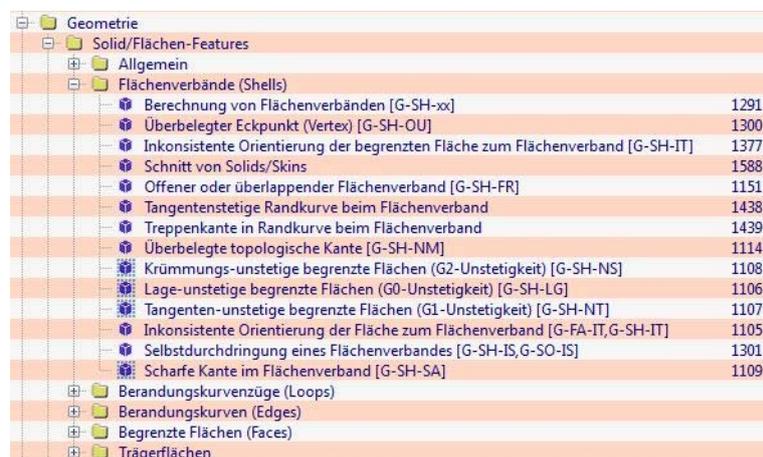


Abbildung 3.13 Prüfung von Flächenverbänden im Q-Checker®

Die Ordner „Begrenzte Flächen“ und „Trägerflächen“ bieten noch die Optionen nicht ausschließlich komplette Flächenverbände, wie eine komplette Motorhaube oder Stoßstange, sondern auch die jeweiligen Einzelflächen der verschiedenen Topologien zu untersuchen. So wird mit dem Kriterium „Identische begrenzte Flächen“ nach identischen oder teilweise identischen Flächen im ganzen Flächenverband gesucht, d.h. liegen eine oder mehrere Flächen komplett oder nur teilweise innerhalb einer anderen Fläche, erkennt der Q-Checker® diese als fehlerhaft. Auch die Prüfung auf Minielemente oder schmale Flächen bzw. schmale Bereiche in Flächen ist von großer Bedeutung, denn unterschreitet eine Fläche in gewissen Bereichen eine bestimmte Ausdehnung (Systemtoleranz), so kann das bei der Konvertierung der Geometrie in andere CAx-Systeme zu degenerierten, fehlerhaften Elementen und somit zu Lücken in der Topologie führen. Weitere wichtige Qualitätsmerkmale einer Strakfläche lassen sich mit der Prüfung der, den begrenzten Flächen zu Grunde liegenden, Trägerflächen abdecken. Unter anderem findet man unter dem Verzeichnis „Trägerflächen“ die Prüfkriterien „Welligkeit von Flächen“ oder „Umklappen der Flächennormalen“.

3.2.2 Interne Prüfwerkzeuge in CATIA V5®

Zusätzlich zu den kommerziellen Prüfwerkzeugen bietet auch CATIA V5® interne Prüfwerkzeuge zum Untersuchen der Datenqualität der jeweiligen Modelle an. Diese zur Verfügung stehenden Werkzeuge sollen nun im Folgenden hinsichtlich ihrer Prüfmöglichkeiten und Funktionen genauer erklärt werden.

- **CATDUA V5 (CATIA Data Upward Assistent)**

CATDUA V5 ermöglicht eine Diagnose und, soweit möglich, die Fehlerbehebung bei Dokumenten, in denen Fehler festgestellt wurden (CATPart, CATProduct, CATDrawing, usw.). Die Funktionalität von CATDUA V5 dient dazu, strukturelle Daten in CATProduct-, CATPart-Dokumenten, etc. zu überprüfen, und die jeweilige Datenstruktur zu bereinigen. Die Anwendung von CATDUA wird vor allem bei der Wiederherstellung von externen Daten, vor dem Wechsel zu einer neuen CATIA V5® Release oder bei Störungen im Aktualisierungsprozess einer Komponente empfohlen. [32]

CATDUA V5 bietet 3 Prioritätsebenen für die Analyse von Modellen an: [32] (Tabelle 3.5)

- Priorität 1: Eine Bereinigungsaktion kann dazu führen, dass Daten gelöscht werden.
- Priorität 2: Eine Bereinigungsaktion kann dazu führen, dass Daten verändert (aber nicht gelöscht) werden.
- Priorität 3: Unwichtiger Fehler. Eine Bereinigungsaktion hat keine großen Auswirkungen auf die Daten.

In der nachfolgenden Tabelle 3.5 seien am Beispiel der Baugruppenkonstruktion zwei mögliche Prüfkriterien je Prioritätsstufe angeführt.

Priorität	Fehler	Domäne	Symptom	Technisches Problem	CATDUA-Operation
1	ASD_1	Baugruppenkonstruktion	Bedingung wird falsch angezeigt oder während der Aktualisierung ignoriert.	Es existieren nicht verwendete Bedingungen ohne Verbindung (beim Löschen einer Verbindung blieb die Verbindung bestehen).	Die nicht verwendeten Bedingungen werden gelöscht.
1	ASD_6	Baugruppenkonstruktion	Eine Bedingung kann nicht erzeugt werden.	Ein Gruppierungsknoten ohne Eltern (Verbindung).	Die fehlerhafte Gruppierung wird gelöscht.
2	ASD_3	Baugruppenkonstruktion	Bedingung wird falsch angezeigt oder während der Aktualisierung ignoriert.	Der Typ der Bedingung ist verloren gegangen.	Der Typ der Bedingung wird wieder hergestellt.
2	ASD_4	Baugruppenkonstruktion	Bedingung wird falsch angezeigt oder während der Aktualisierung ignoriert.	Schlechte Qualität eines Bedingungsattributs.	Die Qualität des Attributs wird geändert.
3	ASD_8	Baugruppenkonstruktion	Die Aktivität der Gruppierung wird in F(x) nicht angezeigt.	Der Aktivitätsparameter der Gruppierung hat keinen Wert	Dem Aktivitätsparameter der Gruppierung wird ein Wert zugewiesen.
3	ASD_9	Baugruppenkonstruktion	Die Reihenfolge von Bedingungen oder eines Bedingungssets kann in Assembly	Einige veraltete Sets aus einer nicht mehr vorhandenen Komponente sind noch	Diese alten und nicht mehr verwendeten Bedingungssets

			Design nicht geändert werden.	im Dokument enthalten und unterbrechen die Verwaltung des Sets und der Bedingungen.	werden gelöscht.
--	--	--	-------------------------------	---	------------------

Tabelle 3.5 Auszug aus CATDUA V5 Prüfkriterien für Baugruppenkonstruktion, [32]

Da im Rahmen dieser Masterarbeit aber keine Untersuchungen der Datenstruktur der CATIA V5®-Dokumente erforderlich waren, sondern hauptsächlich auf die geometrische Untersuchung von Strakflächen eingegangen werden sollte, und dieses Werkzeug keine expliziten Funktionen zur Prüfung geometrischer Aspekte anbietet, war dieses Tool nicht weiter von Interesse.

- **Verbindungsüberprüfungsanalyse (Connect Checker)**

Die Verbindungsberprüfungsanalyse in CATIA V5® dient zur Prüfung von Flächen- bzw. Kurvenübergängen. Abbildung 3.14 zeigt die Maske der Verbindungsüberprüfungsanalyse in CATIA V5®. Nach Auswahl der *Quelle* erlaubt die Funktion noch eine Unterscheidung hinsichtlich des Verbindungsmodus zwischen *Begrenzung* und *Projektion*. Bei Selektion der Option *Begrenzung* wird die Analyse direkt zwischen den Begrenzungen von zwei Elementen durchgeführt, während bei der Auswahl von *Projektion* die Untersuchung zwischen der Begrenzung des einen Elements und der Projektion dieser Begrenzung auf das andere Element durchgeführt wird. So wird bei einer Betrachtung des Überganges zwischen Kurven mit *Begrenzung* die Verbindungsprüfung direkt zwischen den Endpunkten zweier Kurven ausgeführt, jedoch bei der Prüfung mit *Projektion* die Analyse zwischen dem Endpunkt und der Projektion dieses Endpunktes auf die andere Kurve durchgeführt. [32]

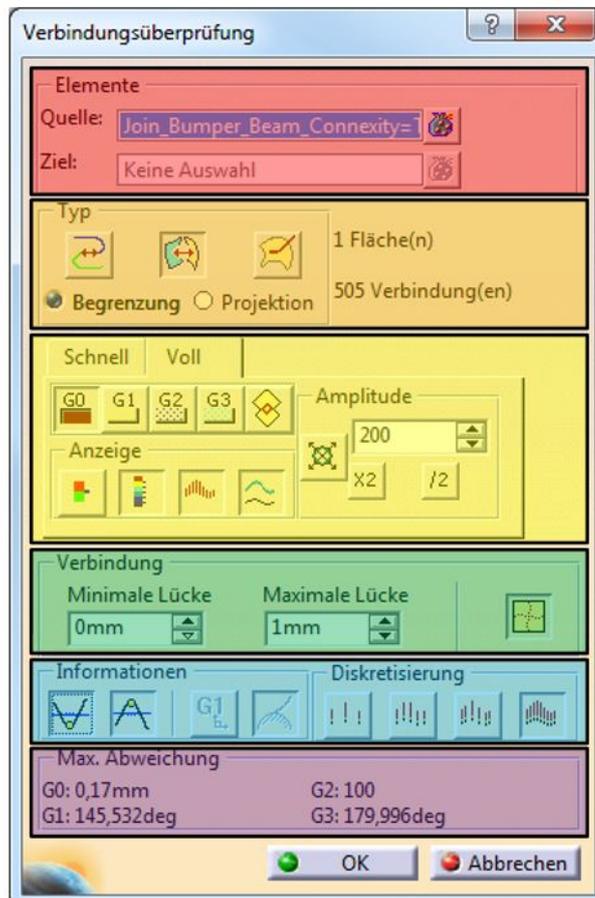


Abbildung 3.14 Verbindungsüberprüfungsanalyse (vollständige Analyse)

Nach der Selektion der zu untersuchenden Geometrie im Feld *Elemente-Quelle* (Abbildung 3.14, roter Bereich) stehen dem Anwender zudem fünf verschiedene Analysetypen (Abbildung 3.14, gelber Bereich) sowie drei Varianten an möglichen Elementübergängen (Abbildung 3.14, oranger Bereich) zur Verfügung:

Analysetypen:

- Punktstetigkeit (G0-Stetigkeit)
- Tangentenstetigkeit (G1-Stetigkeit)
- Krümmungsstetigkeit (G2-Stetigkeit)
- Krümmungstangentenstetigkeit (G3-Stetigkeit)
- Überlappungen

Elementübergänge:

- Verbindungen zwischen Kurven (Kurve-Kurve)
- Verbindungen zwischen Flächen (Fläche-Fläche)
- Verbindungen zwischen Flächen und Kurven (Fläche-Kurve)

Grundsätzlich kann der Benutzer zur Durchführung der Prüfung zwischen zwei Analysemodi wählen, einem *Vollständiger Analysemodus* sowie einem *Schnellanalysemodus*, wobei in beiden je fünf Analysetypen zur Verfügung stehen (Abbildung 3.14, gelber Bereich). Der *Schnellanalysemodus* erlaubt es dem Bediener, abgesehen von der Überlappungsanalyse, alle vier Stetigkeitsanalysen (G0-G3) gleichzeitig durchzuführen. Es können Grenzwerte definiert werden, ab deren Überschreitung der betroffene Bereich farblich markiert wird (Abbildung 3.15). Beim *Vollständiger Analysemodus* ist hingegen immer nur eine Prüfung zur selben Zeit möglich, dafür stehen in diesem Modus dem Benutzer bessere Möglichkeiten zur Visualisierung der Prüfergebnisse im Feld *Anzeige* zur Verfügung: (Abbildung 3.14, gelber Bereich)

- Begrenzter Farbbereich
- Kamm
- Kompletter Farbbereich
- Hüllkurve

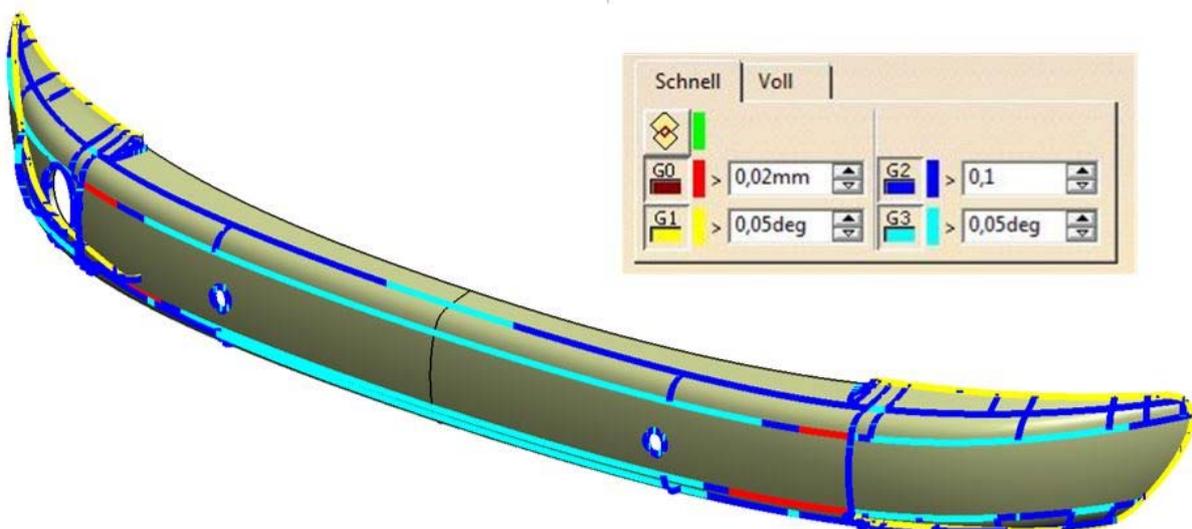


Abbildung 3.15 Verbindungsüberprüfungsanalyse, Schnellanalysemodus, *Front Bumper*

In Abbildung 3.16 wurde als Beispiel eine *Verbindungsprüfungsanalyse* eines *Front Bumpers* hinsichtlich Punktstetigkeit im *Vollständigen Analysemodus* durchgeführt. Zur Darstellung der auftretenden Fehler wurden die Anzeigooptionen kompletter Farbbereich, Stacheln und Hüllkurve gewählt. Somit ist ersichtlich, dass am Bauteil mehrere G0-Unstetigkeiten auftreten, wobei durch die Visualisierungsoptionen eine grobe Abschätzung über den Verlauf der Abweichungen getroffen werden kann, und die Farbskala (Abbildung 3.16, rechts) einen Aufschluss über die genauen Werte gibt. Die Anzeige der Maximal- bzw. Minimalwerte der Lücken bzw. Überlappungen lassen sich durch Aktivierung der jeweiligen Anzeigeoption (Abbildung 3.14, blauer Bereich) im Werkzeug aktivieren. Ebenfalls in diesem Bereich der Funktionsmaske befinden sich Möglichkeiten zur Diskretisierung der Darstellungsfunktion *Kamm* von grob (links) bis fein (ganz rechts).

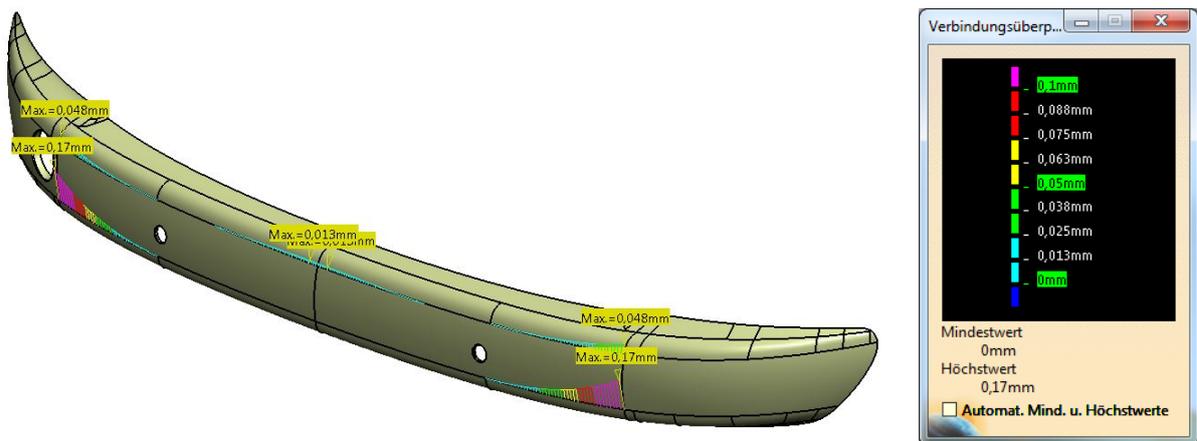


Abbildung 3.16 Verbindungsüberprüfungsanalyse, vollständiger Analysemodus, G0-Stetigkeit, Front Bumper

Der grüne Bereich *Verbindung* in Abbildung 3.14 erlaubt es dem CAD-Anwender einen Wertebereich festzulegen, in dem Lücken analysiert werden. Lücken in Übergängen die außerhalb dieses Wertebereiches liegen werden von der Prüfung ausgenommen bzw. nicht als fehlerhaft bewertet. Mit der Auswahlfunktion *Interne Kante* können auch Übergänge innerhalb von Flächenverbänden und Kurven untersucht werden. Das Feld *Max. Abweichung* zeigt unabhängig von der gewählten Analyse alle Maximalwerte der vier Stetigkeitsprüfungen G0 bis G3 an. Bei genauerer Betrachtung des Bauteils lässt sich erkennen, dass an den ausgewiesenen Bereichen tatsächlich Überlappungen (Abbildung 3.17, Detail X) bzw. Lücken (Abbildung 3.17, Detail Y) in der Geometrie auftreten.

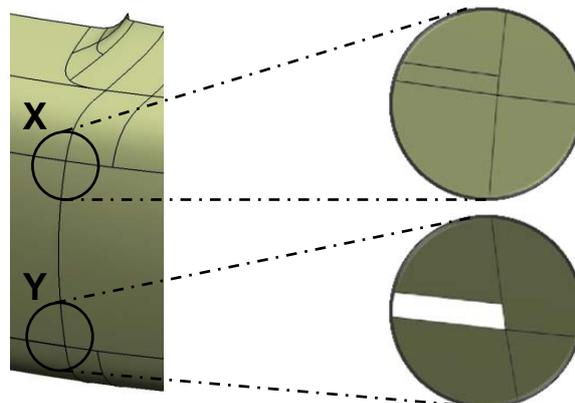


Abbildung 3.17 Details G0-Unstetigkeit, Front Bumper

Die Prüffunktion *Überlappungen* arbeitet sowohl im *Vollständigen Analysemodus* als auch im *Schnellanalysemodus* auf die gleiche Art und Weise. So wäre es also genauso möglich gewesen die Überlappungen im betrachteten Bauteil mit dieser Funktion zu identifizieren (Abbildung 3.18).

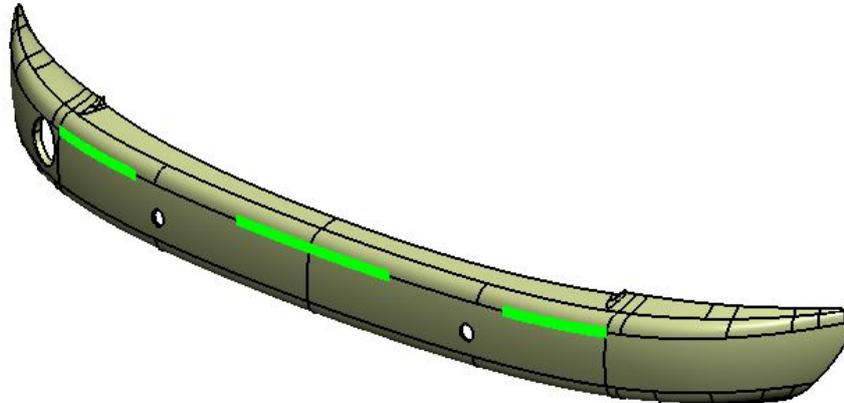


Abbildung 3.18 Verbindungsüberprüfungsanalyse auf Überlappungen, *Front Bumper*

- **Krümmungsanalyse mit Stacheln (Porcupine Curvature Analysis)**

Die *Krümmungsanalyse mit Stacheln* ermöglicht eine Analyse des Krümmungsverlaufes von Kurven und Flächenbegrenzungen in CATIA V5®. Dieses Werkzeug ist der *Verbindungsüberprüfungsanalyse* auf G3-Stetigkeit im Anzeigemodus *Kamm* ähnlich. Abbildung 3.19 zeigt die Analyse von Flächenbegrenzungen einer beliebigen Fläche, sowie rechts daneben die Funktionsmaske der Anwendung. Die Funktion erlaubt eine Prüfung hinsichtlich Krümmung sowie bezüglich des Krümmungsradius, welche über das Drop-Down-Menü im Feld *Typ* auszuwählen ist (Abbildung 3.19. roter Bereich). Durch Aktivierung des Markierungsfeldes *Auf Ebene projizieren*, im orangen Bereich der Abbildung 3.19, wird die Kurve bzw. Flächenbegrenzung in jener Ebene analysiert, auf welche der Kompass verweist. Als Standardoption ist dieses Feld jedoch inaktiviert und die Analyse wird gemäß der Kurvenausrichtung durchgeführt. Die Felder *Dichte* und *Amplitude* (violetter bzw. blauer Bereich in Abbildung 3.19) dienen zur Anpassung der Visualisierung der Prüfergebnisse. Mittels *Dichte* lässt sich die Anzahl der Stacheln pro betrachtetem Segment einstellen, während unter *Amplitude* die Größe der Stacheln verändert werden kann. Die Auswahlkästchen *Automatisch* bzw. *Logarithmus* führen zu einer automatischen Berechnung der Amplitude der Stacheln (wodurch die Stacheln auch beim Zoomen in der Ansicht sichtbar bleiben) bzw. werden durch Aktivierung von *Logarithmus* die aktuellen Logarithmuswerte der Krümmung angezeigt. Weitere Optionen zur Auswertung der Prüfergebnisse bieten der grüne bzw. gelbe Abschnitt in Abbildung 3.19. So erweist sich die Anwahl des Feldes *Umkehren* als hilfreich, wenn sich anhand des aktuellen Blickpunktes die Ausrichtung der Kurve nicht erkennen lässt, oder so kann etwa mit Hilfe von *Umkehrwert* die Anzeige der aktuellen Krümmungswerte zwischen Krümmung und deren Kehrwert, dem Krümmungsradius, gewechselt werden. Durch Aktivierung der Option *Min/Max* werden für alle untersuchten Kurven bzw. Flächenbegrenzungen der jeweilige minimale bzw. maximale Wert der Krümmung bzw. des Krümmungsradius angezeigt. [32]

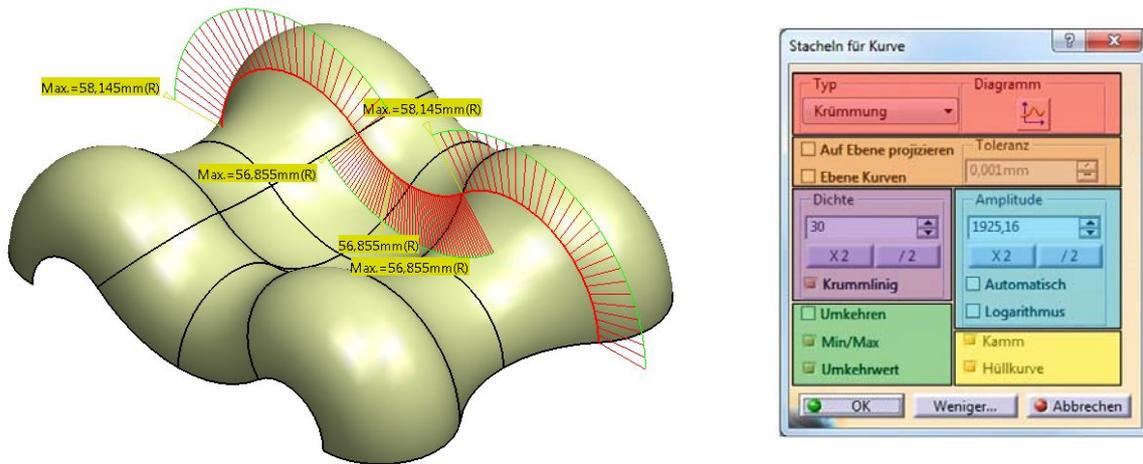


Abbildung 3.19 Krümmungsanalyse mit Stacheln, Maske Krümmungsanalyse

- **Flächenkrümmungsanalyse (Surfacic Curvature Analysis)**

Die Funktion *Flächenkrümmungsanalyse* analysiert mit verschiedenen Berechnungsmethoden den Krümmungszustand einer Fläche. [33] Im Unterschied zur *Krümmungsanalyse mit Stacheln* werden hier die Flächen selbst und nicht die Übergänge zwischen den einzelnen Flächen betrachtet. Die Anwendung bietet dem Benutzer verschiedene Analysetypen zur Auswahl:

- Gauß
- Mean
- Minimum
- Begrenzt
- Maximum

Das Werkzeug stellt für jeden Typ der Analyse eine Farbskala zur Visualisierung der Ergebnisse zur Verfügung, wobei die Farbaufteilung vom Benutzer zur besseren Kontrolle der geforderten Grenzwerte, angepasst werden kann. Abbildung 3.20 zeigt eine Flächenkrümmungsanalyse einer beliebigen Fläche nach Typ *Gauß*, in dem die Mindest- und Höchstwerte der Skala den tatsächlichen Maximal- und Minimalwerten der Krümmungsanalyse entsprechen. Zusätzlich wurden in der Maske noch die Anzeige der Extremwerte (*3D-Mindest-/Höchstwerte*) aktiviert, sowie die Darstellung der Flächenbegrenzungen (*Keine Hervorhebung*) deaktiviert.

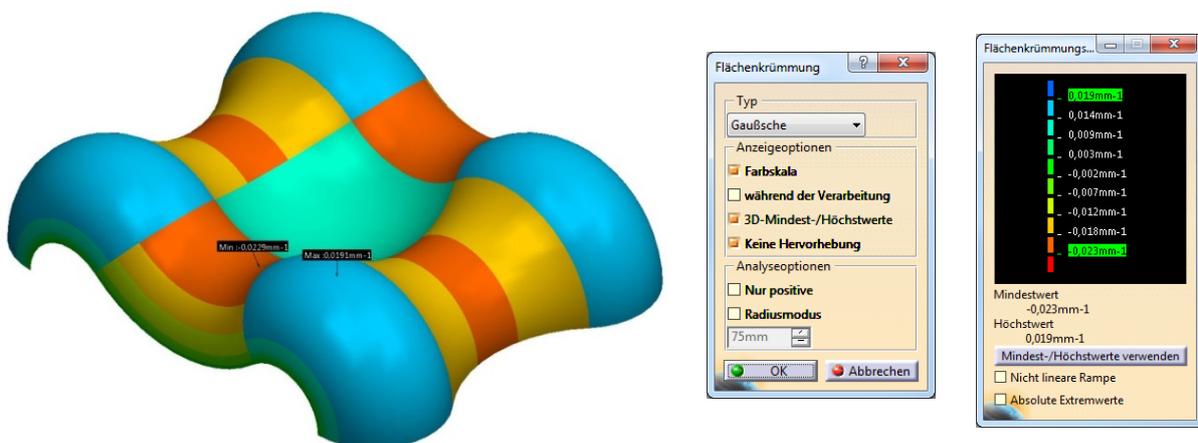


Abbildung 3.20 Flächenkrümmungsanalyse: Typ *Gauß*, Funktionsmaske, Farbskala

Zur Untersuchung spezieller Punkte der Geometrie gibt es die Möglichkeit, mit der Option *Während der Verarbeitung* die Krümmungs- und Radiuswerte direkt an der aktuellen Cursorposition anzuzeigen. Abbildung 3.21 zeigt wiederum eine Flächenkrümmungsanalyse einer beliebigen Fläche, jedoch diesmal mit dem Typ *Begrenzt*. Ebenfalls wurde in diesem Fall die Option *Während der Verarbeitung* ausgewählt und eine Analyse an einer expliziten Stelle durchgeführt und als Maximalwert ein Radius von 50mm angegeben. Krümmungsradien die über diesem Wert liegen, sollen in der Visualisierung orange bzw. ab 75mm rot dargestellt werden.

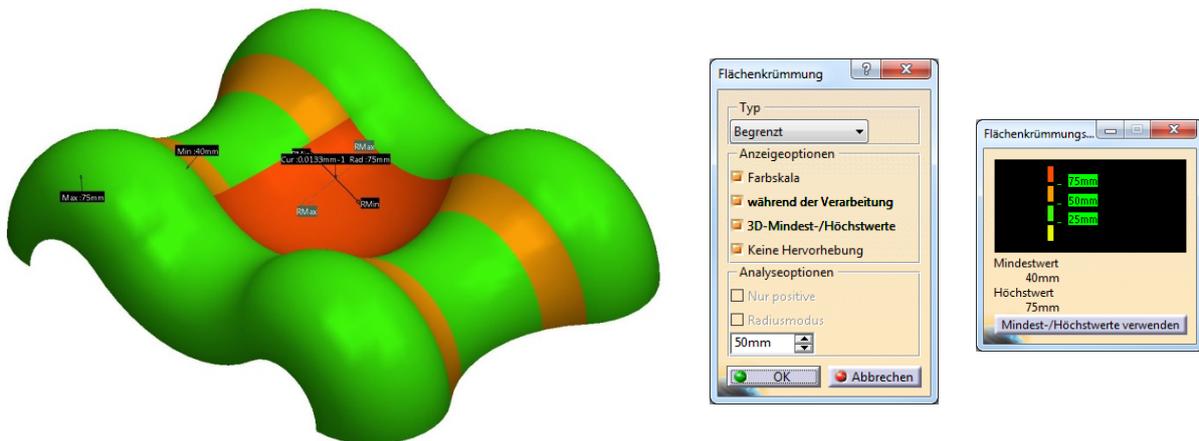


Abbildung 3.21 Flächenkrümmungsanalyse: Typ *Begrenzt*, Funktionsmaske, Farbskala

- **WYSIWYG-Modus**

Der WYSIWYG-Modus (What You See Is What You Get - Modus) ist an sich kein echtes Analysetool in CATIA V5®, jedoch wird durch die Aktivierung des Modus die Darstellungsqualität der Anzeige angehoben und Lücken und Überlappungen in der Geometrie können somit besser erkannt werden. Im angeführten Beispiel wurden zwei Flächen (Abbildung 3.22, links) mit einem Abstand von 0,09 mm konstruiert und anschließend mit der CATIA V5®-Funktion *Zusammenfügen (Join)* zu einem zusammenhängenden Flächenverband (Abstand bei der Zusammenführung = 0,1mm) verbunden. Durch diese Verbindung der Flächen erscheint die Topologie nun in der Anzeige als ein geschlossener Verband, obwohl zwischen den beiden Flächen eigentlich eine Lücke von 0,09 mm vorliegt, welche mit Hilfe der *Verbindungsüberprüfungsanalyse* entdeckt werden kann (Abbildung 3.22, mitte). Durch Aktivierung des des WYSIWYG-Modus und einer besseren Visualisierung der Anzeige wird die Lücke schließlich wieder sichtbar (Abbildung 3.22, rechts).

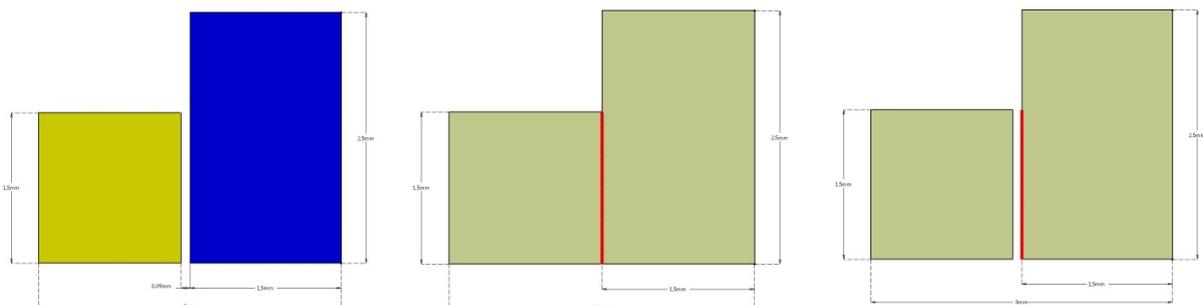


Abbildung 3.22 Flächenverband ohne WYSIWYG-Modus (mi.) und im WYSIWYG-Modus (re.)

- **Zusammenfügen (Join)**

Die CATIA V5®-Funktion *Zusammenfügen* ist in diesem Sinne ebenso kein reines Analysetool, da keine vorhandenen Flächenverbände überprüft werden können, sondern ausschließlich bei der Berechnung bzw. Erstellung eines neuen Flächenverbandes verschiedene Einstellmöglichkeiten (Abbildung 3.23) zur Prüfung der Topologie zur Verfügung stehen.

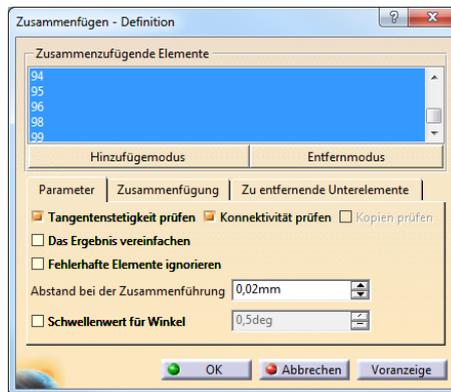


Abbildung 3.23 Funktionsmaske *Zusammenfügen (Join)* in CATIA V5®

So ist es unter anderem möglich, eine Topologie auf deren Konnektivität zu untersuchen, d.h. wird bei deren Erstellung das Feld *Konnektivität prüfen* angewählt, müssen alle Flächen im Flächenverband miteinander in Berührung stehen oder der Abstand zwischen den einzelnen Flächen kleiner oder gleich dem Wert *Abstand bei Zusammenführung* sein. Durch die Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität kann jedoch keine Aussage über die G0-Stetigkeit der Geometrie getroffen werden. Denn berühren sich zwei Flächen in einem Bereich, aber treten am weiteren Verlauf Lücken bzw. Überlappungen zwischen den Flächenbegrenzungen auf, so lassen sich die Flächen durch den Kontakt in diesem Bereich trotz *Konnektivität prüfen* zusammenfügen, obwohl sie in einem anderen Abschnitt lageunstetig sind. Wie Abbildung 3.24 zeigt, kann im beispielhaften Fall trotz der Unstetigkeit (Lücke) im mittleren Bereich des Flächenüberganges problemlos eine zusammenhängende Topologie erstellt werden.

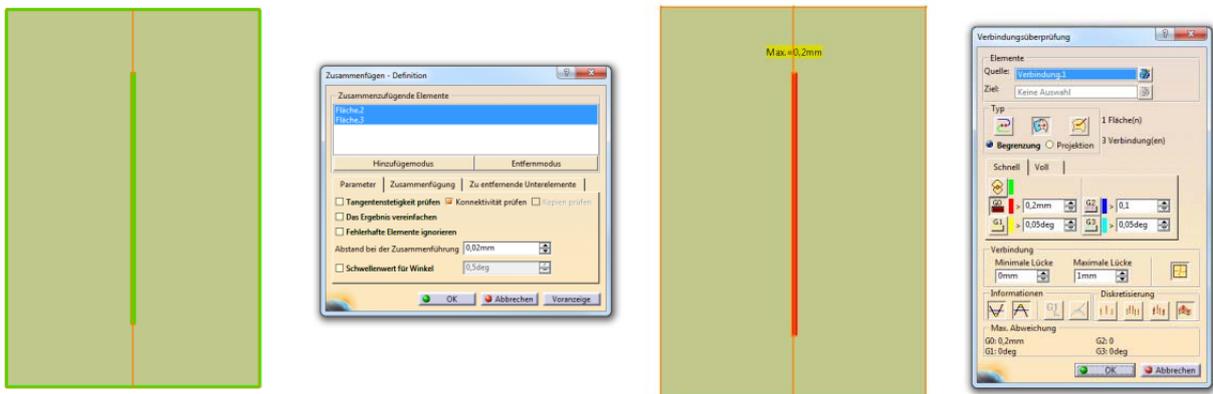


Abbildung 3.24 Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität (li.), Verbindungsüberprüfungsanalyse auf G0-Stetigkeit (re.)

Die Option *Konnektivität prüfen* erlaubt jedoch eine Kontrolle der Topologie auf mehrere Unterelemente, d.h. wurden bei der Strukturierung des Bauteils mehrere Unterbauteile nicht

einzelnen abgelegt, sondern alle Sub-Bauteile in nur ein Geometrisches Set eingeordnet, so gelten diese als eine topologische Einheit. Wird nun versucht diese auch physisch durch die Funktion *Zusammenfügen* zu einer Einheit zu verbinden und die Funktion *Konnektivität prüfen* wurde aktiviert, gibt CATIA V5® die Meldung zurück, dass das Ergebnis nicht verbindungs-fähig ist, da es aus mehreren Domänen, d.h. abgetrennten Bereichen, besteht. Im folgendem Beispiel (Abbildung 3.25) wurden im *Front Bumper* die Unterbauteile *Bumper Beam* (türkis) und *Tow Cover* (pink) nicht gesondert abgelegt, wodurch bei der Erstellung der Zusammenfügung aller Elemente der oben genannte Fehler auftritt.

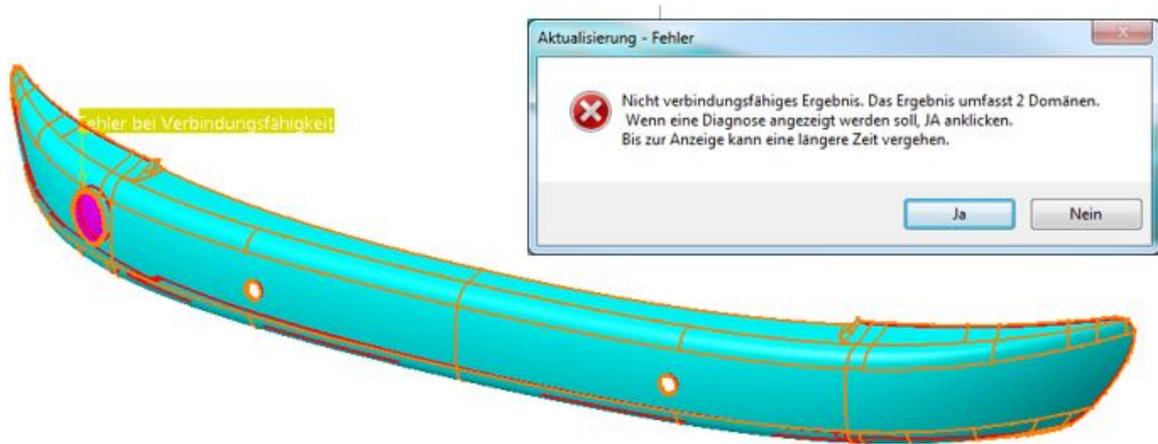


Abbildung 3.25 Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität, mehrere Domänen

Treten innerhalb des zu berechnenden Flächenverbandes etwaige topologische Fehler auf, ist eine Erstellung einer zusammenhängenden Einheit sowohl mit als auch ohne Prüfung auf Konnektivität nicht möglich. Solche topologischen Fehler können zum Beispiel auftreten, wenn Elemente sich selbst schneidende Kanten enthalten (Abbildung 3.27) oder sich der Teilflächenverband nach dem Zusammenführen der Kanten nicht mehr ausrichten lässt (z.B. Möbius-Band, Abbildung 3.26).

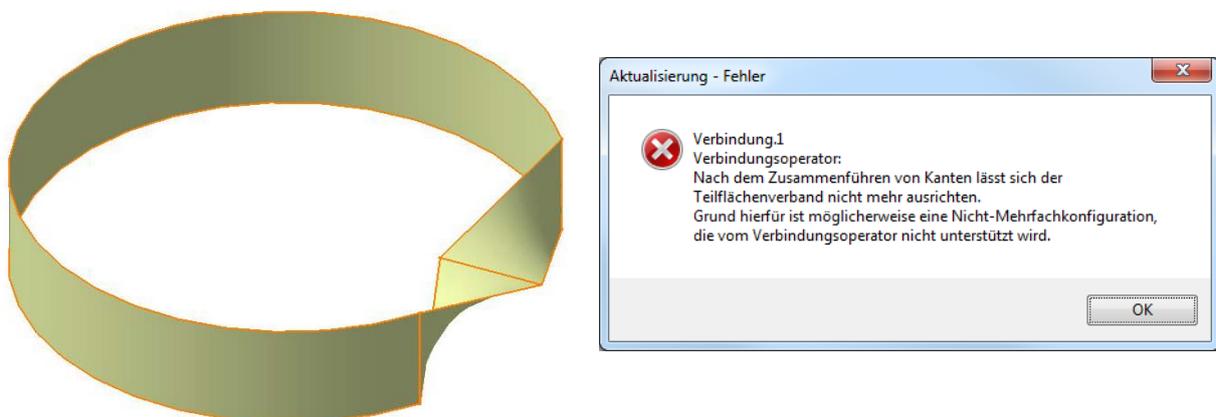


Abbildung 3.26 Möbius-Band, Fehler bei der Erstellung einer Zusammenfügung

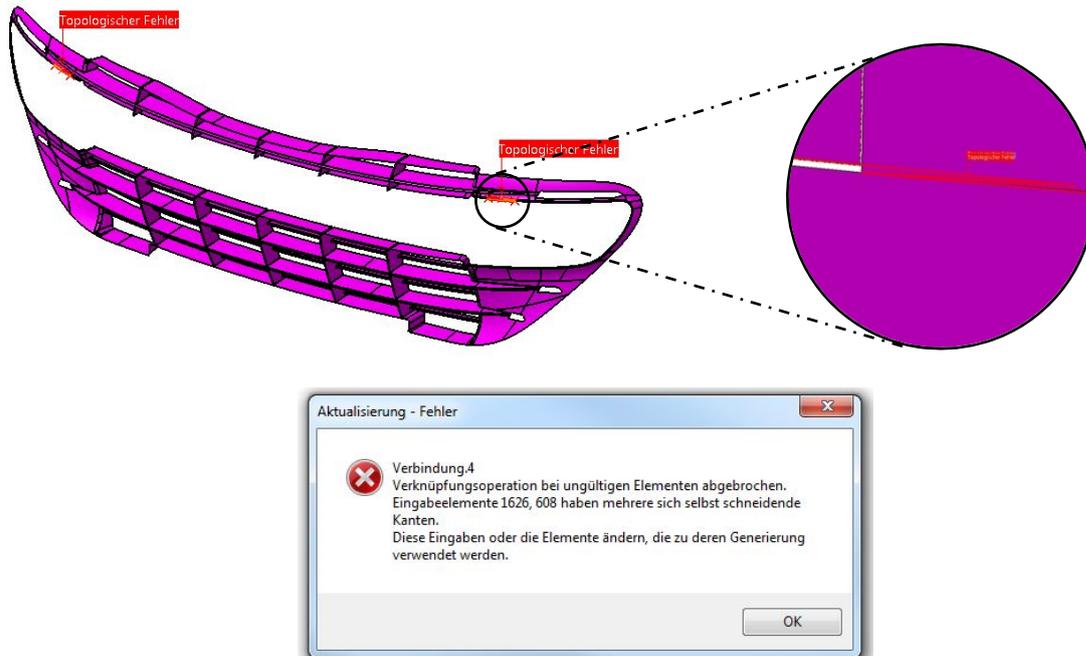


Abbildung 3.27 Topologischer Fehler bei der Erstellung einer Zusammenfügung in CATIA V5®, *Front Grill*

Eine weitere Prüfoption die dieses Werkzeug anbietet, ist die Prüfung der Tangentenstetigkeit zwischen den einzelnen Flächenübergängen bei der Berechnung der Topologie. Treten an diesen Übergängen nun Unstetigkeiten auf, so ist bei aktiver Prüfoption *Tangentenstetigkeit prüfen* eine Erstellung eines Flächenverbandes nicht möglich. (Abbildung 3.28)

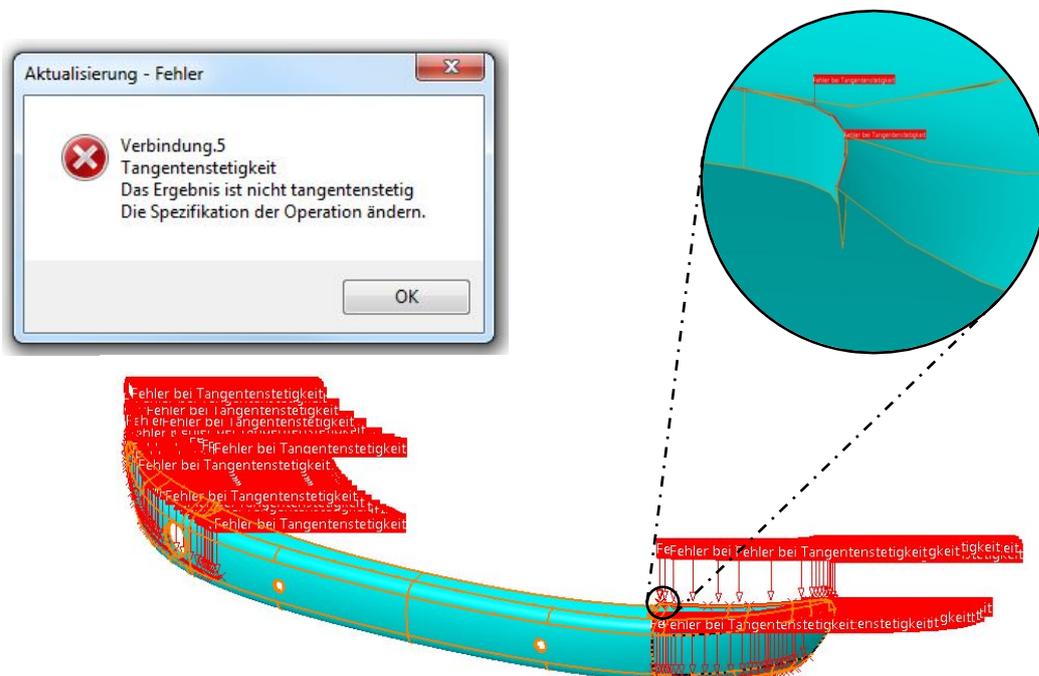


Abbildung 3.28 Prüfung der Tangentenstetigkeit bei der Erstellung einer Zusammenfügung, *Front Bumper*

Als weitere Prüfmöglichkeiten stehen unter anderem die Felder *Das Ergebnis vereinfachen*, *Fehlerhafte Elemente ignorieren*, *Kopien prüfen* oder die Angabe von *Schwellenwert für Winkel* zur Verfügung. Bei Aktivierung von *Das Ergebnis vereinfachen* kann das System die Anzahl der in der resultierenden Verbindung enthaltenen Elemente (Teilflächen oder Kanten) automatisch reduzieren, soweit dies möglich ist, während bei Anwahl von *Fehlerhafte Elemente ignorieren* Flächen und Kanten ignoriert werden, die ansonsten eine Erzeugung der Verbindung verhindern würden. Die Funktion *Kopien prüfen* ist ausschließlich für die Zusammenfügung von Kurven verfügbar und ermittelt, ob die resultierende Verbindung vielfältig ist. Die Eingabe und Aktivierung von *Schwellenwert für Winkel* gibt an, bis zu welchem Winkelwert Elemente zusammengefügt werden sollen. Ist der Winkelwert auf der Kante zwischen zwei Elementen größer als der Wert der Option *Schwellenwert für Winkel*, werden die Elemente nicht zusammengefügt. Dies ist insbesondere hilfreich, um die Überlappung von zusammenzufügenden Elementen zu vermeiden. [32]

- **Offset**

Die Funktion *Offset* kann wie die Funktion *Zusammenfügen* zuvor ebenso nicht als richtiges Prüfwerkzeug in CATIA V5® angesehen werden, da keine expliziten Prüfoptionen während bzw. nach der Erstellung zur Verfügung stehen. Für die Betrachtung bzw. Kontrolle der Offsetierbarkeit in der Oberflächenkonstruktion ist die Erstellung eines Flächenverbandes vor der Erstellung des Offsets unbedingt notwendig, da sich die Erstellung eines Offsets von Einzelflächen in den meisten Fällen problemlos durchführen lässt, während beim Versuch der Offsetierung eines Flächenverbandes oftmals Probleme, z.B. durch resultierende Verschneidungen, auftreten können. Solche Verschneidungen können ebenfalls bei der Überschreitung gewisser Offsetwerte bei komplexeren Geometrien entstehen und führen schließlich zu fehlerhaften Unterelementen und bedürfen einer Änderung des Offsetwertes bzw. der Geometrie. Abbildung 3.29 zeigt den Versuch einer Offsetierung eines Flächenverbandes eines *Bumper Beams* mit fehlerhaften Unterelementen im berechneten Offset durch einen zu großen Offsetwert.

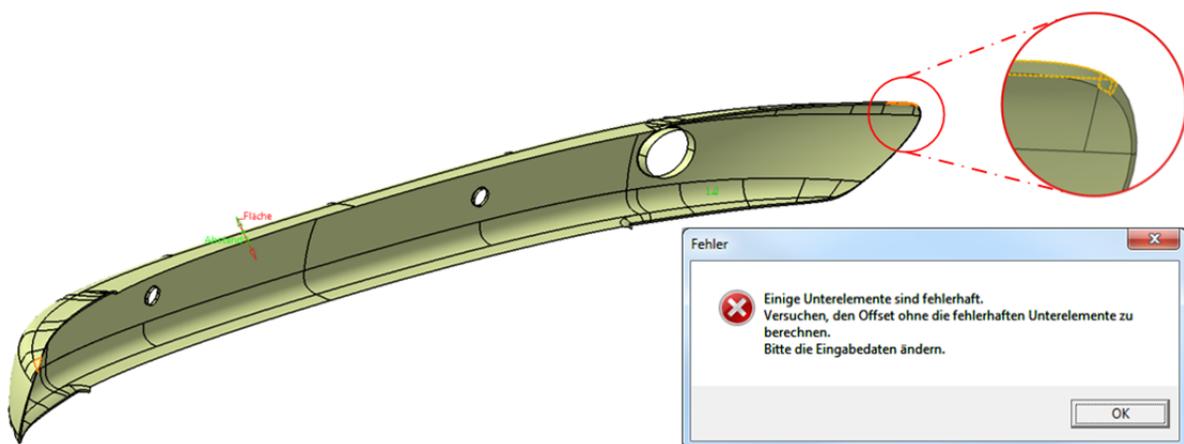


Abbildung 3.29 Fehlerhafte Unterelemente beim Versuch einer Offseterstellung durch einen zu großen Offsetwert in CATIA V5®

Wurde der, der Prüfung zugrunde liegende, Flächenverband zuvor ohne Prüfung auf Konnektivität erstellt, und weist dieser tatsächlich mehrere Unterelemente auf, können diese durch Anwendung der Offset-Funktion ebenfalls nachgewiesen werden (Abbildung 3.30). In

diesem Fall bietet CATIA V5® dem Anwender die Möglichkeit nur ein Unterelement aber auch alle Unterelemente zu behalten.

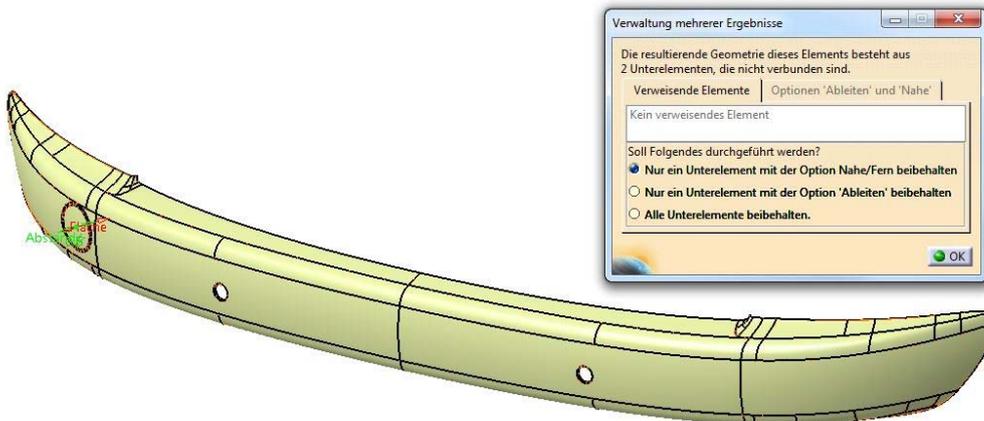


Abbildung 3.30 Erstellung eines Offsets mit mehreren Unterelementen

3.2.3 Interne Prüfwerkzeuge in ICEM Surf®

ICEM Surf® bietet wie CATIA V5® einige interne Möglichkeiten zur Untersuchung von Flächen und Kurven bezüglich ihrer qualitativen Eigenschaften. So erlaubt es ICEM Surf® dem Anwender, an seinen Daten sowohl Diagnosen (Reflexionen, Highlights ...) als auch Flächenprüfungen (Lage-, Tangenten- und Krümmungsstetigkeit, Mini-Ränder, Doppelte Objekte ...) durchzuführen.

- **Diagnosen**

Die Diagnosemöglichkeiten lassen sich in ICEM Surf® in zwei generelle Bereiche (Form- und Kontextdiagnosen) unterteilen. Abbildung 3.31 zeigt die Funktionsmaske der Diagnose in ICEM Surf® mit den verschiedenen Prüfoptionen (Abstand, Abweichung ...).

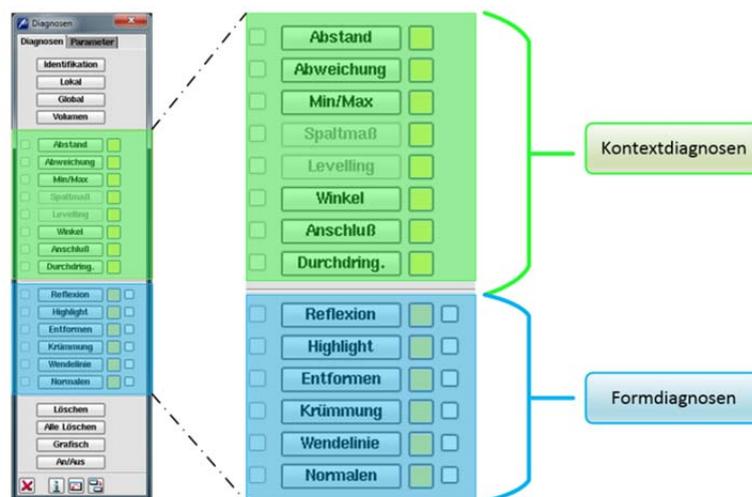


Abbildung 3.31 Diagnosemöglichkeiten in ICEM Surf®

- Abstand (Kontextdiagnose)

Es kann zwischen zwei beliebigen Positionen auf einem oder zwei Objekten der Abstand in die Richtungen X, Y und Z, sowie der 2D-Abstand in der aktuellen Ebene bzw. Ansicht berechnet und angezeigt werden. [18]

- Abweichung (Kontextdiagnose)

Diese Option erlaubt die Berechnung der Abweichung eines Objektes von einem Referenzobjekt. So können mit dieser Funktion z.B. Kurven und Flächen während der Modifikation ständig mit den Rohdaten oder Scans verglichen werden, auf denen sie erzeugt wurden. Für die Diagnose werden mehrere gleichmäßig auf dem Objekt verteilte Punkte auf das Referenzobjekt projiziert, während bei Rohdaten alle Punkte projiziert werden. Die Projektion kann in Richtung der Flächennormale oder der Normalen der Arbeitsebene durchgeführt werden. Abbildung 3.32 zeigt ein Beispiel einer Abweichungsanalyse. [18]

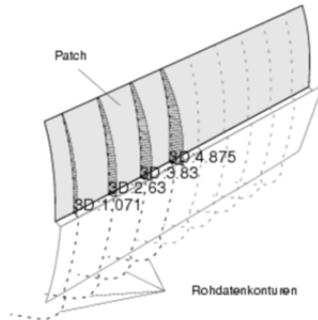


Abbildung 3.32 Beispiel einer Abweichungsdiagnose, [18]

- Min/ Max (Kontextdiagnose)

Die Min/Max- Diagnose berechnet den minimalen und/oder maximalen Abstand zwischen zwei Objekten, wobei der Abstand in X-, Y-, Z-Richtung sowie der 3D-Abstand ausgegeben werden können. In Abbildung 3.33 ist eine Min/Max-Diagnose zwischen zwei Flächen dargestellt. [18]

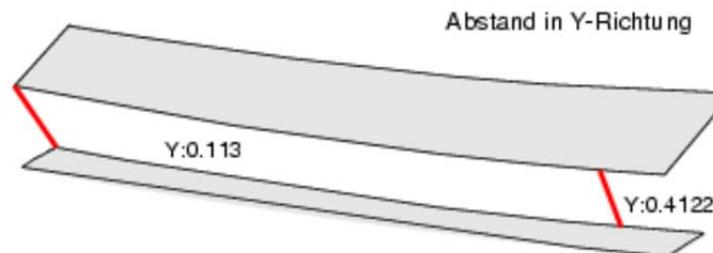


Abbildung 3.33 Beispiel einer Min/Max-Diagnose in Y-Richtung, [18]

- Spaltmaß (Kontextdiagnose)

Der Rand eines Flächenverbandes wird oft mit Radien verrundet. Das Spaltmaß ist dabei der kürzeste Abstand zwischen den Randverrundungen zweier benachbarter Flächenverbände. Je nach Blickwinkel erscheint dieser Spalt breiter oder schmaler (Abbildung 3.34). Mit dieser Diagnosefunktion kann geprüft werden, wie der Spalt aus einer bestimmten Ansicht aussieht und ob er gleichmäßig verläuft, d. h. ob der Abstand zwischen den benachbarten Flächenverbänden über die Länge des Spalts konstant ist. Dazu werden entlang einer Leitkurve Schnitte durch die Flächen erzeugt, mit deren Hilfe Abstandswerte zwischen Objekt- und Referenzfläche berechnet werden. [18]

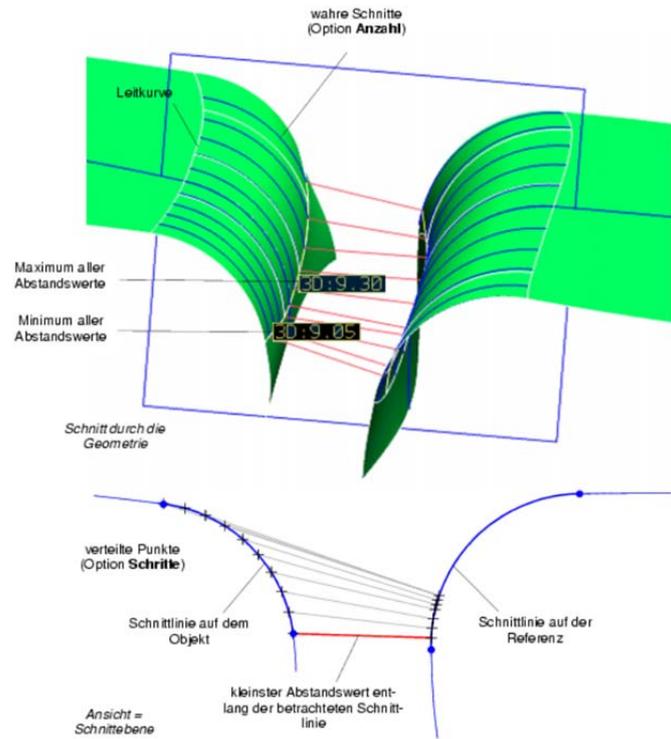


Abbildung 3.34 Beispiel einer Spaltmaß-Diagnose, [18]

- o Levelling (Kontextdiagnose)

Zusätzlich zur Spaltmaßkontrolle kann für benachbarte verrundete Flächenverbände eine Prüfung der Niveauunterschiede ausgeführt werden (Abbildung 3.35). Um die Abweichung zwischen Objekt und Referenz zu berechnen, stehen verschiedene Methoden der Erweiterung der angewählten Geometrielemente zur Verfügung: [18]

- Keine Erweiterung des Objekts/der Referenz
- Erweiterung eines Objekt- oder Referenzrandes
- Erweiterung einer Referenzfläche (Tangential)

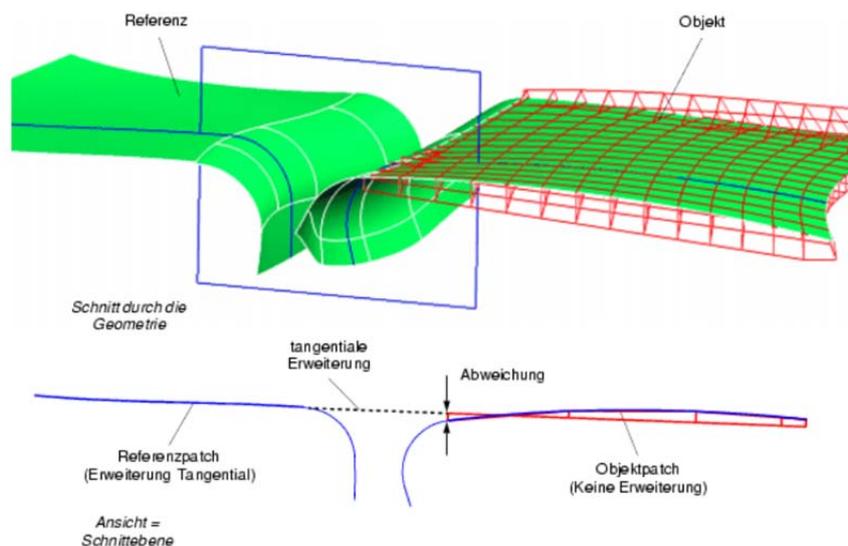


Abbildung 3.35 Beispiel einer Levelling-Diagnose mit erweiterter Fläche, [18]

- Winkel (Kontextdiagnose)

Mit dieser Funktion kann der Winkel zwischen zwei Vektoren bestimmt werden. Die Vektoren können definiert sein: [18]

- als Normalenvektor einer Fläche,
- als Tangentenvektor einer Kurve,
- durch zwei Punkte oder
- parallel zur X-, Y- oder Z-Achse

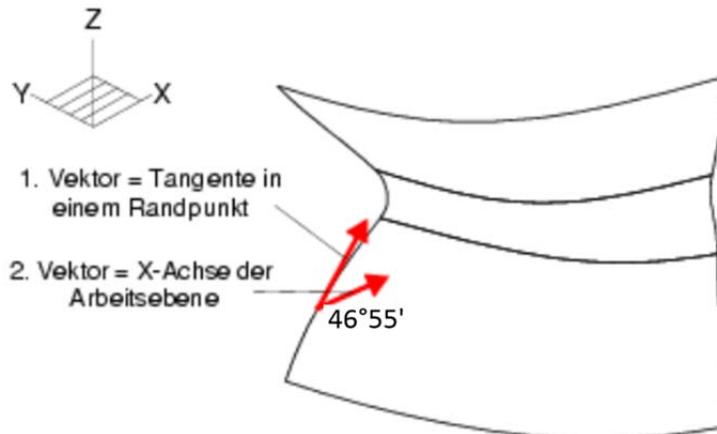


Abbildung 3.36 Beispiel einer Winkeldiagnose, [18]

- Anschluss (Kontextdiagnose)

Mit dieser Diagnoseoption kann die Übergangsqualität (G0- bis G3-Stetigkeit) zwischen zwei benachbarten Patch-/Facerändern oder Kurvenabschnitten berechnet werden. [18]

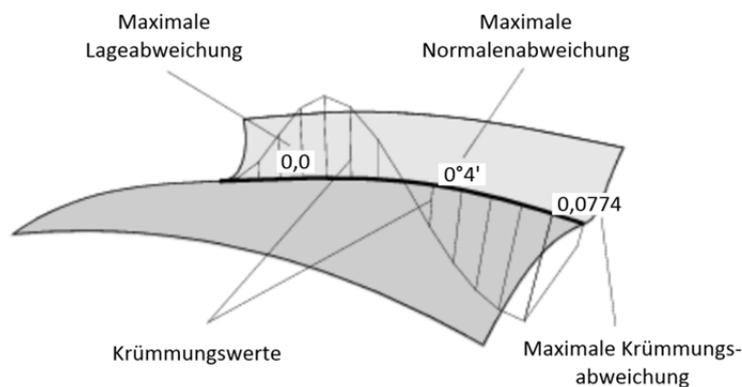


Abbildung 3.37 Beispiel einer Anschlussanalyse eines Flächenüberganges auf G2-Stetigkeit, [18]

- Durchdringung (Kontextdiagnose)

Durch die Anwendung dieser Option wird die Schnittkurve von Flächen oder Scans berechnet (Abbildung 3.38). Jede Kombination der im Selektionsfenster zur Verfügung stehenden Geometrieobjekte (Fläche, Patch, Face, Scan) kann für die Berechnung verwendet werden. [18]

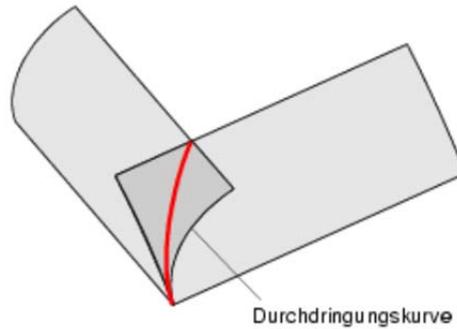


Abbildung 3.38 Beispiel einer Durchdringungsanalyse, [18]

- Reflexion (Formdiagnose)

Durch Reflexionen stabförmiger Lichtquellen auf Oberflächen entstehen Reflexionslinien. Ihr Verlauf veranschaulicht die Gestalt der Fläche und die Qualität der Flächenanschlüsse. Dabei können im Allgemeinen vier Fälle (Lücke, Versatz, Knick, kontinuierlicher Verlauf) unterschieden werden (Abbildung 3.39). Generell ist der Verlauf von Reflexions- und Highlightlinien von der Position der Lichtquelle abhängig. So ist es möglich, dass die Diagnoselinien bei der Betrachtung in eine Richtung (z.B. X-Richtung) kontinuierlich zu verlaufen scheinen, während man bei der Ausrichtung in eine andere Richtung (z.B. Z-Richtung) einen Versatz erkennen kann. [18]

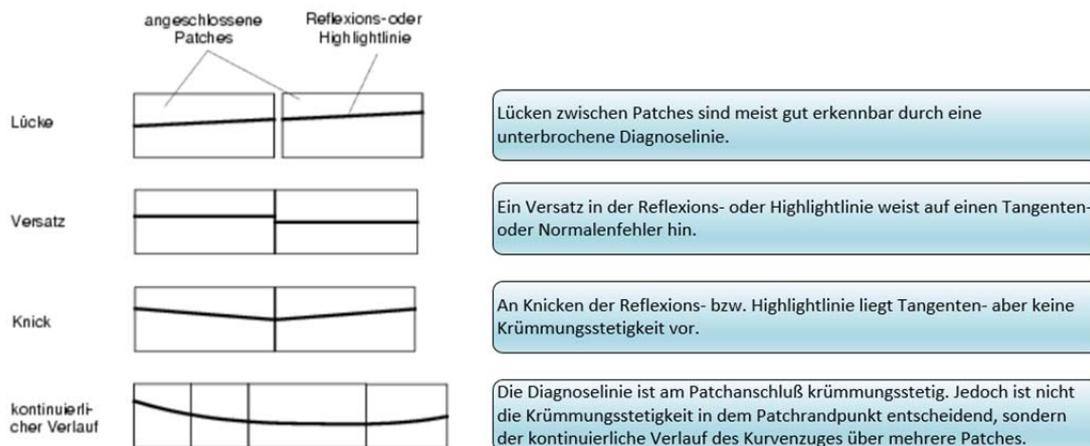


Abbildung 3.39 Beispiel Reflexionslinien bzw. Highlightlinien, [18]

- Highlight (Formdiagnose)

Der Verlauf von Highlightlinien veranschaulicht ebenso wie Reflexionslinien die Gestalt der Fläche und die Qualität der Flächenanschlüsse (Abbildung 3.39). Im Gegensatz zur Reflexionsdiagnose ist die Highlightdiagnose jedoch unabhängig von der Blickrichtung. [18]

- Entformen (Formdiagnose)

Bei der Entformdiagnose werden Entform- und Sichtkanten berechnet. Die Entformkante trennt den entformbaren Teil einer Fläche von ihrem nicht entformbaren Teil. Ist keine Entformkante vorhanden, ist die Fläche entformbar. [18]

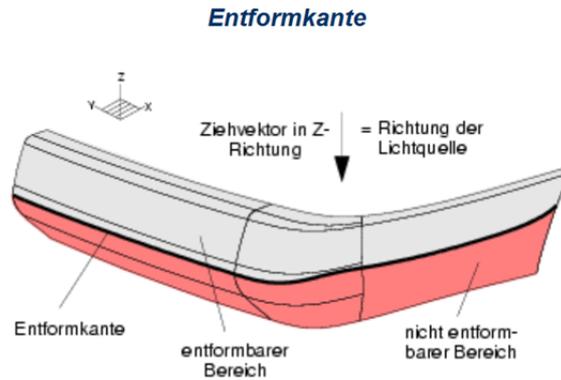


Abbildung 3.40 Beispiel einer Entformungsdiagnose, [18]

- Normalen (Formdiagnose)

Mit dieser Diagnose können Normalensprünge innerhalb von Patches oder Faces angezeigt werden, die zu Problemen beim späteren Flächenaufbau führen können. [18]

- Krümmung (Formdiagnose)

Für Flächen und Kurven kann der Krümmungsverlauf berechnet werden. Die Krümmung entlang einer Kurve kann in verschiedenen Richtungen dargestellt werden. Die Berechnung der Krümmungsverläufe von Flächen erfolgt auf Isolinien. Das Resultat wird senkrecht zur Fläche dargestellt (Abbildung 3.41). [18]

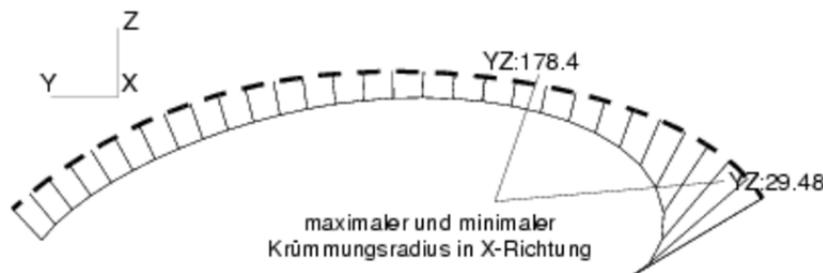


Abbildung 3.41 Beispiel einer Krümmungsanalyse, [18]

- Wendelinie (Formdiagnose)

Mit dieser Diagnose können auf Patches oder Flächen Linien erzeugt werden, die alle Flächenpunkte mit gleichem Krümmungswert in einer festgelegten Richtung verbinden. Bei einem unendlichen Krümmungsradius, also einer Krümmung von null, verbinden die Linien die Wendepunkte der Fläche. [18]

- Flächenprüfungen

Innerhalb der Funktionsmaske *Flächenprüfungen* bietet ICEM Surf® dem Anwender die Möglichkeit zur Prüfung von Topologien, Patches/Faces sowie von Faces. (Abbildung 3.42)



Abbildung 3.42 Funktionsmasken der Flächenprüfung in ICEM Surf®

- Topologie von Flächen

Unter dem Reiter *Topologie von Flächen* ist es dem Benutzer möglich, Flächen, deren Abstand zueinander kleiner als die eingegebene Toleranz ist, mit der Funktion *Topologiebereiche* zu einer zusammenhängenden Topologie zusammenzufügen. Dieser Flächenverband kann im Folgenden mit den Optionen *Position*, *Tangente*, *Krümmung* auf die jeweiligen Stetigkeitstypen der Flächenübergänge untersucht werden. Im Feld *Anzahl* kann die Menge an Punkten angegeben werden, an denen die Lage-, Normalen- oder Krümmungsstetigkeit entlang eines Randes geprüft wird. Durch die Aktivierung des Feldes *Abschnittsgrenze* ist es des Weiteren möglich, Flächen im Inneren auf ihre Tangenten- und Krümmungsstetigkeit zu untersuchen, sowie werden mittels *T-Anschluss* alle T-Anschlüsse in Patchverbänden gekennzeichnet, bei denen der Versatz zwischen den Eckpunkten außerhalb des vorgegebenen Toleranzbereichs liegt. Abbildung 3.43 zeigt die Berechnung einer Topologie (links), sowie eine anschließende Prüfung dieser bezüglich G0-Stetigkeit (rechts). [18]

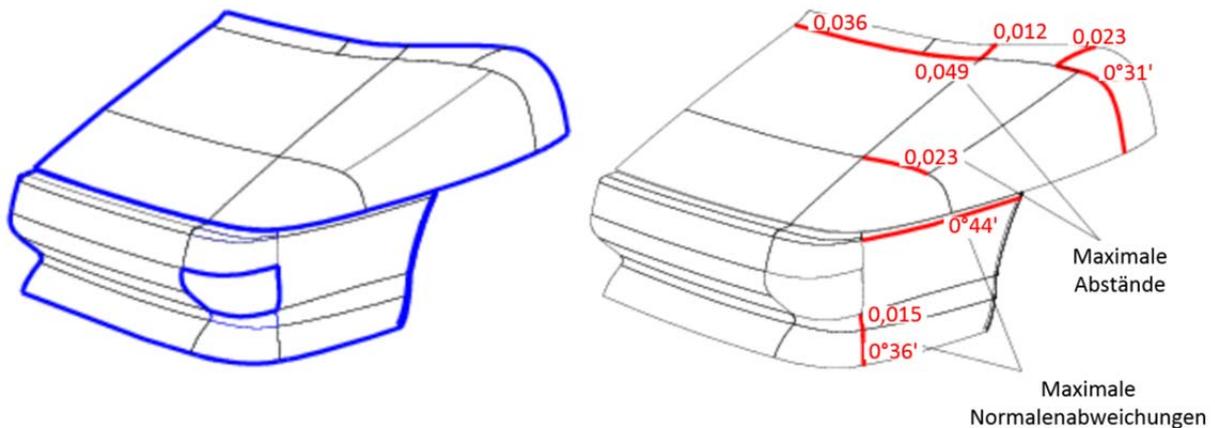


Abbildung 3.43 Beispiel einer Topologie-Berechnung in ICEM Surf® mit anschließender Prüfung auf G0-Stetigkeit, [18]

- Patches/Faces

Dieses Untermenü der Flächenprüfungen erlaubt unter anderem eine Untersuchung auf Kanten deren Abmessungen einen bestimmten Wert unterschreiten (*Mini-Ränder*), aber auch die Kennzeichnung von Patches deren *Ordnung* einen vorgegebenen Wert bzw. eine maximal erlaubte *Segmentzahl* überschreiten. Ebenso können doppelte,

übereinanderliegende Elemente sowie Objekte deren Flächeninhalt unterhalb eines vordefinierten Wertes liegen lokalisiert werden. Mit der Funktion *Normalenumklappung* können schließlich noch Sprünge in den Flächennormalen gefunden werden. Abbildung 3.44 zeigt beispielhaft Mini-Elemente (Mini-Ränder sowie Mini-Objekte) in einer Topologie (links) und eine Normalenumklappung in einem Dreieckspatch (rechts). [18]

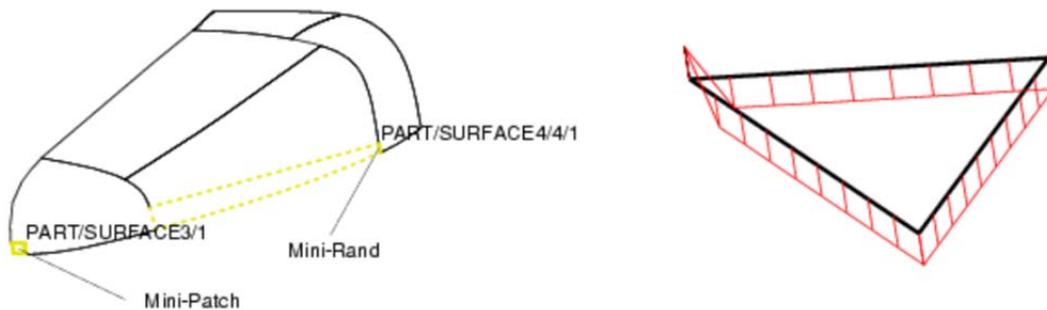


Abbildung 3.44 Untersuchung auf Mini-Elemente (links), sowie ein Umklappen der Flächennormalen (rechts) in ICEM Surf®, [18]

- Faces

Der dritte Unterpunkt beschäftigt sich mit der Untersuchung der Edges (Randkurven) von Flächen. So ist es unter anderem möglich, Facerandabschnitte zu detektieren, deren Abmessungen gewisse Werte unterschreiten sowie Lage- und Tangentenunstetigkeiten innerhalb dieser aufzudecken. Weitere Prüfmöglichkeiten sind die Kontrolle auf sich berührende bzw. selbstdurchdringende Faceränder; bzw. können Facerandabschnitte, die über die Trägerfläche hinausragen entdeckt werden. In Abbildung 3.45 ist eine Fläche mit einer zu kurzen Randkurve (links) bzw. Selbstdurchdringungen innerhalb der Facerandkurven (rechts) dargestellt. [18]

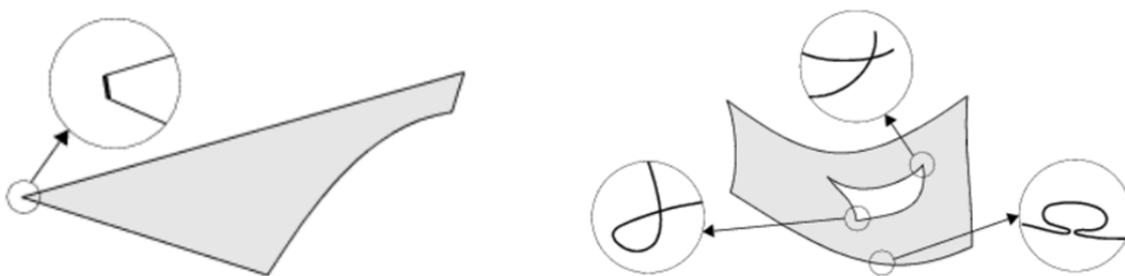


Abbildung 3.45 Beispiele von zu kurzen Randkurven bzw. Selbstdurchdringungen innerhalb dieser Randkurven, [18]

3.3 Auswahl geeigneter Prüfwerkzeuge

Das Ziel einer automatisierten Prüfung der Flächendaten, sowie der Umstand, dass die Weiterverarbeitung von Strakdaten nicht im CAID-System (ICEM Surf®) an sich, sondern nach einer Datenkonvertierung in einem CAD-Programm (z.B. CATIA V5®) erfolgt, haben die Auswahl der Systeme und Prüfwerkzeuge maßgeblich beeinflusst. Trotz der sehr guten Möglichkeiten, Oberflächen in ICEM Surf® hinsichtlich ihrer optischen und qualitativen

Aspekte zu prüfen, scheidet dieses System zur methodischen Prüfung von Strakdaten aus mehreren Gründen aus. So liegen in ICEM Surf® z.B. noch keine expliziten Bauteile (*Hood, Front Bumper, etc.*), sondern ausschließlich komplette Fahrzeugbereiche (*Front Body, Side Body, etc.*) vor, womit eine Prüfung und Bewertung der verschiedenen Einzelteile mit einem hohen Aufwand verbunden ist. Der Hauptgrund für das Ausscheiden dieser Prüfoption liegt jedoch in der Tatsache, dass zur späteren Weiterverarbeitung der Daten in CATIA V5® eine Konvertierung der Flächen in das Datenformat von CATIA V5® notwendig ist. Diese Konvertierung der Daten ist jedoch in den meisten Fällen mit einem Verlust an Datenqualität verbunden, womit Flächen, die z.B. bei der Prüfung in ICEM Surf® noch keinerlei Fehler aufgewiesen haben, durch etwaige Konvertierungsfehler bei der Weiterverarbeitung in CATIA V5® zu schweren Problemen (Löschen von Minielementen, ...) führen können. Eine Prüfung der Daten sollte somit erst nach der Konvertierung im Zielsystem erfolgen. Trotzdem ist eine Kontrolle der Daten mit den zur Verfügung stehenden Diagnose- und Prüfwerkzeugen in ICEM Surf® während der Erstellung bzw. vor der Konvertierung zu empfehlen. Zudem bietet ICEM Surf® keine programmiertechnische Schnittstelle (API) zur Automatisierung dieser Prüf- und Diagnosewerkzeuge über Scripts bzw. Makros z.B. durch VBA an, und widerspricht somit dem Ziel einer prozessintegrierten, automatisierten Prüfung der Strakdaten.

Diese Möglichkeit der Automatisierung spielt auch bei der Auswahl der Prüfwerkzeuge in CATIA V5® eine große Rolle. So bietet CATIA V5® zwar eine API zur Ausführung einiger Befehle und Funktionen mit Hilfe von Scripts bzw. Makros, jedoch kann ein Großteil dieser Prüfwerkzeuge (*Verbindungsüberprüfungsanalyse, Krümmungsanalyse mit Stacheln, Flächenkrümmungsanalyse, WYSIWYG-Modus*) leider nicht über diese angesprochen werden, oder es fehlt ein geeigneter Rückgabewert der Funktion zur Auswertung des Prüfergebnisses. So geben etwa die *Verbindungsüberprüfungsanalyse* oder die *Krümmungsanalyse mit Stacheln* nur graphische Darstellungen der Prüfergebnisse zurück während, z.B. der Q-Checker® explizite Werte für das Ergebnis der Prüfung zur Verfügung stellt. Im Gegensatz zu den vorhin genannten Funktionen lassen sich die Funktionen *Zusammenfügen (Join)* und *Offset* in CATIA V5® problemlos über diese Schnittstelle ansprechen und stellen überdies zufriedenstellende Rückgabewerte zur Auswertung der Prüfungen zur Verfügung.

Die hohe Anzahl an verschiedenen, zur Verfügung stehenden Prüfkriterien des Q-Checkers®, sowie die Tatsache, dass sich das Prüfwerkzeug ebenso über die API von CATIA V5® ansprechen lässt, führten zur Entscheidung, den Q-Checker® neben den Möglichkeiten in CATIA V5® als zusätzliches externes Prüfprogramm zur automatisierten Prüfung von Strakdaten zu verwenden. Somit werden im Rahmen dieser Masterarbeit zur Erstellung, Weiterverarbeitung und Prüfung von Strakdaten in der Fahrzeugentwicklung schlussendlich folgende Programme und deren Werkzeuge verwendet:

- ICEM Surf®
- CATIA V5®
- Q-Checker®

Dadurch ergeben sich für die in Kapitel 3.1 angeführten Anforderungen an Strak-Daten (Erstellung von Flächenverbänden, Offsettiefbarkeit, G0- bis G3-Stetigkeit, etc.) folgende Anwendungen der Prüfwerkzeuge, Prüfmethode bzw. Prüfkriterien.

3.3.1 Allgemeine Anforderungen an Strakdaten

3.3.1.1 Interaktive Flächenverbände

Die Erstellung bzw. Prüfung von Flächenverbänden, sowohl mit als auch ohne Konnektivität, erfolgt mit Hilfe der Funktion *Zusammenfügen* in CATIA V5®. Um etwaige topologische Fehler im Flächenverband (Abbildung 3.27, Kapitel 3.2.2) auszuschließen wird im ersten Schritt eine Erstellung eines Flächenverbandes ohne Konnektivität ausgeführt. Ist eine Berechnung dieses Flächenverbandes problemlos möglich, erfolgt im nächsten Schritt die Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität, andernfalls wird auf die Erstellung mit Konnektivität verzichtet. Wurden z.B. beim Aufbau der Struktur des Straks fälschlicherweise mehrere Unterbauteile innerhalb eines Bauteils (z.B. *Bumper Beam* und *Tow Cover* nicht gesondert, sondern in einem Bauteil erstellt) abgelegt, kann dieser Fehler durch die Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität gefunden werden (vgl. Abbildung 3.25, Kapitel 3.2.2). Die Weiteren, zur Verfügung stehenden Optionen wie z.B. *Tangentenstetigkeit prüfen*, *Fehlerhafte Elemente ignorieren* oder *Das Ergebnis vereinfachen* sind hierbei nicht von Interesse, da z.B. die Tangentenstetigkeit von Flächenübergängen mit dem Q-Checker® einfacher geprüft werden kann, bzw. eine Vereinfachung bzw. Veränderung der Strak-Daten in CATIA V5® nicht erlaubt ist.

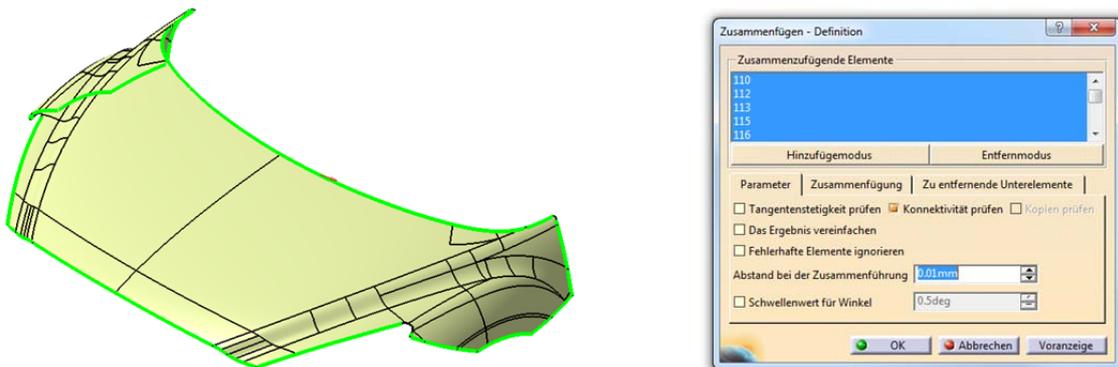


Abbildung 3.46 Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität und zugehöriger Funktionsmaske in CATIA V5®

3.3.1.2 Offsettbarkeit

Die Prüfung der Offsettbarkeit von Strak-Daten wird ausgehend von einem Flächenverband mit Konnektivität ebenfalls in CATIA V5® durchgeführt. Konnte zuvor kein Flächenverband mit Konnektivität erstellt werden, ist die Erstellung bzw. Prüfung einer Offsetfläche nicht notwendig bzw. wenig sinnvoll, oder zum Teil auch gar nicht möglich. War die Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität zuvor jedoch erfolgreich, kann folglich eine Prüfung der Offsettbarkeit dieses Flächenverbandes durchgeführt werden. Aufgrund der zum Teil komplexen Geometrien der Bauteile kann jedoch jener Effekt eintreten, dass für bestimmte Werte eine Offsetfläche erstellt werden kann, während für andere Werte bzw. durch das Überschreiten eines bestimmten Wertes keine Offsetfläche mehr berechnet werden kann. Abbildung 3.47 und Abbildung 3.48 zeigen die Offsettierung einer *Hood* für Offsetwerte von 0,3 bzw. 0,5 mm. Für 0,3 mm konnte der Offset (grüne Flächen in Abbildung 3.47) problemlos erstellt werden, während eine Offsettierung mit 0,5 mm zu einer Degenerierung mehrerer Flächen führt. Da ein Verändern der Strak-Daten in CATIA V5® wiederum strikt untersagt ist, dürfen die in Abbildung 3.48 empfohlenen Glättungsoptionen nicht angewendet werden.

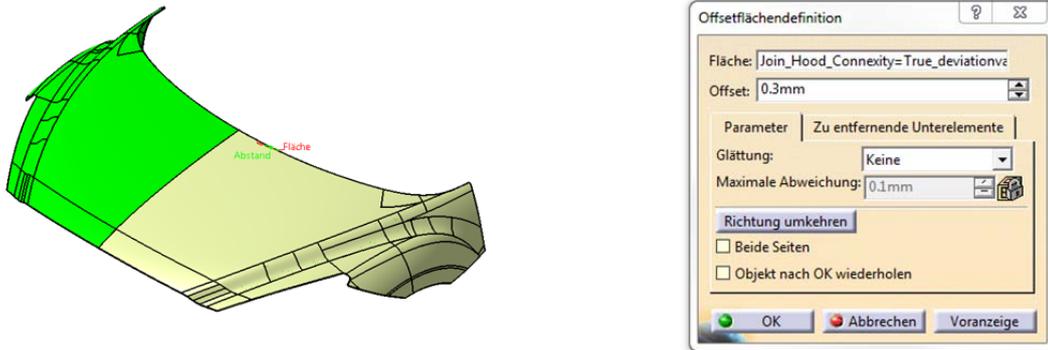


Abbildung 3.47 Erstellung einer Offsetfläche mit einem Offsetwert von 0,3 mm

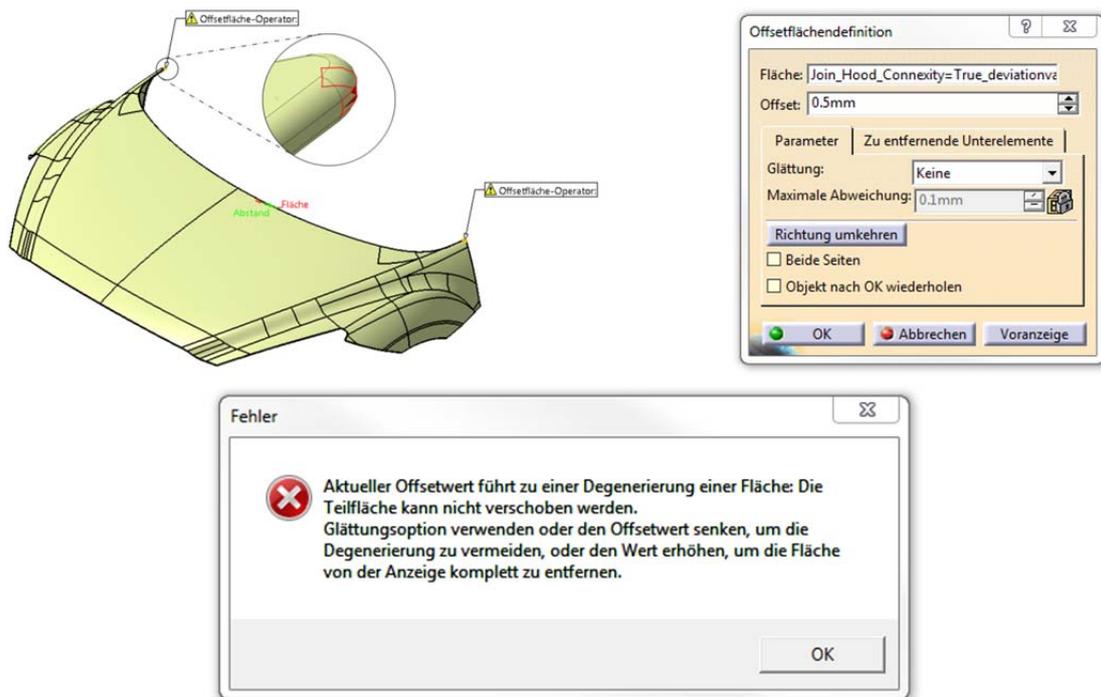


Abbildung 3.48 Erstellung einer Offsetfläche mit einem Offsetwert von 0,5 mm

3.3.1.3 Weitere allgemeine Anforderungen an Strak-Daten

Die weiteren allgemeinen Anforderungen bzw. Kriterien neben der Erstellung von Flächenverbänden bzw. Offsetflächen aus Tabelle 3.2 (in Kapitel 3.1) müssen zum Teil bereits bei der Erstellung der Strak-Daten in ICEM Surf® beachtet bzw. überprüft werden, können aber auch teilweise erst nach der Konvertierung mit Hilfe des Q-Checkers® kontrolliert werden. So bieten z.B. weder CATIA V5® noch der Q-Checker® Möglichkeiten, die mathematische Beschreibung der Strakdaten zu kontrollieren, weshalb das richtige Format (Bézier-Kurven bzw. –Flächen) bereits bei der Erstellung in ICEM Surf® zu wählen ist. Ebenso muss die richtige Strukturierung der Strak-Daten bereits bei der Erstellung in ICEM Surf® erfolgen. Im Gegensatz dazu werden beispielsweise Flächenverbände erst nach der Konvertierung in CATIA V5® durch eine dortige Erstellung geprüft. Manche Kriterien wie die möglichst geringe Patchanzahl im Flächenaufbau oder die Richtung der Flächennormalen können sowohl bei der Erstellung in ICEM Surf® aber auch nach der Konvertierung nach CATIA V5® mit Hilfe des Q-Checkers® kontrolliert werden. In Tabelle 3.6 sind alle allgemeinen Anforderungen aus Tabelle 3.2 angeführt und zusätzlich die Art bzw. der Ort (Software-Umgebung), in der die Prüfung durchgeführt wird, angegeben.

Allgemeine Anforderungen/ Kriterien	Zeitpunkt der Prüfung	Prüf Umgebung
Flächenverband mit und ohne Konnektivität muss erstellbar sein	nach der Konvertierung durch eine Erstellung	CATIA V5®
Offsettiefbarkeit mit fixen und variablen Offsetwerten muss erstellbar sein	nach der Konvertierung durch eine Erstellung	CATIA V5®
Richtiges math. Beschreibung der Strakdaten (keine NURBS-Strukturen, nur Bézier-Kurven bzw. -Flächen)	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Entformbarkeit ist stets zu gewährleisten	bei der Erstellung	ICEM Surf®
gesetzliche und fertigungstechnische Mindest- und Maximalradien sind einzuhalten	bei der Erstellung bzw. nach der Konvertierung	ICEM Surf® bzw. Q-Checker®
Verrundungen größer 3 mm sind mit Anlauf und G2- bzw. G3-stetig auszuführen	bei der Erstellung bzw. nach der Konvertierung	ICEM Surf® bzw. Q-Checker®
Flächen müssen über das Fugenmaß hinaus extrapolierbar sein	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Abstimmungen müssen mit einem Übermaß von 10 - 20% vom Sollmaß konstruiert werden	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Anschlüsse zwischen Kurven und Flächen müssen im Allgemeinen G3-stetig sein	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Flächenaufbau mit möglichst wenigen Patches mit möglichst geringer Ordnung	bei der Erstellung bzw. nach der Konvertierung	ICEM Surf® bzw. Q-Checker®
Keine konvex-konkaven Patches, Patchgrenzen entsprechend setzen	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Gewichtung des Kontrollpunktnetzes nur in begründeten Ausnahmefällen	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Ungerade Ordnung bei symmetrischen Patches über die Mittelebene	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Lichtlinienverlauf gleich oder besser als jener der Abtastung	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Kein Versatz, keine Diskontinuitäten in den Lichtlinien, harmonische Verläufe	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Keine S-Schläge oder Herzformen	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Highlights, Licht- und Schattenverläufe müssen mit jenen des Clay-Modells übereinstimmen	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Richtung der Flächennormalen muss einheitlich sein	bei der Erstellung bzw. nach der Konvertierung	ICEM Surf® bzw. Q-Checker®
Einhaltung der Face-Toleranzen	bei der Erstellung bzw. nach der Konvertierung	ICEM Surf® bzw. Q-Checker®

Einhaltung der Toleranzen für Flächenübergänge (G0- bis G3-Stetigkeit)	bei der Erstellung bzw. nach der Konvertierung	ICEM Surf® bzw. Q-Checker®
Keine Welligkeit in Flächen	bei der Erstellung bzw. nach der Konvertierung	ICEM Surf® bzw. Q-Checker®
Übersichtliche und logische Strukturierung der Daten	bei der Erstellung	ICEM Surf®
Einarbeitung von Meta-Informationen in den Strak	bei der Erstellung	ICEM Surf®

Tabelle 3.6 Allgemeine Anforderungen inkl. Angabe der Prüfumgebung

Grundsätzlich sollten alle diese Anforderungen bzw. Kriterien, soweit möglich, bereits bei der Erstellung der geometrischen Elemente in ICEM Surf® beachtet werden. Jedoch ist diese manuelle Kontrolle aufgrund der hohen Komplexität sowie der großen Anzahl an unterschiedlichen Bauteilen in den einzelnen Fahrzeugbereichen mit einem enormen Aufwand verbunden. Aus diesem Grund ist es ratsam, die Prüfungen der verschiedenen Kriterien wenn möglich, mit Hilfe des Q-Checkers® durchzuführen, da aufgrund des Qualitätsverlust bei der Konvertierung eine Prüfung der Strakdaten im Zielsystem (CATIA V5®) angestrebt wird, sowie diese Prüfung in CATIA V5® über eine API automatisiert ausgeführt werden kann.

3.3.2 Spezielle Anforderungen an Strakdaten

3.3.2.1 Identische begrenzte Fläche bzw. Flächen-Features

Mit diesen Kriterien können identische bzw. teilweise identische begrenzte Flächen bzw. Flächen-Features entdeckt werden, die von anderen begrenzten Flächen bzw. Flächen-Features komplett bzw. teilweise eingeschlossen oder überdeckt werden. Identische Flächenelemente sind Duplikate anderer Flächenelemente und erhöhen so z.B. unnötig den Speicherbedarf bzw. führen zu Problemen in der Topologie bei der Erstellung von Flächenverbänden und Offsets. Teilweise identische Elemente sind Flächenelemente, die komplett innerhalb eines anderen Elements liegen. [34] In Abbildung 3.49 sind beispielhaft eine identische begrenzte Fläche (links) sowie eine teilweise identische begrenzte Fläche (rechts) innerhalb einer Hood dargestellt.

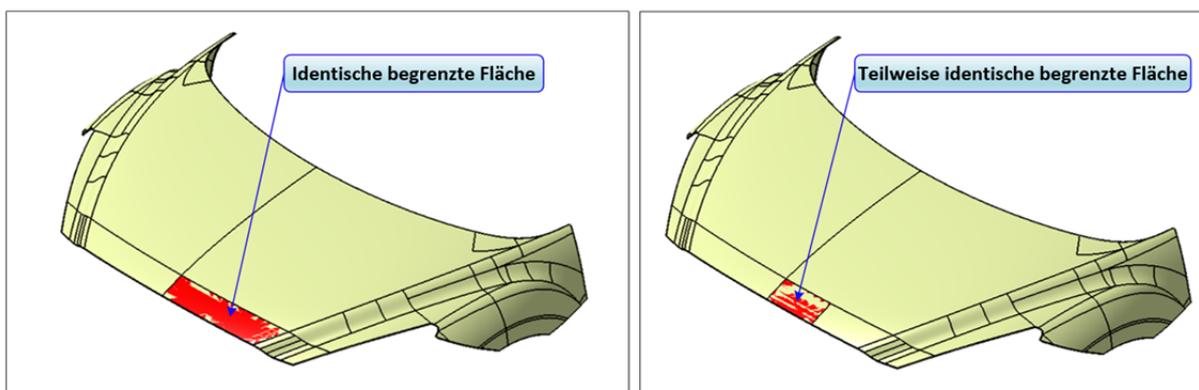


Abbildung 3.49 Beispiele einer identischen (links) bzw. teilweise identischen (rechts) begrenzten Fläche innerhalb einer Hood

3.3.2.2 Offener oder überlappender Flächenverband

Mit diesem Kriterium kann überprüft werden, ob Randkurven einer Topologie eindeutig geschlossen sind. Somit ist es möglich, offene Kanten und Mehrfachknoten innerhalb einer Topologie zu erkennen. [34] Abbildung 3.50 zeigt ein Beispiel einer überlappenden Randkontur innerhalb des Flächenverbandes eines *Bumper Beams*.

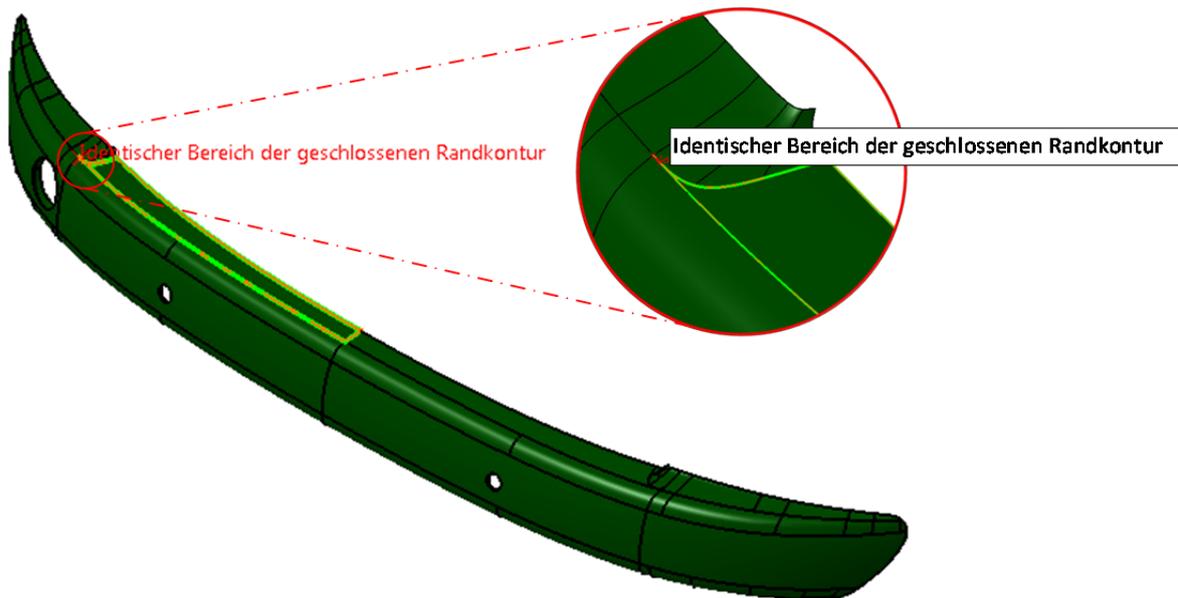


Abbildung 3.50 Beispiel einer überlappenden Randkontur innerhalb eines *Bumper Beams*

3.3.2.3 Krümmungs-, Tangenten- bzw. Lageunstetige begrenzte Flächen bzw. Flächensegmente

Mit diesen Kriterien kann die Krümmungs-, Tangenten- sowie Lagestetigkeit zwischen begrenzten Flächen bzw. Flächensegmenten überprüft werden. Haben z.B. die Krümmungsradien an den Flächengrenzen denselben Wert bzw. liegt die Abweichung der Radien innerhalb der vorgegebenen Toleranz, kann ein Flächenübergang als krümmungsstetig bezeichnet werden. Diese Krümmungsstetigkeit spielt bekanntlich eine große Rolle für den optischen Eindruck (Lichtkanten, Spiegelungen) von Oberflächen. [34] Analog dazu verhalten sich die Kriterien für G0- und G1-Stetigkeit. Liegen zwischen den Flächenbegrenzungen benachbarter begrenzter Flächen bzw. Flächensegmenten keine Abweichungen hinsichtlich Winkeldifferenz bzw. Lage vor, oder liegen diese Abweichungen innerhalb der vorgegebenen Toleranz, gelten diese Flächenübergänge als tangential- bzw. lagestetig. In Abbildung 3.51 ist eine Kontrolle der Krümmungsstetigkeit innerhalb des Flächenverbandes einer *Hood* dargestellt. Die Werte neben den einzelnen Punkten geben jeweils den maximalen Krümmungsradius des jeweiligen Flächensegments im betrachteten Punkt an. So weist das Flächenelement 1 am Flächenübergang einen Krümmungsradius von 1778,83 mm auf, während derselbe Punkt im Flächenelement 2 einen Radius von 1534,57 mm hat. Folglich liegt in diesem Punkt eine Krümmungsunstetigkeit zwischen den beiden Flächenelementen vor, welche ebenfalls durch den Sprung in der anschließend ausgeführten *Krümmungsanalyse mit Stacheln* in CATIA V5® erkennbar ist.

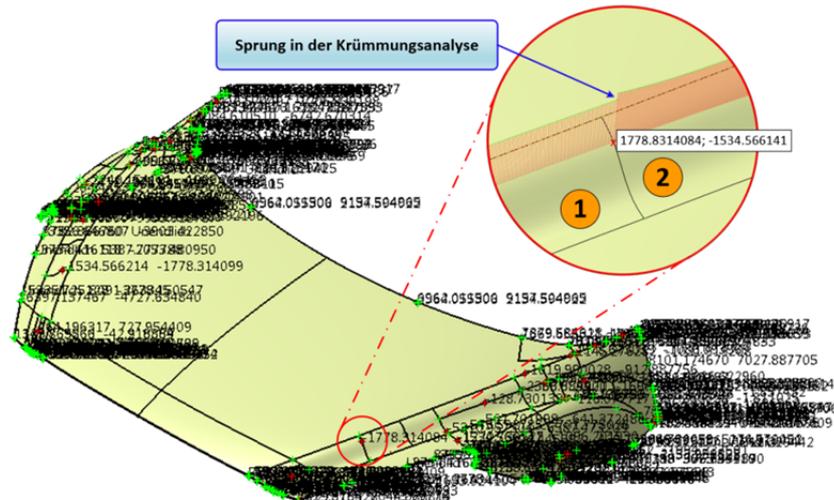


Abbildung 3.51 Beispiel einer Prüfung auf Krümmungsstetigkeit mit Hilfe des Q-Checkers®

3.3.2.4 Minielemente in begrenzten Flächen bzw. Berandungskurven und Berandungskurvenzügen

Durch Anwendung dieser Prüfoption können mit Hilfe des Q-Checkers® Flächenelemente deren Flächeninhalte bzw. Berandungskurven deren Länge bestimmte Werte unterschreiten gefunden werden. Diese Minielemente, die eine bestimmte Ausdehnung unterschreiten, können vor allem bei Systemwechsel zu degenerierten, fehlerhaften Elementen und so z.B. zu Lücken in Topologien bzw. auch zum Verlust von Topologien führen. [34] Die Abbildung 3.52 zeigt die Untersuchung einer *Hood* hinsichtlich von Minielementen in Berandungskurven. Im dargestellten Fall ist aufgrund der Symmetrie des Bauteils sowohl an der linken als auch der rechten Seite ein Element vorhanden, das die vorgegebene Mindestlänge von Berandungskurven unterschreitet.

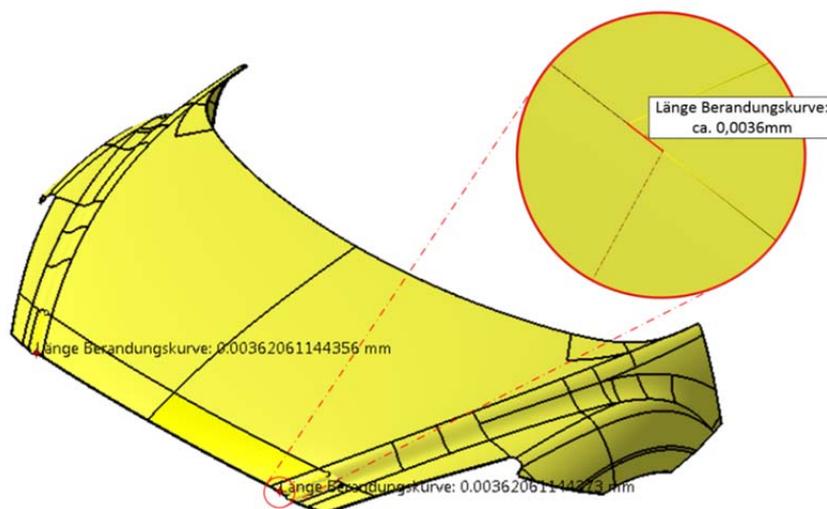


Abbildung 3.52 Beispiel einer Untersuchung auf Minielemente in Berandungskurven an einer *Hood* mittels Q-Checker®

3.3.2.5 Welligkeit von Flächen

Die Welligkeit von Flächen ist ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Betrachtung der Qualität von Oberflächen. Diese Welligkeit von Trägerflächen, sprich die Anzahl der Vorzeichenwechsel der Krümmung innerhalb einer Trägerfläche kann mit Hilfe dieses

Kriteriums geprüft werden. In Abbildung 3.53 ist wiederum eine *Hood* dargestellt, welche dieses Mal hinsichtlich der Welligkeit der Trägerflächen analysiert wurde. [34]

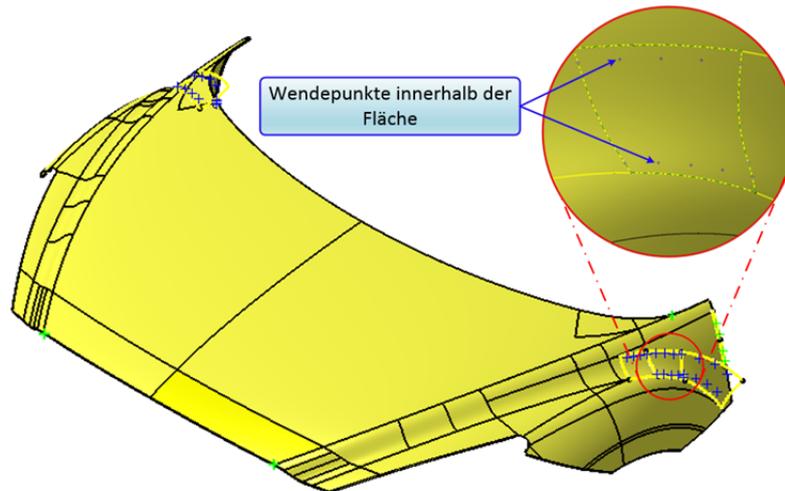


Abbildung 3.53 Beispiel einer Welligkeit innerhalb einer Fläche

3.3.2.6 Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband

Zur Untersuchung der Ausrichtung aller Flächennormalen innerhalb einer Topologie bietet der Q-Checker® dem Anwender dieses Kriterium an. Die richtige bzw. auch einheitliche Ausrichtung der Flächennormalen spielt z.B. bei der Festlegung der Richtung der Offsetbildung eine wesentliche Rolle. [34] In Abbildung 3.54 ist eine unterschiedliche Orientierung der Flächennormalen innerhalb des Flächenverbandes einer *Hood* dargestellt, bei der die Flächennormalen links und rechts der Symmetrieebene eine unterschiedliche Orientierung aufweisen.

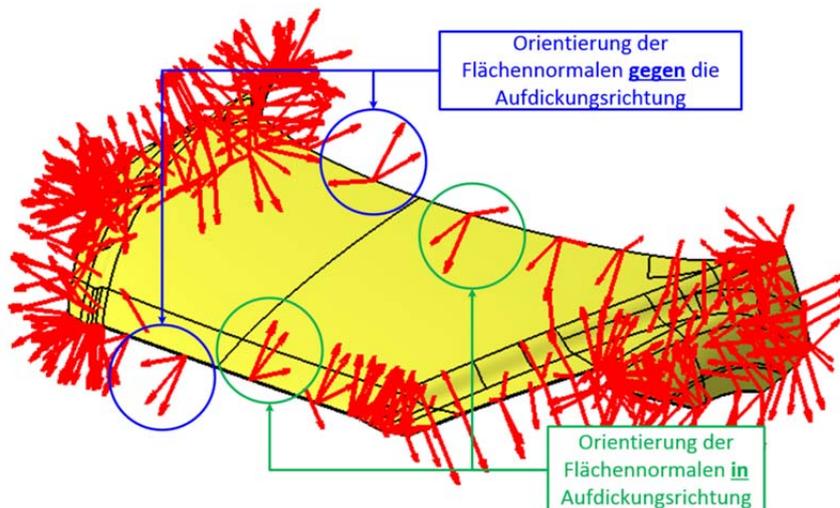


Abbildung 3.54 Beispiel einer inkonsistenten Orientierung der Flächennormalen einer Hood

3.3.2.7 Weitere spezielle Anforderungen an Strakdaten

Die weiteren speziellen Kriterien aus Tabelle 3.3 (Kapitel 3.1), wie schmale begrenzte Flächen, hoher Polynomgrad einer Fläche, etc., können ebenso wie die zuvor beschriebenen Kriterien (Minielemente, Welligkeit, etc.) durch Anwendung des Q-Checkers® nach der Konvertierung in CATIA V5® geprüft werden. In Anhang a sind die entsprechenden Kriterien zur Prüfung dieser Anforderungen nochmals in tabellarischer Form angeführt.

3.4 Entwicklung einer geeigneten Prüfkongfiguration

Ausgehend von den Anforderungen an Strakdaten in der Fahrzeugentwicklung (Kapitel 3.1) sowie den zur Verfügung stehenden Prüfmöglichkeiten in CATIA V5® bzw. im Q-Checker® (Kapitel 3.2) konnte durch die Analyse dieser Prüfkriterien und einer iterativen Anpassung der verschiedenen Prüfparameter eine geeignete Prüfkongfiguration zur Prüfung und Freigabe von Fahrzeug-Strakdaten ermittelt werden. Die im Folgenden dargestellte Ermittlung der Prüfkongfiguration wurde für eine Prüfung auf den Reifegrad B-CLASS A des Straks durchgeführt und ausgehend von dieser Prüfkongfigurationen die Kongfiguration für die Reifegrade A-CLASS A bzw. C-CLASS A abgeleitet

3.4.1 Ermittlung geeigneter Prüfkriterien bzw. -parameter zur Strakfreigabe

Die Ermittlung bzw. das Finden einer geeigneten Prüfkongfiguration mit entsprechenden Prüfkriterien und Prüfparametern ist ein iterativer Prozess mit mehreren Schleifen und Prüfdurchläufen, welcher in Abbildung 3.55 beispielhaft dargestellt ist. Ausgehend von den Prüfkriterien für allgemeine und spezielle Anforderungen an Strakdaten (Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3), den vom Projektpartner zur Verfügung gestellten Toleranzwerten für Strakdaten (Tabelle 3.1) sowie Gesprächen mit Entwicklungsingenieuren konnten alle Prüfparameter (für den Q-Checker® bzw. CATIA V5®) für eine vorläufige Prüfkongfiguration festgelegt werden.

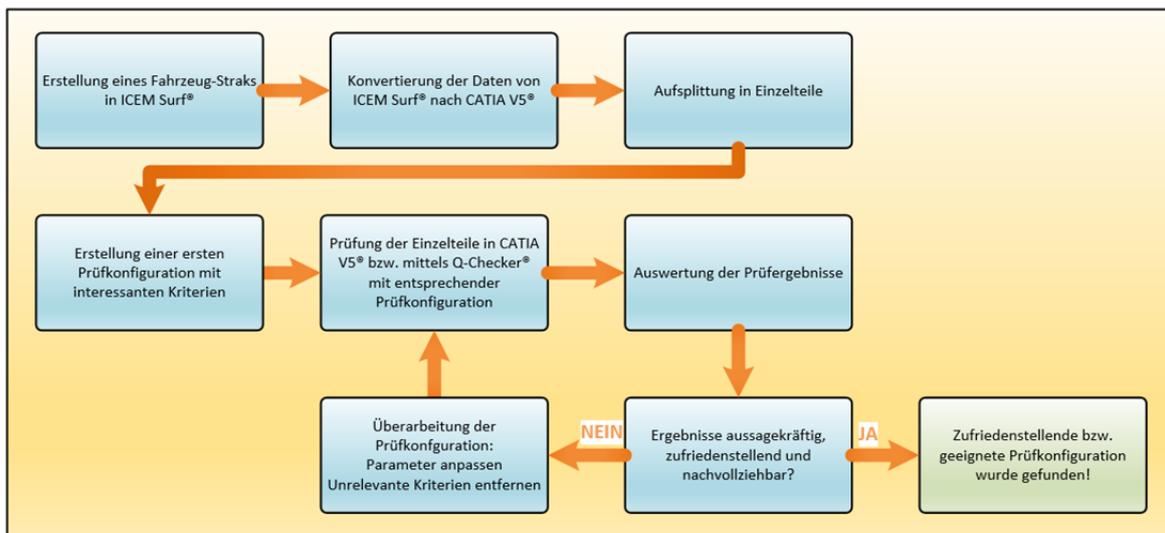


Abbildung 3.55 Ablauf zur Ermittlung einer geeigneten Prüfkongfiguration

Der in ICEM Surf® erstellte Fahrzeugbereich (*Front Body*) wurde nach CATIA V5® konvertiert und dort entsprechend der Strukturierung in seine Einzelteile (*Hood, Front Bumper, etc.*) aufgesplittet, womit durch den Aufruf der zuvor erstellten Prüfkongfiguration der erste Prüfdurchlauf für mehrere Bauteile gestartet werden konnte. Das Prüfergebnis des Q-Checkers® einer *Hood* (siehe Anhang b) zeigt, dass dieses Bauteil zum Beispiel eine Vielzahl der geforderten Kriterien erfüllt (grün markiert), jedoch gewisse Anforderungen auch nicht erfüllt werden, sprich fehlerhaft sind (gelb markiert). Im Folgenden wird das erhaltene Prüfergebnis durch eine manuelle Kontrolle der Bauteile in ICEM Surf® bzw. CATIA V5® genau analysiert, um mögliche Fehlinterpretationen auszuschließen und einzelne Parameterwerte gegebenenfalls anzupassen. Zur Erstellung einer endgültigen Prüfkongfiguration sind im Folgenden mehrere Schleifen bzw. Durchläufe zur Anpassung der Parameterwerte bzw. Prüfkriterien notwendig.

Im Laufe dieses Iterationsprozesses konnten aus der zuvor getroffenen Auswahl Kriterien entfernt bzw. deren Fehlerpriorität angepasst werden. Durch die Fehlerpriorität kann der Anwender im Falle einer Verletzung des jeweiligen Kriteriums eine Gewichtung der Fehlerschwere vornehmen. Die Definition der Fehlerpriorität erfolgt bei der Erstellung des Q-Checker®-Prüfprofils. So wird z.B. für die Verletzung einer *Hohen Segmentanzahl in der Berandungskurve* lediglich eine Warnung zurückgegeben, während ein *Offener oder überlappender Flächenverband* oder auch die *Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband* ein KO-Kriterium darstellt. Erfüllt ein Bauteil die im Kriterium definierten Vorgaben, wird dieses Kriterium im Prüfbericht unabhängig von der zuvor gewählten Prioritätsklasse als *In Ordnung* ausgewiesen. Durch das Setzen der verschiedenen Prioritäten bieten sich dem Anwender bessere Möglichkeiten seine Prüfkongfigurationen an den jeweiligen Reifegrad anzupassen. So wird z.B. in den Reifegraden C-CLASS A bzw. B-CLASS A noch keine Krümmungsstetigkeit an den Flächenübergängen verlangt, während diese Stetigkeit jedoch im Reifegrad A-CLASS A vorgeschrieben ist. Für informative Zwecke bietet es sich jedoch an, bereits in den beiden vorherigen Reifegraden die Krümmungsstetigkeit zu untersuchen. Die Priorität wird in diesen Fällen (C- bzw. B-CLASS A) jedoch nicht mit als *Fehlerhaft* oder gar als *KO-Kriterium* definiert, sondern soll bei einem Verletzen lediglich eine *Warnung* zurückgegeben. Tabelle 3.7 zeigt die verschiedenen Prioritätsklassen zur Gewichtung der einzelnen Prüfkriterien des Q-Checkers®, sowie deren zugehörige farbliche Kennung in den Prüfberichten.

Priorität	Farbliche Kennung
In Ordnung	Grün
Warnung	Blau
Fehlerhaft	Gelb
KO-Kriterium verletzt	Rot
Abbruchkriterium verletzt	Schwarz

Tabelle 3.7 Prioritätsklassen des Q-Checkers®

Wie bereits zuvor erwähnt, wurden im Laufe der iterativen Schleifen mehrere Kriterien aus der Auswahl entfernt. Begründen lässt sich das damit, dass verschiedene Kriterien zum Teil die gleichen Eigenschaften von Elementen überprüfen und eine doppelte Prüfung somit keine weiteren Erkenntnisse bringen, sowie nur zu einem Anstieg der Rechenzeit führen würde. Beispiele hierfür wären z.B. die Kriterien *Minielement Fläche* oder *Identische begrenzte Flächen* bzw. *Identische Flächen*. Die Prüfung auf Minielementen in Flächenverbänden ist zwar von großer Bedeutung in der Prüfung von Strakdaten, jedoch können durch das Kriterium *Minielement begrenzte Fläche* alle diese Elemente entdeckt werden, wodurch das Kriterium *Minielement Fläche* nicht mehr benötigt wird. Die Kriterien *Identische begrenzte Flächen* bzw. *Identische Flächen* konnten ebenso entfernt werden, weil identische begrenzte Flächen bzw. identische Flächen (Trägerflächen) innerhalb anderer Flächen bereits durch das Kriterium *Identische Flächen-Features* gefunden werden können. In Abbildung 3.56 ist exemplarisch eine Prüfung auf *Identische begrenzte Flächen* bzw. *Identische Flächen-Features* dargestellt und ersichtlich, dass der Fehler im Flächenverband durch beide Kriterien gefunden werden kann, womit das Kriterium *Identische begrenzte Flächen* aus der Auswahl entfernt werden kann.

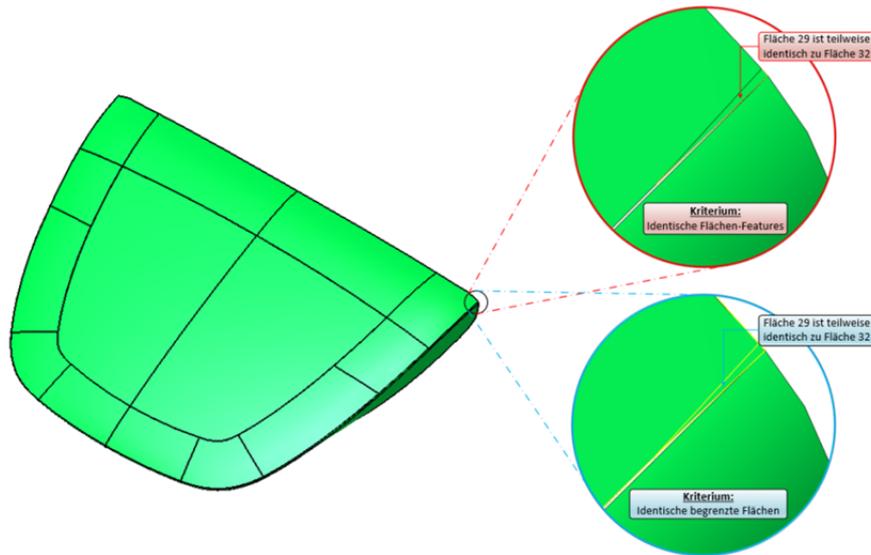


Abbildung 3.56 Beispiel einer Prüfung auf Identische Flächen-Features (rot) bzw. Identische begrenzte Flächen (blau) mittels Q-Checker®

Gewisse Kriterien des Q-Checkers® beziehen sich bei deren Prüfung nicht auf die Eigenschaften der begrenzten Flächen an sich, sondern auf jene der den begrenzten Flächen zugrunde liegenden Trägerflächen. Da Trägerflächen jedoch in CATIA V5® grundsätzlich nicht dargestellt werden und die Abmessungen dieser zum Teil um ein Vielfaches größer sein können als die begrenzte Fläche an sich, ist eine Prüfung dieser Kriterien nicht von weiterem Interesse und deshalb konnten diese aus der Vorauswahl entfernt werden. Beispiele hierfür wären die Kriterien *Welligkeit von Flächen* oder *Großer Krümmungsradius in Fläche*. Jedoch wurde aus informativen Gründen das Kriterium *Welligkeit von Flächen* nicht aus der Auswahl entfernt, aber die Priorität der Fehlerschwere bei einem Verletzen des Kriteriums lediglich als *Warnung* definiert. In Abbildung 3.57 ist eine Prüfung der Welligkeit einer *Hood* dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die Prüfung auf die Trägerfläche angewendet wird und somit über die eigentliche (begrenzte) Fläche hinausgeht.

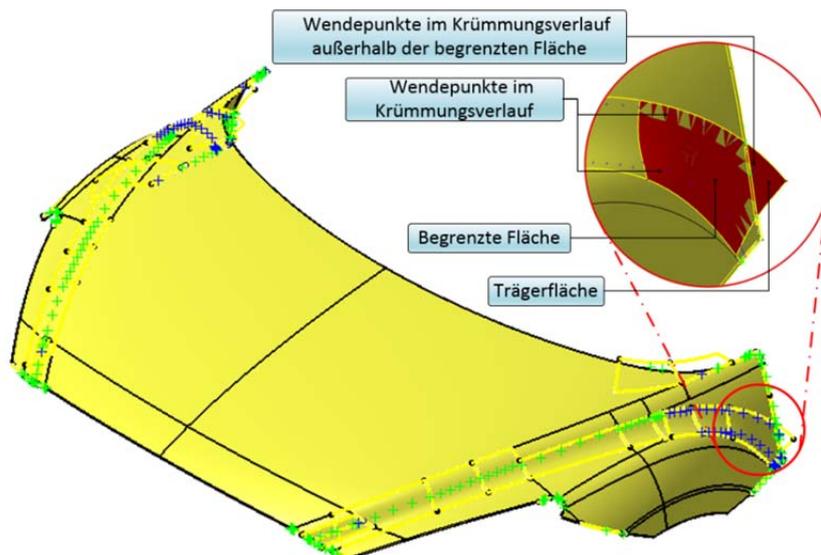


Abbildung 3.57 Beispiel einer Prüfung auf Welligkeit mittels Q-Checker®

Die Parameter für die interaktive Prüfung von Flächenverbänden mit und ohne Konnektivität sowie jener der Offsettiefbarkeit von Flächenverbänden in CATIA V5® wurden entsprechend der vom Projektpartner zur Verfügung gestellten Werte (Tabelle 3.1) festgelegt.

3.4.2 Ermittelte Prüfkongfiguration zur Strakfreigabe

Nach Durchlauf mehrerer Iterationsschleifen sowie der Analyse der jeweiligen Prüfergebnisse konnte folgende Prüfkongfiguration zur Freigabe von Strakdaten gefunden werden. Die Prüfkongfiguration wurde wie bereits erwähnt für den Reifegrad B-Class A ermittelt. Darauf aufbauend wurden schließlich die Parameter der verschiedenen Prüfkriterien, in CATIA V5® bzw. dem Q-Checker® für die Reifegrade C-CLASS A bzw. A-CLASS A entsprechend angepasst. In Tabelle 3.8 ist diese Prüfkongfiguration zur interaktiven Prüfung in CATIA V5® bzw. durch Anwendung des Q-Checkers® für den Reifegrad B-CLASS A angeführt. Die genauen Parameterwerte der verschiedenen Prüfkriterien sind in Anhang c aufgelistet.

Ermittelte Prüfkongfiguration	Priorität
Interaktive Prüfung von Flächenverbänden (mit und ohne Konnektivität)	KO-Kriterium
Interaktive Prüfung der Offsettiefbarkeit (mit fixem und variablen Offsetwert)	KO-Kriterium
Berechnung von Flächenverbänden	Fehler
Leere Domains	Warnung
Multi-Domain Fläche	Fehler
Identische Flächen-Features	KO-Kriterium
Überbelegter Eckpunkt	Warnung
Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband	KO-Kriterium
Offener oder überlappender Flächenverband	Fehler
Tangentenstetige Randkurve beim Flächenverband	Warnung
Treppenkante in Randkurve beim Flächenverband	Warnung
Überbelegte topologische Kante	KO-Kriterium
Krümmungs-unstetige begrenzte Flächen (G2-Unstetigkeit)	Warnung
Lage-unstetige begrenzte Flächen (G0-Unstetigkeit)	KO-Kriterium
Tangenten-unstetige begrenzte Flächen (G1-Unstetigkeit)	KO-Kriterium
Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband	KO-Kriterium
Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes	KO-Kriterium
Scharfe Kante im Flächenverband	Fehler
Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges	KO-Kriterium
Inkonsistente Orientierung von Berandungskurve in Berandungskurvenzug	Warnung
Lage-unstetige Berandungskurven (G0-Unstetigkeit)	Fehler
Spitzer Winkel zwischen Berandungskurven	Warnung
Hohe Segmentanzahl in Berandungskurve	Warnung
Geschlossene Berandungskurve	Fehler
Minielement Berandungskurve	Fehler
Minielement Berandungskurvensegment	Warnung
Geschlossene begrenzte Fläche	Fehler
Minielement begrenzte Fläche	Fehler
Schmale begrenzte Fläche	Fehler
Relativ schmale begrenzte Flächen	Fehler

Kleiner Krümmungsradius in Fläche	KO-Kriterium
Hoher Polynomgrad einer Fläche	Warnung
Hohe Segmentanzahl in Fläche	Warnung
Unbelegte Flächensegment-Reihen	Warnung
Welligkeit von Flächen	Warnung

Tabelle 3.8 Prüfkonfiguration zur Freigabe von Strakdaten für den Reifegrad B-CLASS A

4 Wissensbasierte Methodik zur teilautomatisierten Freigabe von Strakdaten

In diesem Abschnitt der Arbeit wird ein typischer Freigabeprozess von Strakdaten in der Automobilentwicklung nach heutigem Stand der Technik erläutert. Aus den daraus ermittelten Potentialen zur Verbesserung der Vorgehensweise wird anschließend die erarbeitete Methodik für einen effektiveren und effizienteren Prozess zur Freigabe von Strakdaten vorgestellt. Zum Abschluss des Kapitels wird auf die Arbeitsweise bzw. Umsetzung dieser wissensbasierten Methodik in eine Software-Applikation eingegangen.

4.1 Freigabeprozess von Strakdaten in der Automobilentwicklung

Der Prozess zur Freigabe von Strakdaten in der Automobilentwicklung (Abbildung 4.1) beginnt mit dem Aufbau der Datenstruktur des jeweiligen Fahrzeugbereichs (im Exterieur z.B.: *Front Body*, *Side Body* ...) im Objektmanager von ICEM Surf®. Ausgehend von dieser Strukturierung der Daten werden die geometrischen Elemente (*Atome*), wie Flächen und Kurven, der einzelnen Strak-Elemente erstellt und innerhalb der betreffenden *Teile* bzw. *Moleküle* im Objektmanager abgelegt. Nach Beendigung der kreativen Tätigkeit zum Erstellen der einzelnen Flächen und Kurven werden diese innerhalb von ICEM Surf® hinsichtlich ihrer qualitativen geometrischen Eigenschaften (Stetigkeiten der Flächenübergänge, Orientierung der Flächennormalen, etc.) überprüft (Punkt 1 in Abbildung 4.1). Dieser Vorgang zur manuellen Prüfung der Oberflächendaten stellt aufgrund der großen Zahl an verschiedenen Bauteilen und somit enormen Anzahl an Flächendaten jedoch einen riesigen Aufwand für den Straker dar. Aus diesem Grund wird meist nur eine Prüfung der für den Straker wichtigen Kriterien (z.B. Punkt- oder Krümmungstetigkeit, Orientierung der Flächennormalen, etc.) durchgeführt, während die für die technische Entwicklung interessanten Kriterien (mögliche Erstellung von Flächenverbänden, Abststellungen mit Übermaß, etc.) oder die für die Visualisierung relevanten Kriterien wie Normalen-Ausrichtung häufig vernachlässigt werden. In vielen Fällen wird aufgrund der begrenzten zeitlichen Kapazität sogar komplett auf eine Prüfung der Daten verzichtet. Um die gestrakten Flächen schließlich weiterverarbeiten zu können erfolgt eine direkte Konvertierung der Daten ins CAD-System CATIA V5® (Schritt 2, Abbildung 4.1). Bei dieser direkten Konvertierung können abhängig von der Qualität der Geometrie in ICEM Surf® jedoch oftmals Konvertierungsfehler auftreten, welche gesondert in eigenen GeoSets (z.B. Teilfläche KO39_625#120823 im mittleren Modellbaum in Abbildung 4.1) in CATIA V5® abgelegt werden. Eine Zuordnung dieser Konvertierungsfehler stellt einen hohen manuellen Aufwand für den Anwender dar, da eine direkte Identifizierung des zugehörigen Bauteils aus der Bezeichnung des GeoSets bzw. der Fehlerfläche selbst nicht möglich ist und nur über eine Auswertung des Konvertierungsprotokolls erfolgen kann. Grundsätzlich werden die Bezeichnungen und Strukturierung der Daten bei der direkten Konvertierung aus ICEM Surf® nach CATIA V5® übernommen, jedoch ist die zulässige Zeichenlänge in einigen Versionen von ICEM Surf® auf acht Zeichen begrenzt und somit eine aussagekräftige sowie durchgehende konsistente Bezeichnung der Bauteile schwierig. Dies ist ein Grund, weshalb die Bauteilbezeichnungen in CATIA V5® oftmals manuell angepasst werden. Somit geht eine durchgängige Bezeichnung vom Teil bzw. Molekül in ICEM Surf® bis zum GeoSet bzw. Bauteil in CATIA V5® verloren, was in Folge eine erhöhte Fehleranfälligkeit bei der Weiterverarbeitung darstellt. Zudem kann durch die Tatsache, dass durch die direkte Konvertierung der Daten die gesamte Geometrie in CATIA V5® in nur einem Bauteil

abgelegt wird, die Weiterverarbeitung bzw. Prüfung der Daten erheblich erschwert werden. Da, wie bereits in Kapitel 1.2 beschrieben, bei der Konvertierung für jedes Bauteil in CATIA V5® ein eigenes GeoSet angelegt wird und dies bei der Freigabe des Straks eines kompletten Fahrzeugbereiches (*Front Body, Side Body, etc.*) zu einer enormen Anzahl an GeoSets führt, wird die qualitative Prüfung der Daten im Zielsystem oft sehr unübersichtlich und folglich schwierig. Aus diesem Grund empfiehlt sich für eine einfachere Prüfung der Bauteile eine Aufsplittung des kompletten Fahrzeugbereiches in einzelne CAD-Dokumente (Schritt 3 in Abbildung 4.1). Gleichzeitig erfolgt durch diese Aufgliederung eine Zuordnung des Strak-Elements zum späteren Technik-Bauteil. Bei dieser Aufbereitung der Daten wird aus jedem GeoSet der ersten Ebene im mittleren Modellbaum in Abbildung 4.1 (z.B. *Front Bumper, Hood, etc.*) ein eigenes CATIA V5®-Part erstellt und die darunter liegenden GeoSets und Elemente in dieses Part kopiert. Die Art und Weise wie dieses manuelle Aufsplitten der Bauteile durchgeführt wird, liegt jedoch ganz allein im Ermessen des Anwenders. So werden zum Teil Zwischenebenen in der Struktur eingefügt, oder die geometrischen Elemente auch teilweise direkt innerhalb des ersten GeoSets abgelegt, womit keine durchgehende Strukturierung bzw. Standardisierung der freigegebenen Strakdaten in der CAD-Umgebung gegeben ist. Im rechten Modellbaum in Abbildung 4.1 ist beispielsweise solch ein unterschiedlicher Aufbau der Struktur zu erkennen. So wurden beispielsweise beim *Front Bumper* alle geometrischen Elemente direkt innerhalb des GeoSets der ersten Ebene (*Front Bumper*) abgelegt, während für die *Hood* ein weiteres GeoSet (*Hood_Strak*) erzeugt wurde, in das alle geometrischen Elemente verschoben wurden. Dieser manuelle Vorgang zur Aufbereitung der Daten stellt aufgrund der großen Datenmengen jedoch wieder einen enormen zeitlichen Aufwand für den Anwender dar, in dem er seinen eigentlichen kreativen Aufgaben nicht nachgehen kann. Im selben Arbeitsschritt erfolgt zudem die manuelle Eingabe bzw. Erstellung der erforderlichen Meta-Informationen für das betreffende Bauteil. Diese manuelle Eingabe von Bauteilnummern, Beschreibungen und Kommentaren bzw. die Hinterlegung von Oberflächenmaterialien, spezifischen Parametern oder die Erstellung von Flächenverbänden und Offsetflächen vor dem Hintergrund der sich ändernden Toleranzen bzw. Genauigkeitsanforderungen über den Prozessfortschritt in der Entwicklung stellt jedoch eine große potentielle Fehlerquelle im Freigabeprozess dar. Nach der Aufbereitung und Prüfung, sowie Ablage der Prüfergebnisse erfolgt die Erstellung einer Baugruppe des kompletten Fahrzeugbereiches aus den zuvor erstellten Bauteilen (Schritt 4 in Abbildung 4.1). Diese Assemblierung der Bauteile ist für den weiteren Freigabeprozess sowie die Ablage der Daten im PDM-System unerlässlich. Aufbauend auf diesen Daten aus dem PDM-System werden seitens der technischen Entwicklung die später darauf aufbauenden Bauteile entwickelt bzw. erzeugt.

Dieser komplette Prozess zur Freigabe von Strakdaten mit Beginn in der Erstellung der Struktur und Flächendaten in ICEM Surf® und anschließenden Konvertierung, Aufbereitung und Assemblierung der Bauteile in CATIA V5® stellt für den Straker bzw. die Oberflächenkonstruktion einen immensen zeitlichen Aufwand neben der eigentlichen Strak-Tätigkeit dar. Die Erstellung eines kompletten Fahrzeug-Straks erfolgt jedoch nicht in einem einzigen Durchlauf, sondern ist im Rahmen der Design-Technik-Konvergenz im frühen Entwicklungsprozess durch mehrere Iterationsschleifen mit ständigen Anpassungen und Überarbeitungen der Daten geprägt. Diese Anpassungen und Überarbeitungen der Oberflächendaten dürfen jedoch ausschließlich von der Oberflächenkonstruktion in ICEM Surf® erfolgen, weshalb der zuvor beschriebene Freigabeprozess, mit allen seinen

4. Wissensbasierte Methodik zur teilautomatisierten Freigabe von Strakdaten

Arbeitsschritten, im Laufe einer Fahrzeugentwicklung des Öfteren komplett durchlaufen werden muss. Diese Vielzahl an Iterationsschleifen mit den damit verbundenen manuellen Aufwänden und die Berücksichtigung aller notwendigen Prüfungen zeigt somit, welch großes Potential noch in der Optimierung des Freigabeprozesses von Strak-Daten liegt. Weitere Fehlerquellen stellen hierbei die manuellen Tätigkeiten hinsichtlich des Strukturmanagements sowie des Metadatenmanagements dar. Im derzeitigen Prozess hat sowohl die Erstellung der Struktur in ICEM Surf®, als auch die Aufspaltung in einzelne CAD-Dokumente und das Eintragen der entsprechenden Metadaten manuell zu erfolgen, was somit viel Fehlerpotential für z.B. Tippfehler zur Folge haben kann.

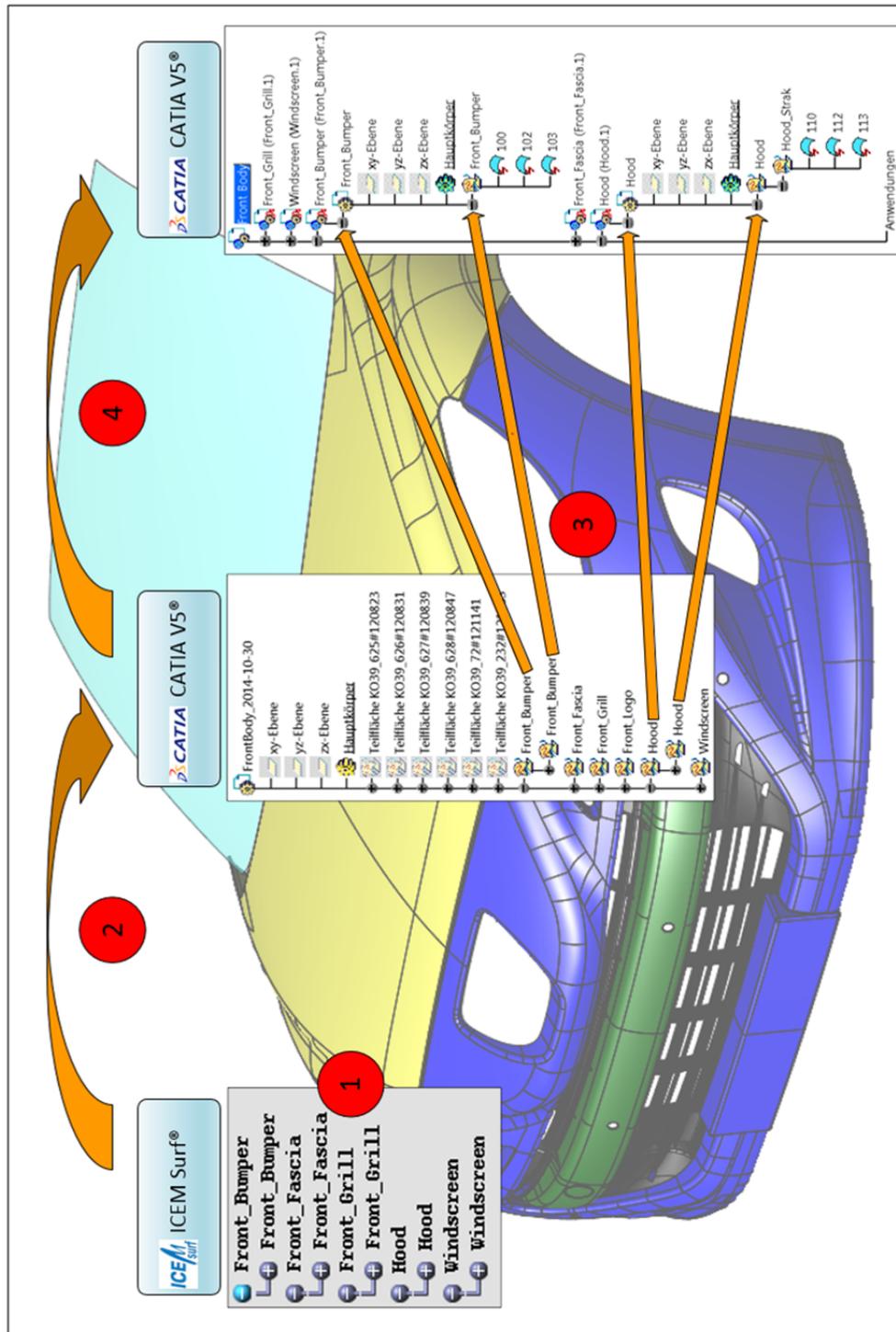


Abbildung 4.1 Prozess zur Freigabe von Strakdaten in der Automobilentwicklung

4.2 Wissensbasierte Methodik zur Strakfreigabe in der Automobilentwicklung

Die erarbeitete Methodik hat zum Ziel, die im aktuellen Freigabeprozess von Strak-Daten liegenden Potentiale aufzugreifen und diesen somit effektiver und effizienter zu gestalten. Ausgehend vom aktuellen Freigabeprozess und den in Kapitel 1.2 beschriebenen Anforderungen hinsichtlich der Strukturierung, der Qualität sowie den Meta-Informationen von Strak-Daten wurde die nachfolgend erläuterte Methodik bzw. der Prozessablauf (Abbildung 4.2) erarbeitet und schlussendlich in einer Software-Applikation umgesetzt. Die Applikation stellt eine interaktive Applikation im Bereich der wissensbasierten Konstruktion dar (vgl. Abbildung 2.28).

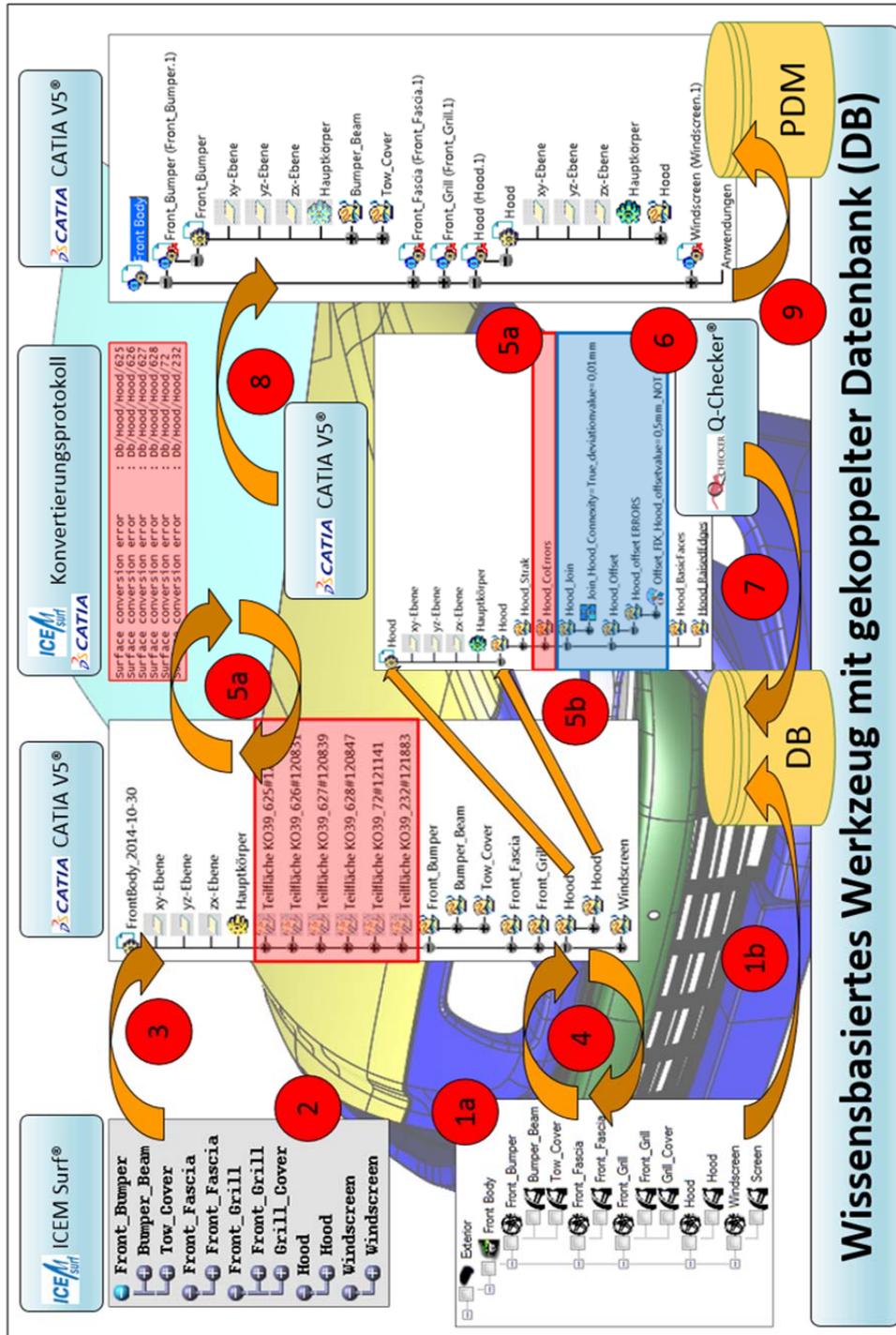


Abbildung 4.2 Prozessablauf der erarbeiteten, wissensbasierten Methodik zur Strakfreigabe

Im Gegensatz zu dem in Kapitel 4.1 beschriebenen typischen Freigabeprozess für Strakdaten beginnt der Prozess der erarbeiteten Methodik (Abbildung 4.2) nicht mit der Erstellung der Struktur bzw. geometrischen Elemente in ICEM Surf®, sondern erfordert die Definition einer Master-Struktur inklusive Benennung aller Bauteile innerhalb der Umgebung der Software-Applikation (Schritt 1a in Abbildung 4.2). Durch die Anwendung dieser hierarchisch vordefinierten Master-Struktur, welche durch die vier Ebenen *Region*, *Batch*, *Part* und *Sub-Part* definiert ist, lässt sich relativ einfach die Datenstruktur für einen Fahrzeugbereich, aber auch für ein komplettes Fahrzeug erstellen. In der ersten Ebene *Region* werden eine Unterscheidung der Bereiche Interieur bzw. Exterieur getroffen und unterhalb dieser schließlich der bzw. die entsprechenden Fahrzeugbereiche (*Batches*), wie z.B. *Front-*, *Side-* oder *Rear-Body* erstellt. Innerhalb dieser *Batches* erfolgt wiederum die Definition der verschiedenen *Parts* mit ihren zugehörigen *Sub-Parts*, in denen schlussendlich die geometrischen Elemente abgelegt werden (Abbildung 4.3). Im selben Arbeitsschritt, sprich bei der Erstellung der Master-Struktur erfolgt die Definition der jeweiligen Meta-Informationen für die Elemente der Batch-, Part- und Sub-Part-Ebene. Auf Part-Ebene wird beispielsweise hinterlegt, ob es sich beim betreffenden Bauteil (z.B. *Front Bumper*) um ein COP (Carry Over Part), sprich um ein schon vorhandenes Gleichteil oder um ein Spiegelteil eines anderen Bauteils handelt. Ebenso werden zusätzliche Informationen bezüglich des Autors oder Freigabestatus des Dokuments, aber auch Informationen für die spätere Ablage im PDM-System (z.B. PDM-Name oder PDM-ID) sowie Materialzuordnungen für die spätere Visualisierung bereits hier gemeinsam mit der Master-Struktur in einer gekoppelten Datenbank hinterlegt (Schritt 1b in Abbildung 4.2). Diese Master-Struktur ist die Grundlage aller nachfolgenden Arbeitsschritte und sorgt für eine nachvollziehbare und durchgehend konsistente Bezeichnung und Strukturierung der einzelnen Bauteile über den kompletten Freigabeprozess.

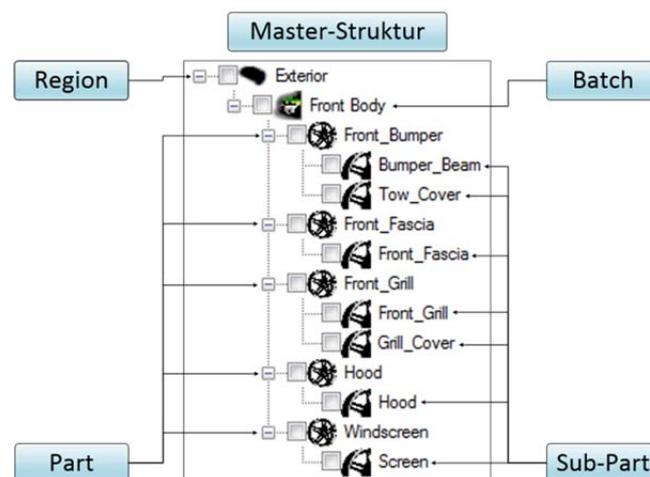


Abbildung 4.3 Aufbau einer Master-Struktur

Im nächsten Arbeitsschritt erfolgt auf Basis der in der Datenbank hinterlegten Master-Struktur die Erstellung der Datenstruktur für den zu erstellenden Fahrzeugbereich in ICEM Surf®. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und zur besseren Handhabung bzw. zur Vermeidung von sehr großen Dateien wird in ICEM Surf® kein Strak einer kompletten Region (Exterieur, Interieur) oder gar eines kompletten Fahrzeugs erstellt, sondern für jeden Fahrzeugbereich (Batch), wie z.B. *Front-Body* oder *Side-Body*, ein eigenes ICEM Surf®-Dokument erzeugt. Nach dem manuellen Aufbau der entsprechenden Master-Struktur erfolgt

eine automatische Erstellung eines leeren ICEM-Files mit einer der Master-Struktur entsprechenden Strukturierung, in welcher schließlich analog zu dem in Kapitel 4.1 beschriebenen typischen Freigabeprozess die manuelle Erstellung der einzelnen geometrischen Elemente des Straks, sprich die Oberflächenkonstruktion (Schritt 2 in Abbildung 4.2) durchgeführt wird. Trotz des Zieles einer Prüfung der Strakdaten im Zielsystem CATIA V5®, sollten diese Elemente vor der Konvertierung unbedingt in ICEM Surf® hinsichtlich einiger wichtiger Kriterien (z.B. Punkt- oder Krümmungsstetigkeit, etc.) überprüft werden. CAID-Systeme, wie ICEM Surf®, bieten vor allem für die Beurteilung der optischen Eigenschaften von Strakdaten, wie z.B. die Darstellung des Verlaufes der Reflexionslinien sehr gute Prüfmöglichkeiten an. Durch diese Prüfung im Autorensystem können grobe Fehler bereits vorzeitig entdeckt und unnötige Iterations- bzw. Anpassungsschleifen vermieden werden.

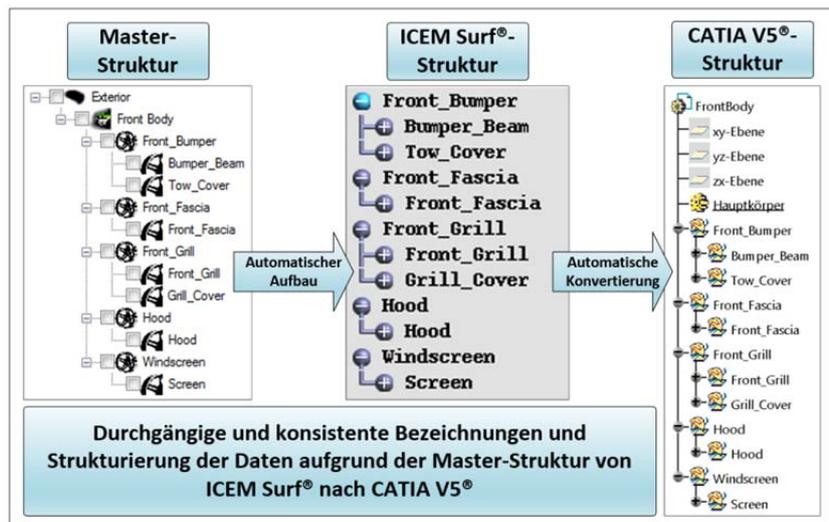


Abbildung 4.4 Datenkonsistenz im Prozess ausgehend von einer Master-Struktur

Die anschließende Konvertierung der CAID-Daten von ICEM Surf® nach CATIA V5® (Schritt 3 in Abbildung 4.2) erfolgt wiederum mittels direkter Konvertierung und liefert ausgehend von der Master-Struktur bzw. vom Aufbau in ICEM Surf® die entsprechende Datenstruktur in CATIA V5® (Abbildung 4.4). Der nächste Prozessschritt (Schritt 4 in Abbildung 4.2) beschreibt die Konsistenzprüfung der Strak-Daten nach der Konvertierung ins Datenformat von CATIA V5®. Hierbei erfolgt ein Abgleich der Bezeichnungen der einzelnen, freizugebenden Strak-Elemente (Batch, Parts, Sub-Parts) der in CATIA V5® vorhandenen Datenstruktur mit jener in der Datenbank hinterlegten Master-Struktur. Treten z.B. Unterschiede in den Elementbezeichnungen bzw. der Strukturierung auf, wird der Freigabeprozess abgebrochen und eine Kontrolle der Struktur, z.B. auf mögliche Tippfehler, ist erforderlich. Nach der Behebung etwaiger Fehler kann der Freigabeprozess von vorne begonnen werden.

Wurde die Konsistenzprüfung erfolgreich absolviert, kann mit Hilfe des Fehlerprotokolls eine automatische Zuordnung der Fehlerflächen zum betroffenen Bauteil erfolgen (Schritt 5a in Abbildung 4.2). Durch das Vergleichen der Bezeichnungen der Fehler-GeoSets (z.B. Teilfläche KO39_627#120839 in Abbildung 4.5), im Speziellen das Vergleichen der Zahl vor der # (hier: 627), mit der Zahl in der letzten Spalte des Konvertierungsprotokolls (siehe Abbildung 4.5), kann das fehlerhafte Element dem richtigen Part (hier: Hood) bzw. Sub-Part

(hier: *Hood*) in CATIA V5® zugeordnet und entsprechend umbenannt werden. Nachdem alle Fehlerflächen den entsprechenden Bauteilen zugeordnet werden konnten, kann die Aufspaltung des CAD-Dokuments des kompletten Fahrzeugbereichs (z.B. *Front Bodies*) in einzelne CAD-Dokumente erfolgen (Schritt 5b in Abbildung 4.2). Hierbei wird für jedes Element der dritten Ebene (Part-Ebene) der Master-Struktur der Reihe nach ein eigenes CAD-Dokument erzeugt, sowie gleichzeitig eine standardisierte Sub-Struktur innerhalb dieses Files erstellt (Abbildung 4.5). Diese Sub-Struktur ermöglicht die gezielte Ablage der verschiedenen geometrischen Elemente wie Strakflächen, Flächenverbände, Offsetflächen, etc. in eigenen geometrischen Sets. Zusätzlich werden in diesem Arbeitsschritt die zu Beginn (Schritt 1a in Abbildung 4.2) des Prozesses definierten Meta-Informationen (Autor, COP, Spiegelteil, Material, etc.) in das CAD-Dokument eingetragen und Screenshots des kompletten Parts aus verschiedenen Blickrichtungen erstellt und in der gekoppelten Datenbank abgelegt. Für den Fall, dass im betreffenden Bauteil während der Konvertierung fehlerhafte Elemente aufgetreten sind, wird in der Sub-Struktur ein zusätzliches GeoSet (z.B. *Hood_CoErrors*) eingefügt, in dem diese Elemente abgelegt werden. Abbildung 4.5 zeigt beispielhaft die Aufspaltung einer *Hood* aus dem konvertierten CAD-Dokument des kompletten Fahrzeugbereichs mit der generierten Sub-Struktur (blau), inklusive der Einordnung und Umbenennung der fehlerhaften Fläche (rot) in das entsprechende GeoSet.

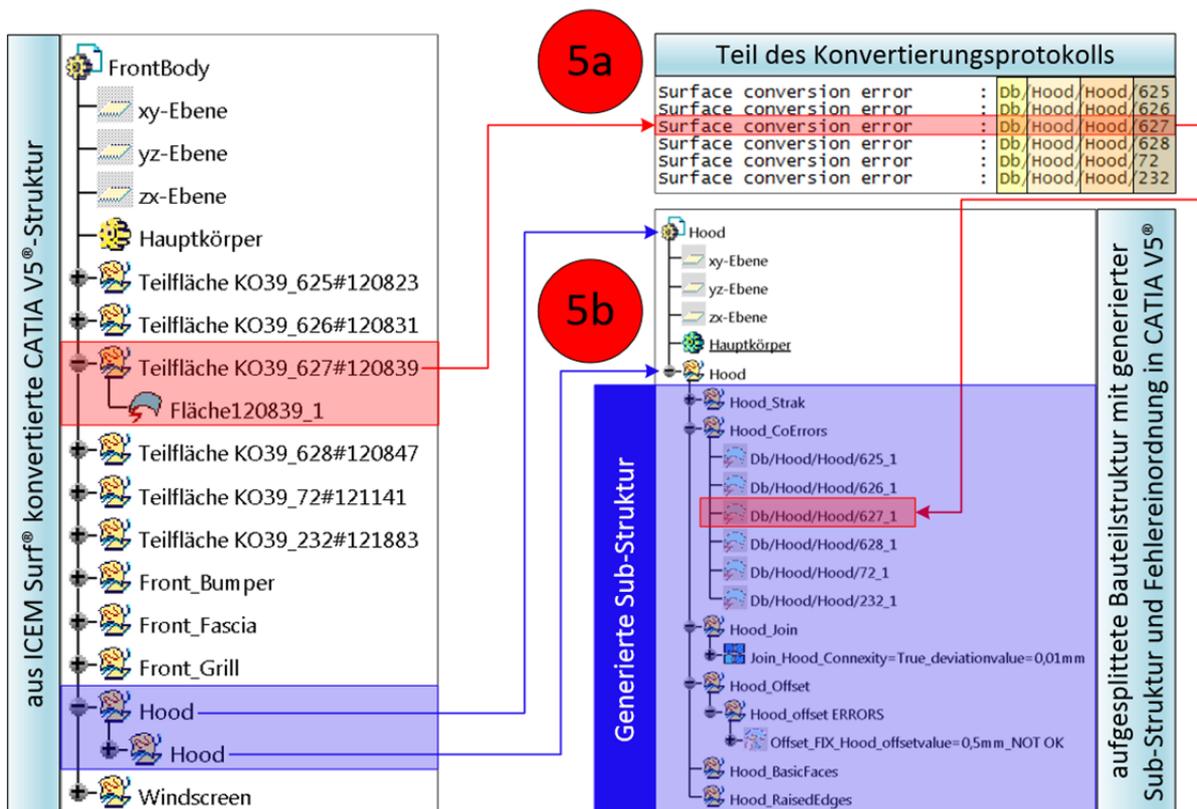


Abbildung 4.5 Aufspaltung mit generierter Sub-Struktur und Fehlereinordnung in CATIA V5®

Durch das Aufsplitten in separierte CAD-Dokumente liegt das Bauteil schließlich in jener Form vor, in der die eigentliche Prüfung der Daten (Schritt 6 in Abbildung 4.2) unter Anwendung der Software Q-Checker® und der CATIA V5®-internen Funktionen (Join, Offset) auf Sub-Part-Ebene möglich ist. Besteht ein Bauteil beispielsweise aus mehreren Sub-Parts, wie z.B. der *Front Bumper* aus *Bumper Beam* und *Tow Cover*, erfolgt keine Prüfung für das gesamte Bauteil, sondern wird für jedes der beiden Sub-Parts getrennt

durchgeführt. Durch diese explizite Prüfung und spätere Ablage von spezifischen Prüfberichten für die einzelnen Sub-Parts können mögliche Fehler genauer identifiziert und somit leichter behoben werden.

Um die Prüfung jedoch durchführen zu können, ist vorab, unabhängig vom eigentlichen Prozessablauf in der Umgebung der erarbeiteten Methodik, eine Prüfkongfiguration für einen gewünschten Meilenstein bzw. Reifegrad zu definieren (Abbildung 4.6). In dieser Prüfkongfiguration ist grundsätzlich anzugeben, welche Prüfungen im Prozess durchgeführt werden sollen. So können abhängig von der getroffenen Selektion (z.B. *Join Check Execution* in Abbildung 4.6) verschiedene Prüf szenarien ausgeführt werden:

- Komplette Prüfung durch Nutzung des Q-Checkers® und aller internen Funktionen in CATIA V5®
- Prüfung mit Hilfe aller internen CATIA V5®-Funktionen
- Prüfung allein auf die Erstellbarkeit von Flächenverbänden in CATIA V5®
- Prüfung allein auf die Erstellbarkeit von Offsetflächen in CATIA V5® (hierfür ist die Erstellung bzw. Prüfung von Flächenverbänden in CATIA V5® erforderlich)
- Prüfung auf die Erstellbarkeit von Flächenverbänden in CATIA V5® und zusätzliche Nutzung des Q-Checkers®
- Prüfung allein durch Nutzung des Q-Checkers®

The image shows a dialog box titled "Definition einer Prüfkongfiguration". It is divided into two main sections: "CATIA Internal Check" and "CATIA Q-Check".

CATIA Internal Check:

- Profile: Check_ALL (dropdown)
- New Name*: Check_ALL (text input)
- Join Check Execution
- Join Merging Distance*: 0,01 (text input)
- Offset Check Execution
- Offset Type*: Fix Variable
- Offset Value Fix*: 0,5 (text input)
- Offset Value Start*: 0,1 (text input)
- Offset Value Max*: 1 (text input)
- Offset Count*: 3 (text input)

CATIA Q-Check:

- Check Execution
- Check Environment*: CLASS_B (dropdown)

Abbildung 4.6 Erstellung einer Prüfkongfiguration

Weiters müssen bei der Erstellung der Konfiguration verschiedene Werte bzw. Profile definiert bzw. ausgewählt werden. Für die Prüfung der Erstellbarkeit von Flächenverbänden (*Join Check*) ist die Angabe des maximalen Abstandes für die Zusammenführung (*Join Merging Distance*) anzugeben, sprich jener Wert, bis zu welchem Abstand Flächen miteinander verbunden werden sollen. Bei der Prüfung von Offsetflächen ist eine Unterscheidung bezüglich der Erstellung eines einzigen Offsets (*Fix*) oder mehrerer Offsets (*Variable*) möglich. Für die Erstellung eines fixen Offsets ist ausschließlich die Angabe des gewünschten Offsetwertes (*Offset Value Fix*) anzugeben, während für variable Offsets der Start- bzw. Endwert (*Offset Value Start* bzw. *Offset Value Max*), sowie die Anzahl der dazwischen liegenden Offsets (*Offset Count*) definiert werden muss. Zur Durchführung einer

Prüfung durch Aufruf des Q-Checkers® ist eines der vordefinierten Profile (Erstellung wurde in Kapitel 3.4 erläutert) auszuwählen.

Im Prüfprozess werden die verschiedenen Prüfungen der Reihe nach für jedes vorhandene Sub-Part abgearbeitet. Im ersten Schritt erfolgt eine Erstellung von Screenshots des betreffenden Sub-Parts aus verschiedenen Blickrichtungen. Treten in einem Sub-Part etwaige Konvertierungsfehler auf, wird auch von jedem dieser fehlerhaften Elemente ein Screenshot erstellt und gemeinsam mit den Screenshots des Sub-Parts in der Datenbank abgelegt. Ausgehend von einer kompletten Prüfung mit Nutzung aller zur Verfügung stehenden Prüfoptionen (Q-Checker® und CATIA V5®-interne Funktionen), erfolgt im ersten Teilschritt der Aufruf bzw. die Prüfung der Daten mit Hilfe des Q-Checkers®. Wurde diese Prüfung abgeschlossen, erfolgt die weitere Prüfung durch Anwendung der internen Funktionen aus CATIA V5®. Beginnend mit der Erstellung eines Flächenverbandes ohne Konnektivität wird anschließend versucht, einen Flächenverband mit Konnektivität, sowie je nach Auswahl eine oder mehrere Offsetflächen zu erstellen, welche dabei in den entsprechenden GeoSets der zuvor generierten Sub-Struktur abgelegt werden. Tritt jedoch bei der Erstellung des ersten Flächenverbandes (ohne Konnektivität) ein Fehler auf, sprich, er lässt sich nicht erstellen, wird dieser entsprechend benannt, im Modellbaum inaktiviert und ausgeblendet. Der weitere Prüfprozess wird für dieses Sub-Part abgebrochen und, falls vorhanden, für das nächste Sub-Part mit Aufruf des Q-Checkers® von vorne gestartet. Ist die Erstellung des Flächenverbandes ohne Konnektivität hingegen erfolgreich, wird im nächsten Schritt versucht, einen Flächenverband mit Konnektivität zu erzeugen. Führt die Berechnung eines Flächenverbandes mit Konnektivität zu Fehlern, wird dieser im Modellbaum analog zu vorhin umbenannt, ausgeblendet und inaktiviert, sowie der weitere Prüfprozess für dieses Sub-Part wiederum beendet. Kann hingegen ein Flächenverband mit Konnektivität ohne Probleme erstellt werden, wird dieser wiederum im entsprechenden GeoSet der Sub-Struktur abgelegt, sowie der zuvor erstellte Flächenverband ohne Konnektivität aus dem Modellbaum gelöscht. Dieser neu erstellte Flächenverband mit Konnektivität dient im nächsten Schritt als Grundlage zur Prüfung der Offsettiefbarkeit durch Erstellung einer bzw. mehrerer Offsetflächen. Fehlerfreie Offsets werden entsprechend benannt und wiederum im entsprechenden GeoSet der Sub-Struktur abgelegt, sowie aus Gründen der Übersichtlichkeit inaktiviert und ausgeblendet. Für fehlerbehaftete Offsetflächen wird ein weiteres GeoSet in der Sub-Struktur erzeugt, in dem die umbenannten, inaktivierten sowie ausgeblendeten Offsetflächen wiederum abgelegt werden. Nach Erstellung bzw. Ablage der (letzten) Offsetfläche, ist der Prüfdurchlauf für das betreffende Sub-Part abgeschlossen und wird für das nächste Sub-Part, falls vorhanden, neu gestartet. Sind im Bauteil keine weiteren Sub-Parts mehr vorhanden, werden die geprüften Bauteile gespeichert und gemeinsam mit den expliziten Prüfergebnissen für jedes Sub-Part (Prüfbericht des Q-Checkers® (HTML-File) sowie den Rückmeldungen der internen CATIA V5®-Funktionen) in der gekoppelten Datenbank abgelegt (Schritt 7 in Abbildung 4.2). In Abbildung 4.7 ist die CATIA V5®-interne Prüfung eines *Front Grills* mit den Sub-Parts *Front Grill* und *Grill Cover* dargestellt. Es ist ersichtlich, dass für das Sub-Part *Front Grill* (blau) kein Flächenverband mit Konnektivität erstellt werden konnte, und somit keine weiteren Prüfungen (Flächenverband mit Konnektivität, Offsettiefbarkeit) durchgeführt wurden. Im Gegensatz dazu konnte im Sub-Part *Grill Cover* (rot) sowohl die Berechnung eines Flächenverbandes mit Konnektivität, als auch die Erstellung eines fixen Offsets mit 0,5mm problemlos durchgeführt werden.

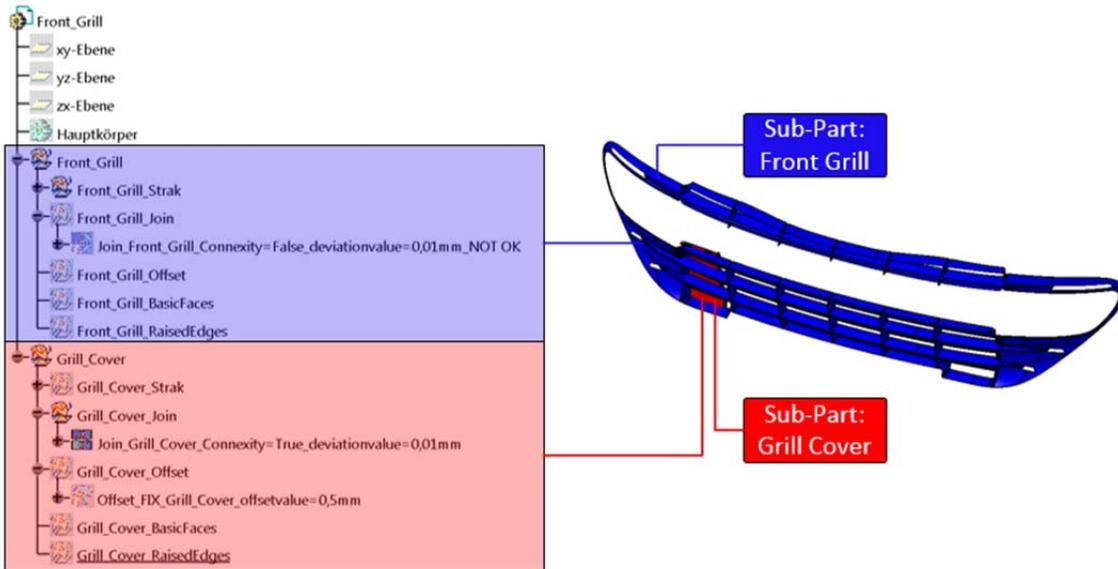


Abbildung 4.7 Interne CATIA V5®-Prüfung am Beispiel eines *Front Grills*

Im Vergleich zu Abbildung 4.7 wurde in Abbildung 4.8 eine Prüfung der Offsettingfähigkeit mit variablen Offsetwerten durchgeführt. Es zeigt sich, dass für das vorliegende Bauteil (*Front Bumper*), aber insbesondere für die Sub-Parts (*Bumper Beam* bzw. *Tow Cover*) der Fall eintritt, dass die Erstellung für einige Offsetwerte (0,1 bis 0,6mm sowie 1,0mm) möglich ist, jedoch für bestimmte Offsetwerte (0,8mm) nicht, und diese fehlerhaften Offsets, wie zuvor beschrieben, schließlich in eigenen GeoSets (z.B. *Bumper_Beam_offset ERRORS*) abgelegt werden.

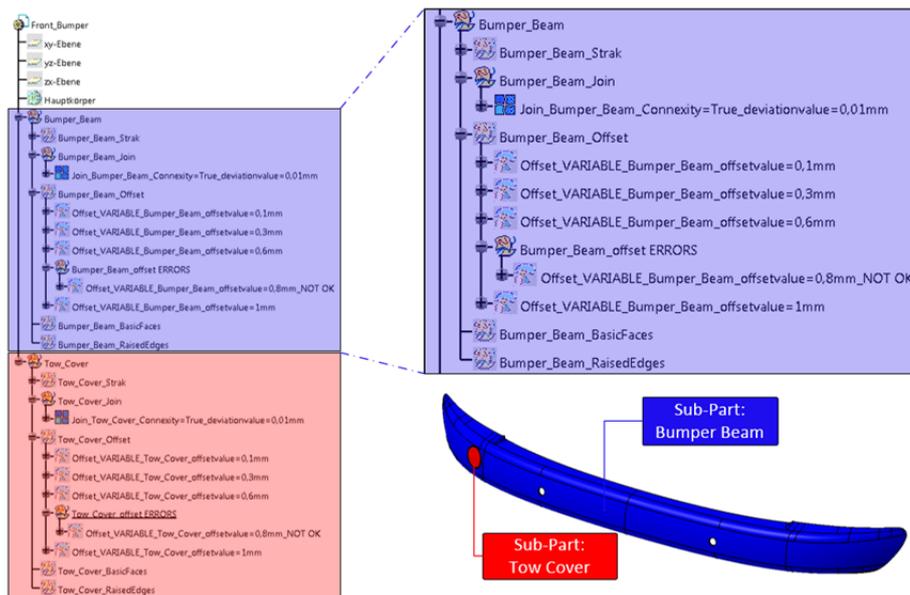


Abbildung 4.8 Interne CATIA V5®-Prüfung am Beispiel eines *Front Bumpers*

Nachdem das geprüfte Bauteil sowie die ermittelten Prüfergebnisse in der Datenbank hinterlegt wurden, wird dieses Bauteil in CATIA V5® geschlossen und das nächste Bauteil aus der konvertierten Struktur herausgesplittet und der Prüfung unterzogen. Wurden schließlich alle Bauteile geprüft und entsprechend abgelegt, wird im nächsten Schritt die Assemblierung der einzelnen Bauteile vorgenommen (Schritt 8 in Abbildung 4.2). Dazu wird für jeden Knoten der zweiten Ebene (Batch-Ebene) der Master-Struktur (z.B. *Front Body*,

Side Body, etc.) ein eigenes CATIA V5®-Produkt erstellt, in welches die zugehörigen, zuvor geprüften, Bauteile automatisch in eine Baugruppe eingebaut werden und nach Abschluss in einer Produkt-Datenbank (PDM-System) abgelegt werden (Schritt 9 in Abbildung 4.2). Die Erstellung bzw. das Ablegen der Baugruppe in einem PDM-System erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit, sowie der besseren Weiterverarbeitbarkeit in den Nachfolgeprozessen. Auf Basis dieser Daten aus dem PDM-System werden seitens der technischen Entwicklung die später darauf aufbauenden Bauteile entwickelt bzw. erzeugt.

Nach Abschluss des kompletten Prüfdurchlaufs, sowie der Ablage der Daten im PDM-System wird dem Anwender eine Tabelle zur Auswertung der Prüfergebnisse zur Verfügung gestellt. In Abbildung 4.9 ist beispielsweise solch eine Tabelle dargestellt. Man erkennt, dass für den *Front Bumper* bzw. den darunterliegenden Sub-Part *Bumper Beam* keine Abweichungen hinsichtlich der Strukturierung bzw. Benennung, dargestellt durch den grünen Haken in der Spalte *Consistency Status*, vorliegen. Ebenso findet man in der Spalte *Conversion Error* solch einen grünen Haken, der symbolisiert, dass für dieses Sub-Part, im Gegensatz zum Sub-Part *Hood*, während der Konvertierung keine fehlerhaften Elemente aufgetreten sind. Die weiteren grünen Haken in den Spalten *Join WOC* (without connectivity) bzw. *Join WC* (with connectivity) geben an, dass die Erstellung eines Flächenverbandes sowohl ohne als auch mit Konnektivität für den *Bumper Beam* problemlos möglich war. Das rote Zeichen in der Spalte *Offset VARIABLE* zeigt hingegen an, dass während der Erstellung der Offsetflächen bei einem bzw. mehreren Offsets ein Fehler aufgetreten ist (vgl. Abbildung 4.8). Die letzten beiden Spalten geben Auskunft über das Prüfergebnis des Q-Checkers®. Der rote Punkt in der Spalte *CATIA QCheck* signalisiert entsprechend der farblichen Kennung der unterschiedlichen Prioritätsstufen des Q-Checkers® (vgl. Tabelle 3.7), dass im untersuchten Sub-Part ein oder mehrere KO-Kriterien verletzt wurden. Im Vergleich dazu treten z.B. bei der Prüfung des *Tow Covers* mit Hilfe des Q-Checkers® lediglich Warnungen (blauer Punkt) auf. In der letzten Spalte *QCheck Protocol* ist der Link zu dem in der Datenbank hinterlegten, detaillierten Prüfbericht des Q-Checkers® angeführt. Ausschnitte eines detaillierten Prüfberichts für einen *Bumper Beam* sind in Anhang d dargestellt. Das orange Dreieck in der Spalte *Join WC* bzw. *Offset VARIABLE* für den Sub-Part *Front Grill* gibt an, dass für diesen Sub-Part keine Prüfung bezüglich dieser beiden Kriterien durchgeführt wurde, weil kein fehlerfreier Flächenverband ohne Konnektivität erstellt werden konnte (vgl. Abbildung 4.7).

	Batch	Part	SubPart	Consistency Status	Conversion Error	Release Status	Join WOC	Join WC	Offset VARIABLE	CATIA QCheck	QCheck Protocol
▶		Front Body		✓							
			Front_Bumper	✓		⊘					
			Bumper_Beam	✓	✓		✓	✓	⊘	●	
			Tow_Cover	✓	✓		✓	✓	⊘	●	
		Front_Fascia		✓		⊘					
			Front_Fascia	✓	✓		✓	✓	⊘	●	
		Front_Grill		✓		⊘					
			Front_Grill	✓	✓		⊘	⚠	⚠	●	
			Grill_Cover	✓	✓		✓	✓	✓	●	
		Hood		✓		⊘					
			Hood	✓	⊘		✓	✓	⊘	●	
		Windscreen		✓		⊘					
			Screen	✓	✓		✓	✓	✓	●	
*											

Abbildung 4.9 Ergebnistabelle eines Prüfdurchlaufs

4.3 Aufbau der entwickelten Software-Applikation

Basierend auf der zuvor beschriebenen wissensbasierten Methodik zur Unterstützung des Freigabeprozesses von Strak-Daten wurde schließlich eine teilautomatisierte Software-Applikation mit gekoppelter Datenbank und CAx-Umgebung entwickelt, wie Abbildung 4.10 zeigt.

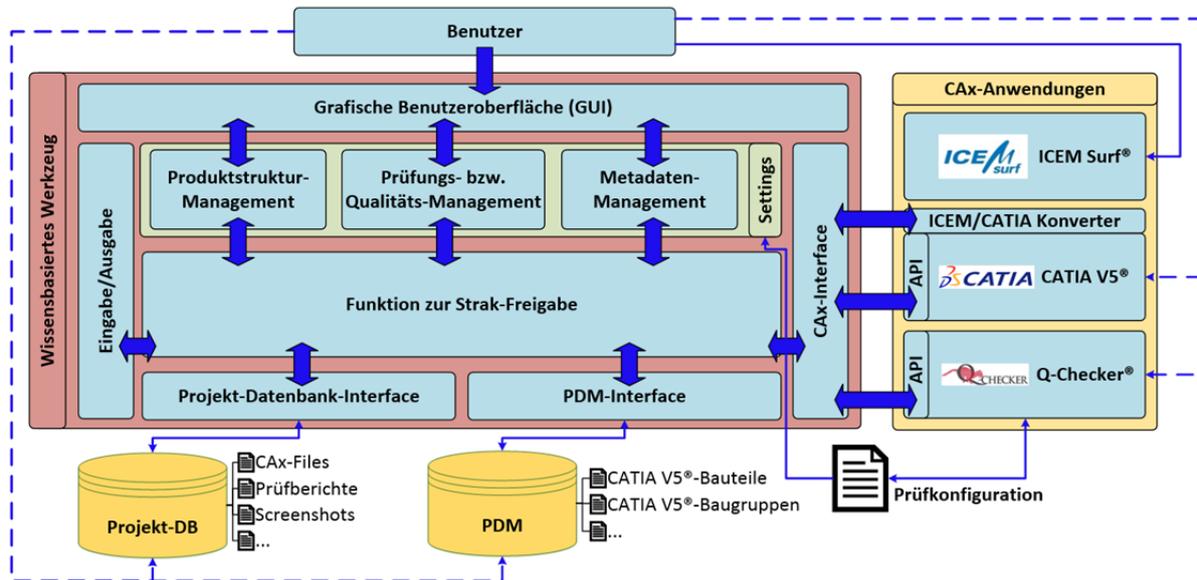


Abbildung 4.10 Schematischer Aufbau der entwickelten Applikation

Ausgehend von der Erstellung eines neuen Projektes über die grafische Benutzeroberfläche des wissensbasierten Werkzeuges durch den Benutzer wird für die gezielte Ablage der Daten gleichzeitig eine projektspezifische relationale Datenbank in Kombination mit einer entsprechenden Ordnerstruktur angelegt. In diese Projektdatenbank werden alle erforderlichen Informationen und Daten zur späteren Freigabe des Fahrzeug-Straks, wie zum Beispiel die Master-Struktur, Metadaten aber auch alle CAx-Dokumente, über den gesamten Freigabeprozess abgelegt. Die auf Basis dieser Master-Struktur in ICEM Surf® manuell erstellten CAID-Daten werden einer ersten manuellen Datenprüfung durch den Benutzer im Autorensystem ICEM Surf® unterzogen. Durch das automatisierte Ausführen der Batch-Funktion *Batch-ICEM* in CATIA V5® erfolgt eine Konvertierung dieser Daten in das Datenformat von CATIA V5®. Zusammen mit einem Konvertierungsprotokoll werden die Daten innerhalb der Projektdatenbank abgelegt. Im nächsten Schritt erfolgt wiederum ausgehend von der hinterlegten Master-Struktur eine Konsistenzprüfung dieser Daten. Hierbei werden die Bezeichnungen bzw. der strukturelle Aufbau der konvertierten CAD-Daten in CATIA V5® mit den Bezeichnungen bzw. dem Aufbau der in der Datenbank hinterlegten Master-Struktur abgeglichen (Produktstruktur-Management in Abbildung 4.10). Die erfolgreiche Prüfung der Datenkonsistenz ist im Weiteren Voraussetzung für die eigentliche Qualitätsprüfung der Daten. Diese Prüfung der qualitativen Eigenschaften der Elemente erfolgt auf Grundlage einer vom Benutzer zuvor erstellten Prüfkonfiguration bzw. durch die Definition der projektabhängigen sowie projektunabhängigen Einstellungen (Settings). Für diese automatisierte Prüfung der Daten werden sowohl CATIA V5® als auch der Q-Checker® über eine Programmierschnittstelle (API) angesprochen und die Daten entsprechend der getroffenen Prüfeinstellungen bzw. Prüfkonfiguration unter Anwendung wissensbasierter Konstruktionsmethoden (KBE) geprüft (Prüfungs- bzw. Qualitäts-

Management in Abbildung 4.10). Ebenso werden in diesem Arbeitsschritt die bei der Erstellung der Master-Struktur in der Projektdatenbank hinterlegten Metadaten in das jeweilige CAD-Dokument eingetragen (Metadaten-Management in Abbildung 4.10). Nach Abschluss der Prüfung wird das erzeugte CAD-Dokument wiederum gemeinsam mit den Prüfergebnissen des Q-Checkers® bzw. der internen CATIA V5®-Funktionen, sowie mit den im Laufe des Prozessdurchlaufs automatisch erstellten Screenshots in der Projektdatenbank abgelegt. Wurde die Qualitätsprüfung für alle Bauteile durchgeführt und wurden diese in der Datenbank abgelegt, kann die Assemblierung der geprüften Bauteile erfolgen und die Baugruppe anschließend mit den entsprechenden Einzelteilen in das PDM-System geladen werden. Nach Abschluss des kompletten Prüfdurchlaufes hat der Benutzer die Möglichkeit, zur genauen Beurteilung und Auswertung der Prüfergebnisse die einzelnen Bauteile nochmals manuell in CATIA V5® zu öffnen und dort einer Analyse zu unterziehen bzw. einen manuellen Aufruf des Q-Checkers® mit anschließender *Feinanalyse* durchzuführen.

4.4 Funktion zur Strak-Freigabe

Der schematische Ablauf der Funktion zur Freigabe von Strakdaten ist in Abbildung 4.11 dargestellt. Ausgehend von der zu Beginn des Prozesses definierten Master-Struktur erfolgt in Schritt 1 in Abbildung 4.11 die Auswahl der freizugebenden bzw. zu prüfenden Bauteile. Hierbei ist es möglich, alle Bauteile eines kompletten Fahrzeugbereiches (Batch) freizugeben, aber auch nur gezielt ein oder mehrere Bauteile für die Freigabe auszuwählen.

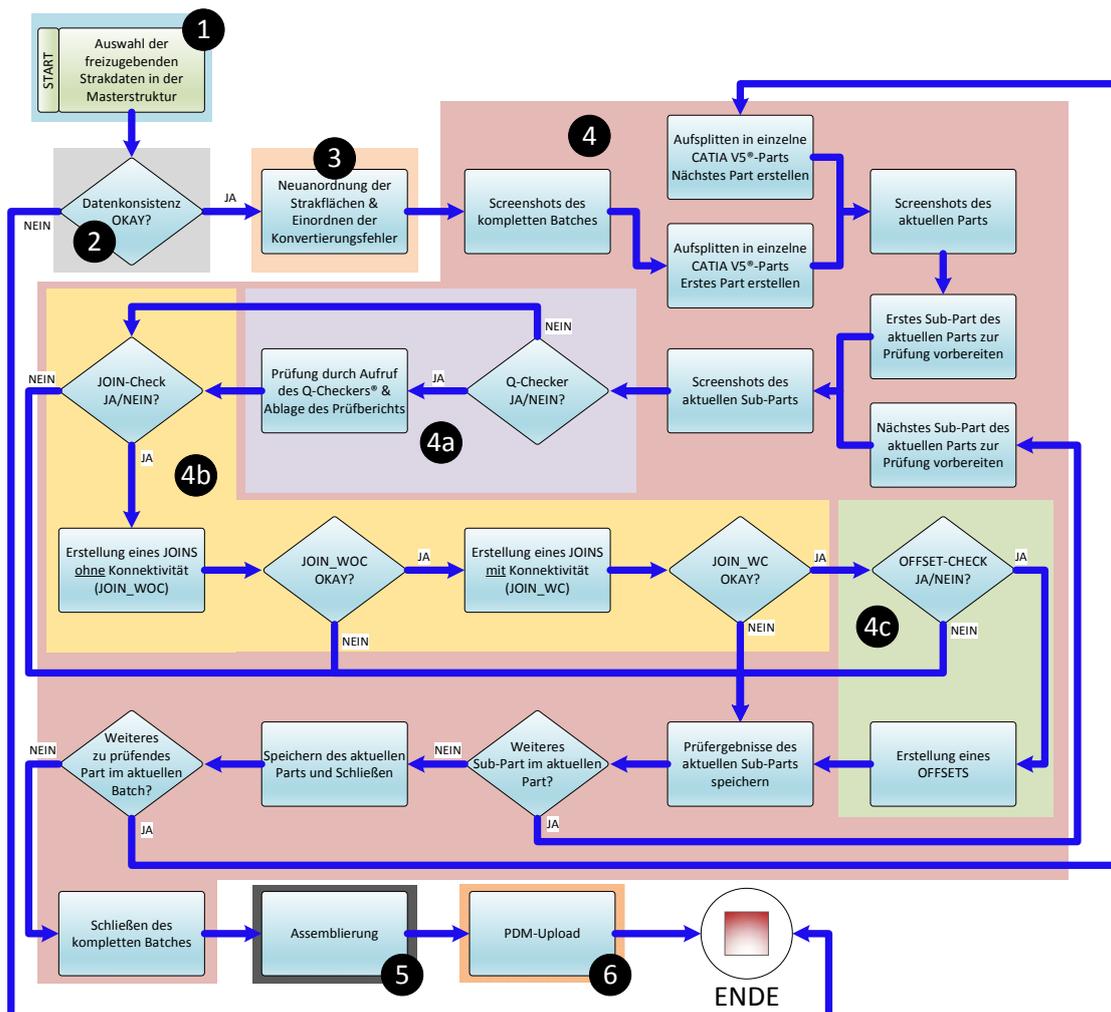


Abbildung 4.11 Ablauf der Funktion zur Freigabe von Strakdaten

Ausgehend von der getroffenen Selektion erfolgt im nächsten Schritt die Konsistenzprüfung der Daten (Schritt 2 in Abbildung 4.11) für die zuvor ausgewählten Bauteile. Für diese Prüfung wird das konvertierte CAD-Dokument (kompletter Batch) in CATIA V5® geöffnet und es werden schrittweise alle zuvor selektierten Bauteile der Master-Struktur durchlaufen und mit den jeweiligen Elementen in CATIA V5® verglichen. Hierbei wird geprüft, ob für alle Elemente der Part-Ebene der Master-Struktur ein entsprechendes GeoSet mit identer Bezeichnung in der ersten Ebene der CATIA V5®-Struktur vorliegt, sowie untersucht, ob die Anzahl der darunterliegenden Sub-Parts im jeweiligen CATIA V5®-Part mit jener in der Master-Struktur übereinstimmt. Im letzten Schritt der Konsistenzprüfung werden die Bezeichnungen der einzelnen Sub-Parts in CATIA V5® mit den in der Master-Struktur hinterlegten Bezeichnungen abgeglichen. Tritt in einer dieser Prüfungen eine Abweichung in der Benennung eines Parts bzw. Sub-Parts auf, oder können diese in CATIA V5® nicht gefunden bzw. zugeordnet werden, wird eine Fehlervariable entsprechend gesetzt und der Freigabeprozess abgebrochen. Der detaillierte Ablauf dieser Konsistenzprüfung ist in Anhang e dargestellt.

Im Falle eines erfolgreichen Abschlusses der Konsistenzprüfung erfolgt im nächsten Arbeitsschritt die Einordnung der Strak- bzw. Fehlerflächen in die entsprechend erstellten GeoSets in CATIA V5® (Punkt 3 in Abbildung 4.11). Hierbei wird unter jedem GeoSet der Sub-Part-Ebene ein weiteres GeoSet mit dem Zusatz „_Strak“ in der Bezeichnung, z.B. *Bumper_Beam_Strak*, eingefügt (rot markiert in Abbildung 4.12), und die geometrischen Elemente werden in dieses verschoben.

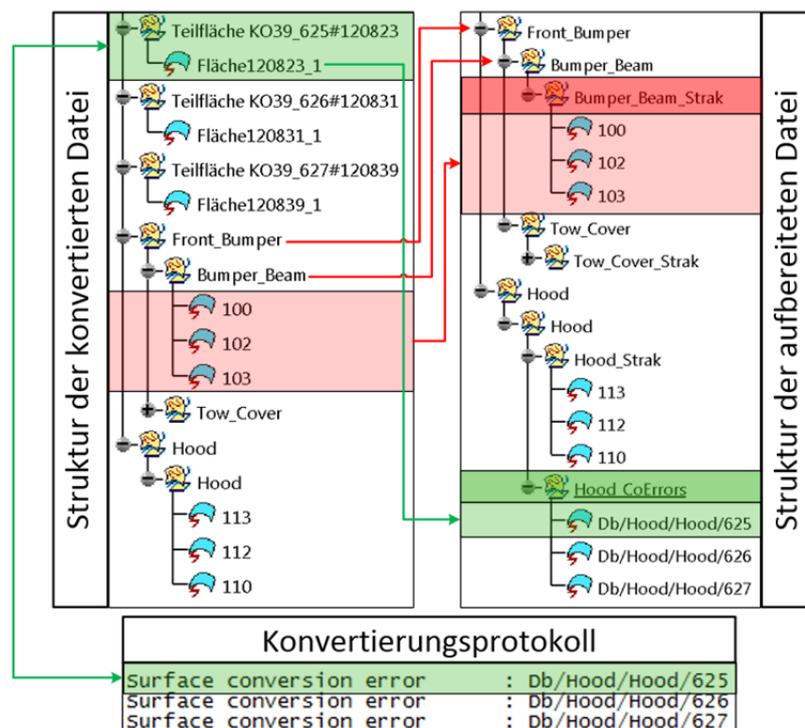


Abbildung 4.12 Einordnung der Strak- und Fehlerflächen in CATIA V5®

Im nächsten Schritt erfolgt die Zuordnung etwaiger, vorhandener Konvertierungsfehler zu den jeweiligen Sub-Parts. Für diese erfolgt ein automatisches Auslesen des bei der Datenkonvertierung erstellten Protokolls, mit einem anschließenden Vergleichen der Fehleranzahlen bzw. der Bezeichnungen der Elemente in CATIA V5® bzw. des

Konvertierungsprotokolls. Wurden Übereinstimmungen in den Bezeichnungen der GeoSets (z.B. Teilfläche KO396_625#230823) mit jenen im Konvertierungsprotokoll (z.B. Db/Hood/Hood/625) gefunden, wird für das betroffene Sub-Part wiederum ein GeoSet mit dem Zusatz „_CoErrors“ in der Bezeichnung, z.B. *Hood_CoErrors*, angelegt. Gleichzeitig erfolgt eine Umbenennung des fehlerhaften Elements in CATIA V5® (z.B. Fläche120823_1) entsprechend der Bezeichnung im Konvertierungsprotokoll (z.B. *Db/Hood/Hood/625*) sowie ein Verschieben des Elements in das zuvor erstellte Fehler-GeoSet (z.B. *Hood_CoErrors*) (grün markiert in Abbildung 4.12). Der detaillierte Ablauf dieser Einordnung der Strak- bzw. Fehlerflächen ist in Anhang f dargestellt.

Nach erfolgreicher Aufbereitung der Daten, sprich der richtigen Ein- bzw. Zuordnung der einzelnen Strak- bzw. Fehlerflächen kann in Schritt 4 in Abbildung 4.11 mit dem eigentlichen Prüfprozess der Bauteile begonnen werden. Wurden zu Beginn des Prozesses in der Master-Struktur des wissensbasierten Werkzeuges alle Bauteile zur Freigabe bzw. Prüfung selektiert, erfolgt im ersten Schritt die Erstellung mehrerer Screenshots des kompletten Batches (z.B. *Front Body*). Für den Fall, dass nur eine bestimmte Anzahl an Bauteilen des Batches freigegeben bzw. geprüft werden soll, wird auf eine Erstellung dieser Screenshots verzichtet, und gleich mit der Aufspaltung des Batches in einzelne Bauteile begonnen. Hierbei wird für jedes GeoSet der ersten Ebene in CATIA V5®, welches zuvor für die Freigabe bzw. Prüfung im Werkzeug ausgewählt wurde, ein eigenes CATIA V5®-Dokument erstellt (blau markiert in Abbildung 4.13). Im Anschluss werden alle geometrischen Elemente des betreffenden Bauteils aus dem Gesamtpart (Batch) in das eben erstellte Bauteil kopiert, eine vordefinierte Sub-Struktur (rot markiert in Abbildung 4.13) erstellt, sowie wiederum mehrere Screenshots des Bauteils erzeugt.

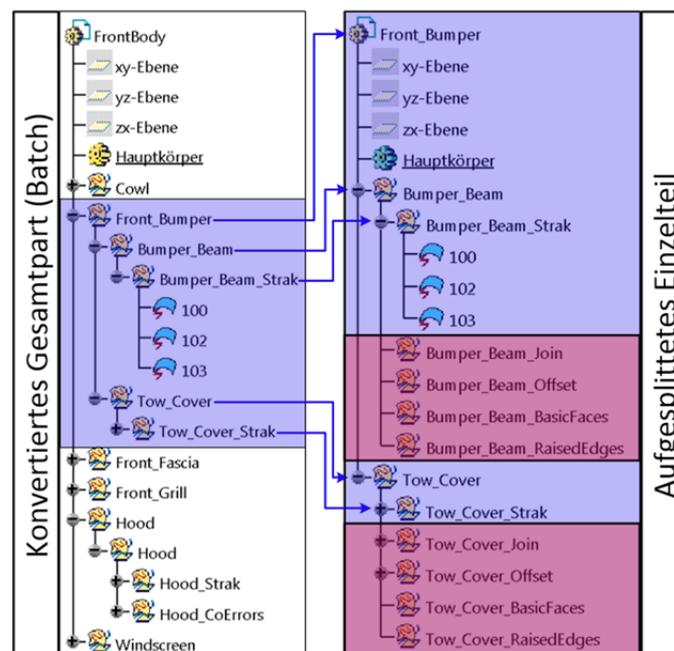


Abbildung 4.13 Aufspaltung in Einzelteile und Erstellung einer Sub-Struktur in CATIA V5®

In diesem Bauteil werden anschließend, abgesehen vom ersten Sub-Part des Bauteils, alle anderen GeoSets des Bauteils, sprich alle weiteren Sub-Parts ausgeblendet und wiederum mehrere Screenshots von diesem einen eingblendeten Sub-Part erstellt. Treten im entsprechenden Sub-Part zusätzlich Konvertierungsfehler auf, werden diese der Reihe nach

durchlaufen und ebenfalls wieder mehrere Screenshots von jedem dieser fehlerhaften Elemente erstellt. Wurden alle erforderlichen Screenshots für das aktive Sub-Part erzeugt, kann mit der eigentlichen Prüfung der geometrischen Eigenschaften dieses Sub-Parts begonnen werden.

Ausgehend von der zu Beginn definierten Prüfkongfiguration werden anschließend die Prüfungen mit Hilfe des Q-Checkers® (Punkt 4a in Abbildung 4.11) bzw. der internen CATIA V5®-Funktionen (Schritte 4b und 4c in Abbildung 4.11) durchgeführt. Wurde in dieser Konfiguration eine Prüfung mit Hilfe des Q-Checkers® ausgewählt, werden abgesehen vom „_Strak“-GeoSet, welches die gestrakten Elemente des Sub-Parts enthält, alle weiteren Unter-GeoSets des Sub-Parts ausgeblendet. Auf Basis dieser angezeigten Elemente erfolgt schließlich die Prüfung des Sub-Parts durch Aufruf des Q-Checkers® (Punkt 4a in Abbildung 4.11). Nach Beendigung dieser Prüfung wird entsprechend des Prüfergebnisses des Q-Checkers® ein Rückgabewert (In Ordnung, Warnung, Fehlerhaft, KO) für die spätere Auswertung (z.B. Anzeige in der Ergebnistabelle) gesetzt, sowie der generierte Prüfbericht des Q-Checkers® in den entsprechenden Ordner der Projektdatenbank abgelegt. Der detaillierte Ablauf der Prüfung mit Hilfe des Q-Checkers® ist in Anhang i dargestellt.

Nach dem vollständigen Durchlauf der Datenprüfung mit Hilfe des Q-Checkers®, erfolgt im nächsten Schritt, sofern in der Prüfkongfiguration entsprechend definiert, die Prüfung der Daten auf die Erstellbarkeit von Flächenverbänden durch Anwendung der internen CATIA V5®-Funktion *Zusammenfügen* (Punkt 4b in Abbildung 4.11). Ausgehend von den Elementen, welche im GeoSet „_Strak“ liegen, wird im ersten Schritt versucht, ein Flächenverband ohne Konnektivität zu erstellen. Hierfür erfolgt eine schrittweise Selektion aller Elemente des betreffenden Eingabe-GeoSets (z.B. *Bumper_Beam_Strak*) mit anschließender Berechnung des Flächenverbandes ohne Konnektivität, welcher anschließend im Ausgabe-GeoSet (z.B. *Bumper_Beam_Join*) abgelegt wird. Je nachdem, ob ein Fehler während der Berechnung aufgetreten ist oder nicht, erfolgt im Anschluss eine entsprechende Benennung des Flächenverbandes, sowie ein Setzen des Rückgabewertes (True oder False). Für den Fall, dass kein Flächenverband ohne Konnektivität erstellt werden konnte (Rückgabewert = False), wird der Freigabeprozess für dieses Sub-Part abgebrochen und für das nächste Sub-Part von vorne begonnen. Konnte jedoch ein Flächenverband ohne Konnektivität erstellt werden (Rückgabewert = True) erfolgt im Anschluss der Versuch einen Flächenverband mit Konnektivität zu erstellen. Hierfür wird nochmals das gleiche Prozedere wie bei der Erstellung ohne Konnektivität durchlaufen, jedoch wurde der Parameter *Konnektivität prüfen* dieses Mal aktiviert, wodurch eine Erstellung dieses Flächenverbandes nur bei gewährleisteter Verbindungsfähigkeit (z.B. nur eine topologische Einheit) möglich ist. Der berechnete Flächenverband wird im Anschluss wieder im Ausgabe-GeoSet abgelegt, dem Prüfergebnis entsprechend benannt, sowie der Rückgabewert (True/False) gesetzt. Der detaillierte Ablauf der Prüfung mit Hilfe der internen CATIA V5®-Funktion *Zusammenfügen* zur Erstellung von Flächenverbänden ist in Anhang j dargestellt.

Konnte ein Flächenverband mit Konnektivität erstellt werden (Rückgabewert = True), kann, sofern in der Prüfkongfiguration gewählt, im Weiteren eine Prüfung der Offsetierfähigkeit dieses Flächenverbandes durchgeführt werden (Punkt 4c in Abbildung 4.11), andernfalls wird der Freigabeprozess für dieses Sub-Part wiederum beendet. Auf Basis des Flächenverbandes mit Konnektivität, im Eingabe-GeoSet (z.B. *Bumper_Beam_Join*), wird im

Anschluss versucht, eine (fixe) bzw. mehrere (variable) Offsetflächen durch Aufruf der CATIA V5®-Funktion *Offset* zu erzeugen. Für die Ablage dieser Offsetfläche(n) steht wiederum ein Ausgabe-GeoSet (z.B. *Bumper_Beam_Offset*) innerhalb der Sub-Struktur zur Verfügung. Konnten eine oder mehrere Offsetflächen nicht berechnet werden, wird innerhalb dieses Ausgabe-GeoSets ein weiteres Unter-GeoSet mit dem Zusatz „_offset_ERRORS“ erzeugt, und die fehlerhaften Elemente in dieses verschoben. Nach Abschluss der Berechnung aller Offsets werden wiederum die Rückgabewerte (True/False) für die spätere Auswertung der Prüfergebnisse gesetzt. Abbildung 4.14 zeigt die finale Struktur eines Bauteils nach einem kompletten Prüfdurchlauf, in der die einzelnen Elemente in den entsprechenden GeoSets der Sub-Struktur abgelegt wurden. Flächenverbände wurden in den blau markierten, Offsets in den grün markierten, und fehlerhafte Offsets in den rot markierten GeoSets abgelegt. Der detaillierte Ablauf der Prüfung mit Hilfe der internen CATIA V5®-Funktion *Offset* zur Erstellung von fixen bzw. variablen Offsetflächen ist in Anhang k bzw. l dargestellt.

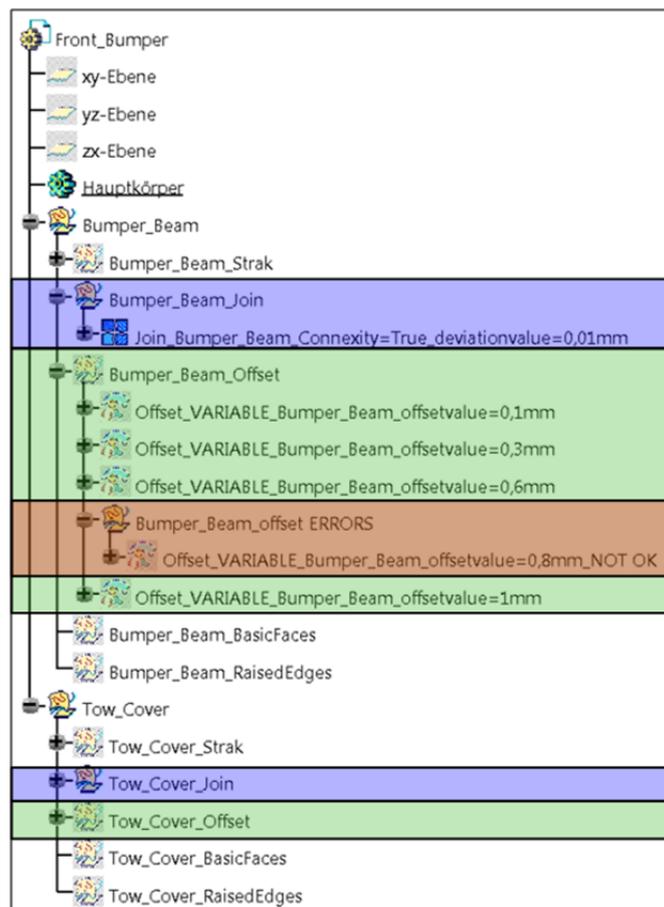


Abbildung 4.14 Beispiel eines CATIA V5®-Parts nach der Freigabe

Nach Abschluss aller Prüfungen für das jeweilige Sub-Part, werden alle Prüfergebnisse für dieses gespeichert, und anschließend wird nach weiteren Sub-Parts im aktuellen Bauteil gesucht. Enthält das aktuelle Bauteil weitere Sub-Parts, beginnt der komplette Prüfprozess für dieses neue Sub-Part, mit Erstellung der Sub-Part-Screenshots von vorne. Besitzt das bearbeitete Bauteil hingegen keine weiteren Sub-Parts, wird dieses Bauteil gespeichert und geschlossen, sowie im Anschluss nach weiteren freizugebenden bzw. zu prüfenden Bauteilen im Gesamtpart (Batch) gesucht. Ist ein weiteres Bauteil vorhanden, wird für dieses wiederum ein neues CATIA V5®-Dokument erstellt und der Prüfdurchlauf mit der Erstellung der Part-Screenshots begonnen. Liegen keine weiteren Bauteile zur Verarbeitung vor, wird

nach dem Speichern und Schließen des letzten verarbeiteten Bauteils auch das Gesamtbauteil (Batch) in CATIA V5® geschlossen. Der detaillierte Ablauf des kompletten Vorgangs zur Aufsplittung bzw. Prüfung der Bauteile ist in Anhang g dargestellt.

Nachdem alle zu Beginn in der Master-Struktur selektierten Bauteile geprüft und freigegeben wurden, erfolgt im nächsten Arbeitsschritt eine Assemblierung dieser Bauteile zu einer Baugruppe in CATIA V5® (Schritt 5 in Abbildung 4.11). Hierbei wird automatisch ein CATIA V5®-Produkt erstellt und alle zuvor geprüften Teile werden in dieses eingebaut. Nach Erstellung dieser Baugruppe erfolgt im letzten Schritt des Freigabeprozesses das Hochladen der einzelnen Bauteile, sowie der zuvor erstellten Baugruppe in ein PDM-System (z.B. Teamcenter®).

5 Exemplarische Anwendung der Methodik

In diesem Kapitel wird exemplarisch die Anwendung der zuvor erarbeiteten Methodik bzw. Software-Applikation am Beispiel eines *Front Bumpers* dargestellt. Beginnend mit einer Ausgangsgeometrie des besagten Bauteils wurde ein erster Prüfdurchlauf durch Anwendung der wissensbasierten Methodik bzw. des Werkzeuges mit anschließender genauer Betrachtung bzw. Auswertung der erhaltenen Prüfergebnisse durchgeführt. Auf Basis dieser Erkenntnisse erfolgte eine Überarbeitung der Geometrie in ICEM Surf®, sowie ein erneuter Prüfdurchlauf dieser geänderten Flächendaten. Nach Abschluss der Prüfung wurden diese Daten bzw. Prüfergebnisse wiederum einer genauen Auswertung unterzogen und die Strak-Elemente in ICEM Surf® ein weiteres Mal entsprechend angepasst. Im Anschluss wurde das erarbeitete Prüfwerkzeug erneut auf die überarbeitete Geometrie angewendet und die Ergebnisse wurden ausgewertet. Im Folgenden wird nun dieser Iterationsprozess von der Ausgangs- bis zur Endgeometrie mit den entsprechenden Auswertungen der Prüfergebnisse sowie den notwendigen Anpassungen der Geometrie erläutert.

5.1 Prüfung und Auswertung der Ausgangsgeometrie

Wie einleitend beschrieben, wurde im ersten Schritt eine Prüfung der Ausgangsgeometrie des *Front Bumpers* mit anschließender Auswertung der Prüfergebnisse durchgeführt.

	Batch	Part	SubPart	Consistency Status	Conversion Error	Release Status	Join WOC	Join WC	Offset FIX	CATIA QCheck	QCheck Protocol
▶	Front Body			⚠							
		Front_Bumper		✓		⊘					
			Front_Bumper	✓	✓		✓	⊘	⚠	●	📄
*											

Abbildung 5.1 Prüfergebnis *Front Bumper*, Ausgangsgeometrie

Die Auswertung der Ergebnistabelle (Abbildung 5.1) des ersten Prüfdurchlaufs zeigt, dass für das untersuchte Bauteil in CATIA V5® keine Fehler in der Datenkonsistenz (richtige Benennung bzw. richtige Datenstrukturierung), sowie keine Konvertierungsfehler aufgetreten sind. Das orange Dreieck im Bereich der Konsistenzprüfung für den kompletten *Front Body* sagt aus, dass im vorliegenden Fall nicht der komplette Batch, sondern in diesem Fall nur ein Part (*Front Bumper*) dieses Batches freigegeben wurde. Weiters ist ersichtlich, dass eine Erstellung eines Flächenverbandes ohne Konnektivität problemlos möglich war, während kein Flächenverband mit Konnektivität erstellt werden konnte, und deshalb auch keine Prüfung der Offsettierfähigkeit der Geometrie durchgeführt wurde. Die Betrachtung der Q-Checker®-Ergebnisse zeigt zudem, dass im Laufe der Prüfung mindestens eines oder mehrere KO-Kriterien verletzt wurden.

Bei der genaueren Betrachtung in CATIA V5® konnte festgestellt werden, dass für das Bauteil nur ein Sub-Part (*Front Bumper*) in der Master-Struktur erstellt wurde, jedoch innerhalb der Geometrie zwei verbindungsunfähige Domänen, sprich zwei getrennte topologische Einheiten, vorliegen (Abbildung 5.2). Das bedeutet, dass zwischen diesen beiden topologischen Einheiten ein Abstand auftritt, der über dem zulässigen Wert für eine Zusammenführung (hier: 0,01mm, für B-CLASS A) liegt, und diese somit als eigenständige *Moleküle* in ICEM Surf® bzw. Sub-Parts in CATIA V5® abgelegt hätten werden müssen. Aufgrund dieser Tatsache, dass eine erfolgreiche Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität eines der wichtigsten Qualitätsanforderungen an Strakdaten ist, und somit

unbedingt einer Überarbeitung der Geometrie in ICEM Surf® bedarf, sowie ein verfälschtes Ergebnis des Q-Checkers® ergeben könnte, wurde in diesem Schritt auf eine detaillierte Analyse des Q-Checker®-Prüfberichts verzichtet und dieser nur kurz betrachtet. Bei dieser Betrachtung konnte erkannt werden, dass während der Prüfung vier Fehler- bzw. vier KO-Kriterien, wie z.B. Minielemente in der Berandungskurve bzw. G0-Stetigkeit im Flächenverband, verletzt wurden. Das detaillierte Prüfergebnis des Q-Checkers® bzw. der internen Funktionen aus CATIA V5® ist für die Ausgangsgeometrie in der ersten Spalte in Abbildung 5.11 dargestellt.

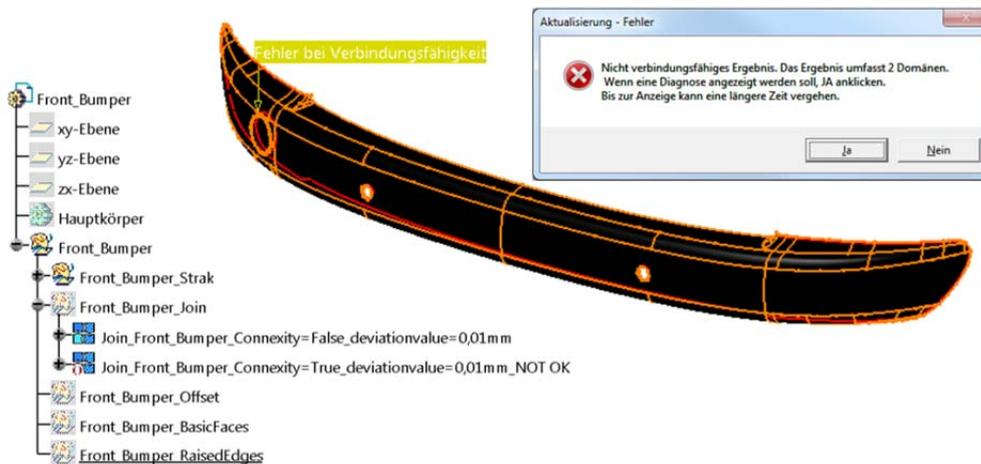


Abbildung 5.2 Analyse der Ausgangsgeometrie in CATIA V5®

5.2 Erste Iterationsschleife zur Anpassung der Geometrie

Ausgehend von den Ergebnissen der Prüfung der Ausgangsgeometrie erfolgte eine Überarbeitung der Daten in ICEM Surf®, in welcher der *Front Bumper* in zwei getrennte *Moleküle* (*Bumper Beam* und *Tow Cover*) aufgesplittet wurde. Nach dieser Anpassung der Struktur erfolgte eine erneute Konvertierung sowie Prüfung der Daten durch Anwendung des entwickelten Werkzeuges.

	Batch	Part	SubPart	Consistency Status	Conversion Error	Release Status	Join WOC	Join WC	Offset FIX	CATIA QCheck	QCheck Protocol
▶	Front Body			⚠		🚫					
		Front_Bumper		✓		🚫					
			Bumper_Beam	✓	✓		✓	✓	✓	🔴	📄
			Tow_Cover	✓	✓		✓	✓	✓	🔵	📄
*											

Abbildung 5.3 Prüfergebnis *Front Bumper*, 1. Iterationsschleife

Die erneute Betrachtung der Ergebnisse der durchgeführten Prüfung (Abbildung 5.3) lässt erkennen, dass wiederum keine Konsistenzprobleme bzw. Fehlerflächen bei der Konvertierung aufgetreten sind. Weiters zeigt sich, dass durch die Aufteilung der Geometrie in zwei getrennte Sub-Parts sowohl für den *Bumper Beam* als auch das *Tow Cover* ein Flächenverband ohne bzw. auch mit Konnektivität erstellt werden konnte. Ebenso war die Erstellung einer fixen Offsetfläche, mit einem Offsetwert von 0,5mm problemlos möglich. Die Prüfung der Sub-Parts durch Anwendung des Q-Checkers® ergibt, dass im *Bumper Beam* KO-Kriterien verletzt wurden, während es im *Tow Cover* nur zu Warnungen kommt. Das detaillierte Prüfergebnis ist wiederum in Abbildung 5.11 (mittlere Spalte) dargestellt.

Im nächsten Schritt wurde das untersuchte Bauteil wiederum in CATIA V5® manuell geöffnet (Abbildung 5.4) und im Modellbaum konnten die entsprechenden Sub-Parts mit den erfolgreich erstellten Flächenverbände und Offsetflächen erkannt bzw. betrachtet werden.

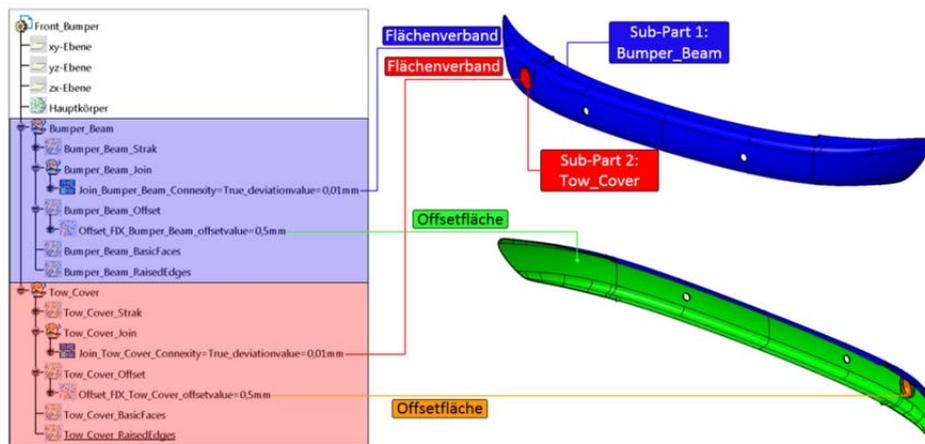


Abbildung 5.4 Analyse der Geometrie der ersten Iterationsschleife in CATIA V5®

Somit konnte im Weiteren mit der Auswertung des Q-Checker®-Prüfberichts begonnen werden. Zur genauen Auswertung des Prüfergebnisses des Q-Checkers® empfiehlt sich neben der Betrachtung des, bei der Prüfung erzeugten und in der Datenbank hinterlegten, Prüfberichts ein erneuter manueller Aufruf des Q-Checkers® in CATIA V5® mit nochmaliger Prüfung des Bauteils durch Auswahl der entsprechenden Prüfumgebung bzw. des Prüfprofils. Da die Prüfung für jedes Sub-Part einzeln zu erfolgen hat, bzw. bei der Erstellung der Q-Checker®-Prüfumgebung angegeben wurde, dass nur im Programmfenster sichtbare Elemente einer Prüfung unterzogen werden, mussten vor dem Start der Prüfung des *Bumper Beams* alle anderen Sub-Parts des Bauteils ausgeblendet werden. Ebenfalls ist ausschließlich die Prüfung der einzelnen Strakflächen an sich von Interesse, bzw. erfolgt beim automatisierten Durchlauf der Aufruf des Q-Checkers® ebenso vor der Prüfung mit Hilfe der CATIA V5®-internen Funktionen, weshalb die für das Sub-Part erstellten Flächenverbände bzw. Offsetflächen ebenfalls ausgeblendet werden müssen. In Abbildung 5.5 sind das entsprechend vorbereitete CATIA V5®-Dokument, sowie die Maske des manuellen Q-Checkers®-Aufrufs dargestellt.

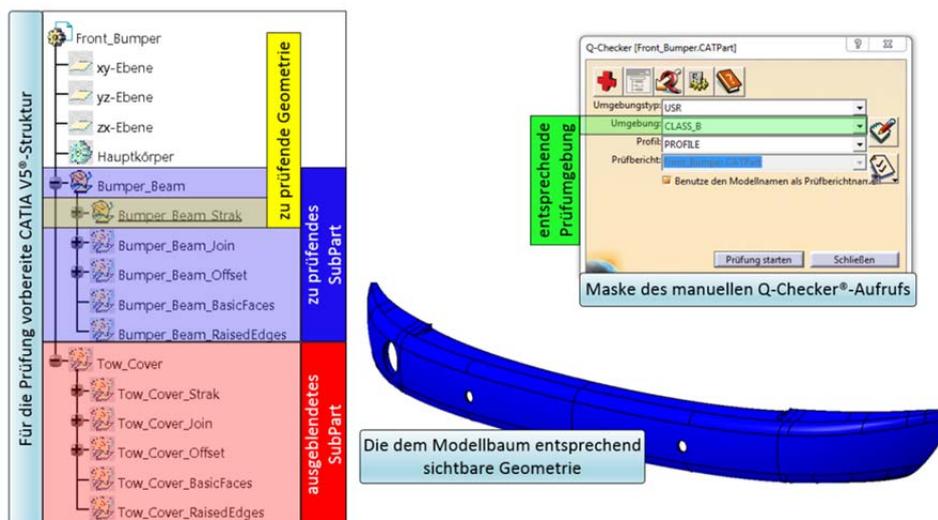


Abbildung 5.5 Vorbereitungen und manueller Aufruf des Q-Checkers® in CATIA V5®

Diese erneute manuelle Prüfung mit Hilfe des Q-Checkers® bietet den großen Vorteil, dass neben dem im automatisierten Prozess abgelegten Prüfbericht im HTML-Format, zusätzlich ein interner Prüfbericht des Q-Checkers® zur Verfügung steht. Mit diesem internen Prüfbericht bieten sich dem Anwender bessere Möglichkeiten (z.B. Feinanalyse), das Bauteil nach der Prüfung zu analysieren. Entsprechend dem Grad der Schwere (Warnung-, Fehler-, KO-Kriterium) werden die Verletzungen der Kriterien auch im internen Prüfbericht in der jeweiligen farblichen Kennung angezeigt. Die direkte Kopplung des Q-Checkers® mit CATIA V5® erlaubt durch Anwendung der *Feinanalyse* eine genaue Betrachtung des Fehlers durch die Anzeige der Fehlerstelle am Bauteil in CATIA V5® (Abbildung 5.6). Diese Möglichkeit zur exakten Feststellung der betreffenden Fehlerstelle und gleichzeitiger Identifizierung der fehlerhaften Elemente erleichtert die folgende Datenaufbereitung wesentlich. Durch diese Analyse konnten die Lageunstetigkeiten im Flächenverband (sowohl eine Lücke, als auch eine Überlappung, vgl. Abbildung 3.17 in Kapitel 3.2.2) relativ rasch entdeckt und in weiterer Folge in ICEM Surf® behoben werden.

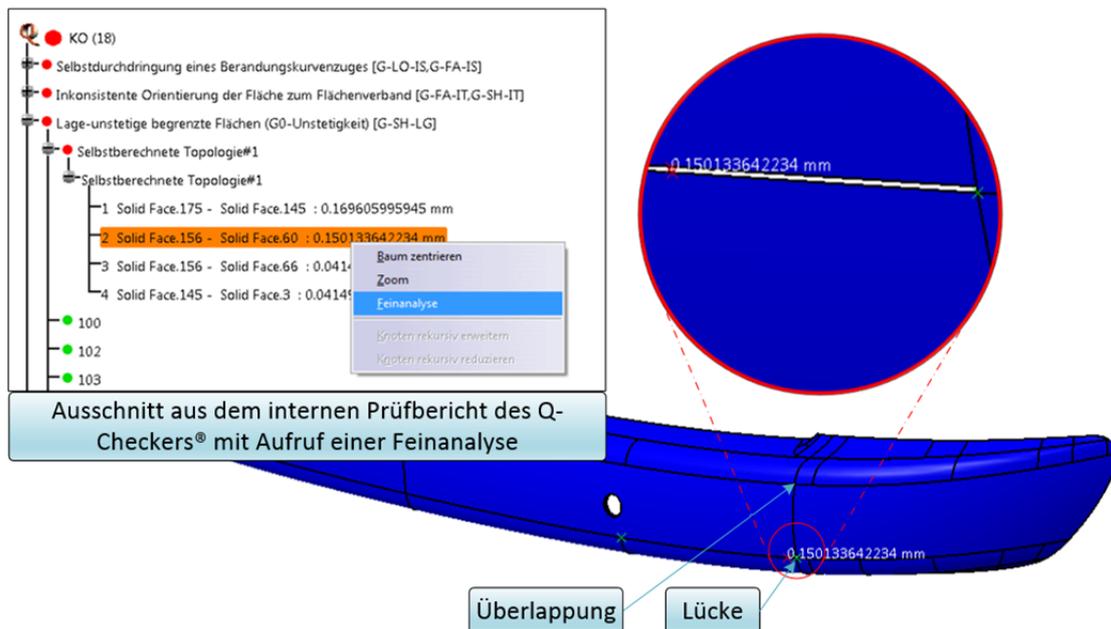


Abbildung 5.6 Beispiel einer Feinanalyse mit Hilfe des internen Prüfberichts im Q-Checker®

Im Weiteren konnten durch die *Feinanalyse* beispielsweise noch eine überbelegte topologische Kante im Bereich der Überlappung der zuvor erkannten G0-Unstetigkeit identifiziert werden, sowie eine unterschiedliche Orientierung der Flächennormalen (Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband) rechts und links der Symmetrieebene festgestellt werden. Ebenso wurden noch Kriterien wie die Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges (KO-Kriterium) verletzt, bzw. auch schmale begrenzte Flächen (Fehler-Kriterium) in der untersuchten Geometrie entdeckt.

5.3 Zweite Iterationsschleife zur Anpassung der Geometrie

Auf Basis der Erkenntnisse der ersten Iterationsschleife wurde eine erneute Überarbeitung der Geometrie in ICEM Surf® durchgeführt. Im Zuge dieser Anpassung wurden z.B. die Lücken bzw. Überlappungen im Flächenverband entfernt, sowie die Flächennormalen aller begrenzten Flächen des Bauteils gleich ausgerichtet. Abbildung 5.7 zeigt die Orientierung

der Flächennormalen vor bzw. nach der Ausrichtung der überarbeiteten Geometrie in ICEM Surf®.

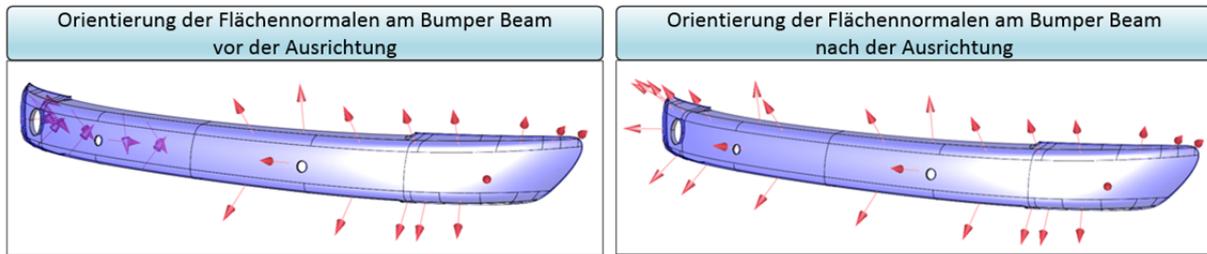


Abbildung 5.7 Orientierung der Flächennormalen vor (links) und nach (rechts) der Ausrichtung in ICEM Surf®

Neben den bereits erwähnten Anpassungen (Beheben der G0-Unstetigkeit, Ausrichten der Flächennormalen) wurden in dieser Iterationsschleife auch einzelne Geometrielemente angepasst (Abbildung 5.9, rechts), durch deren geometrische Form gleich mehrere Kriterien verletzt wurden (Abbildung 5.9, links bzw. mittig). So gab das Prüfergebnis der ersten Iterationsschleife neben mehreren Flächen mit Selbstdurchdringungen in Berandungskurvenzügen auch Fehler für offene oder überlappende Flächenverbände oder schmale begrenzte Flächen aus. Die Ermittlung der genauen Positionen dieser Kriterienverletzungen konnte wiederum durch die Anwendung einer *Feinanalyse* des Q-Checkers® ermittelt (Abbildung 5.8) und die betroffenen Elemente anschließend entsprechend angepasst werden.

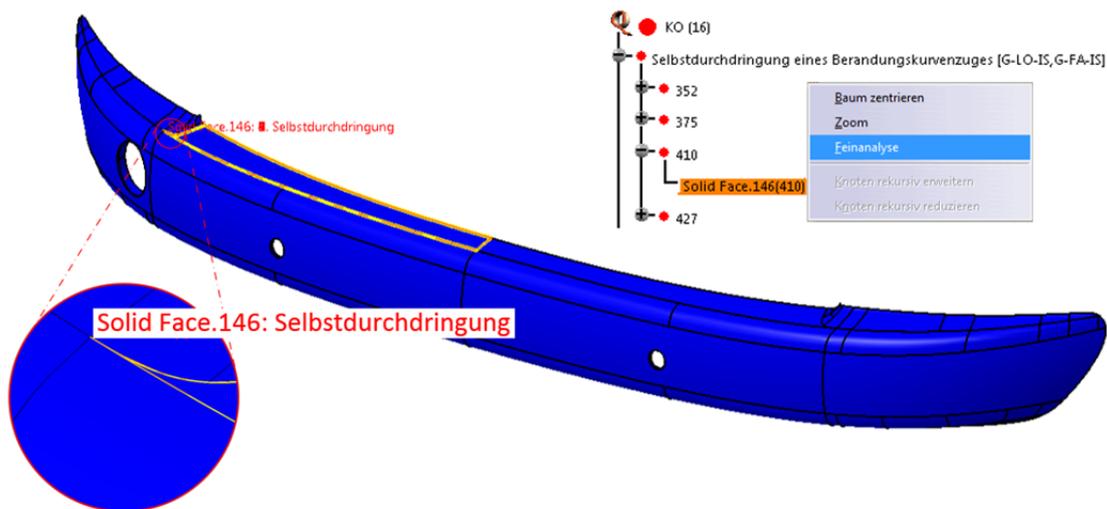


Abbildung 5.8 Beispiel einer Feinanalyse mit Hilfe des internen Prüfberichts im Q-Checker®

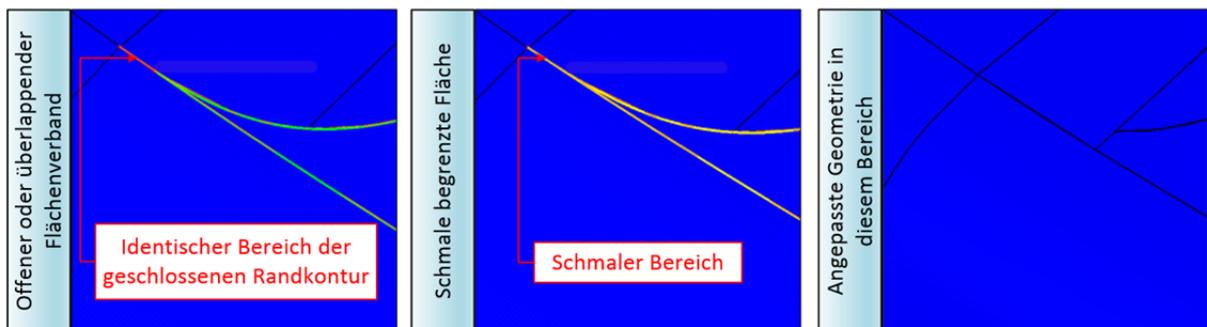


Abbildung 5.9 Verletzung von mehreren Kriterien in einem Bereich der Geometrie

Nachdem die Anpassungen der Geometrie in ICEM Surf® abgeschlossen waren, konnte eine erneute Konvertierung sowie Prüfung der Daten in CATIA V5® durchgeführt werden. Das entsprechende Prüfergebnis ist in Abbildung 5.10 in tabellarischer Form dargestellt

	Batch	Part	SubPart	Consistency Status	Conversion Error	Release Status	Join WOC	Join WC	Offset FIX	CATIA QCheck	QCheck Protocol
▶		Front_Body		⚠							
			Front_Bumper	✓		⊘					
			Bumper_Beam	✓	✓		✓	✓	✓	●	📄
			Tow_Cover	✓	✓		✓	✓	✓	●	📄
*											

Abbildung 5.10 Prüfergebnis Front Bumper, 2. Iterationsschleife

Weder das Ergebnis der Konsistenzprüfung, noch die Ergebnissen der CATIA V5®-internen Prüfungen weisen Veränderungen zur ersten Iterationsschleife auf. Ebenso sind auch in diesem Durchlauf während der Konvertierung keine fehlerhaften Elemente im Bauteil aufgetreten. Jedoch werden in diesem Durchlauf, im Gegensatz zur vorherigen Prüfung, für den *Bumper Beam* keine KO-Kriterien des Q-Checkers® verletzt, sondern lediglich Verletzungen von Fehler-Kriterien ausgewiesen. Am zweiten Sub-Part (*Tow Cover*) des Bauteils wurden keine Veränderungen vorgenommen, folglich treten analog zur ersten Iterationsschleife nur Warnungen auf. Die detaillierten Ergebnisse der Prüfung durch Anwendung des Q-Checkers® bzw. der internen CATIA V5®-Prüfungen sind wiederum gemeinsam mit den Ergebnissen der beiden vorangegangenen Prüfdurchläufe in Abbildung 5.11 (dritte Spalte) dargestellt.

5.4 Gegenüberstellung der Prüfergebnisse der einzelnen Prüfdurchläufe

Die folgende Abbildung 5.11 zeigt in tabellarischer Form die detaillierten Prüfergebnisse des kompletten *Front Bumpers* (Ausgangsgeometrie) bzw. des *Bumper Beams* (erste und zweite Iterationsschleife) der einzelnen Q-Checker®- bzw. internen CATIA V5®-Prüfungen für die drei zuvor beschriebenen Geometrien. Während im ersten Prüfdurchlauf (Ausgangsgeometrie) für das betreffende Bauteil noch keine erfolgreiche Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität und demzufolge auch keine Prüfung der Offsettbarkeit möglich war, konnte durch die Analyse und Überarbeitung der Daten eine merkliche Verbesserung der qualitativen Eigenschaften nach dem zweiten Prüfdurchlauf (1. Iterationsschleife) festgestellt werden. Durch die Unterteilung des *Front Bumpers* in zwei getrennte Sub-Parts (*Bumper Beam*, *Tow Cover*) zwischen den ersten beiden Prüfdurchläufen, konnte die Erstellung von Flächenverbänden sowohl mit als auch ohne Konnektivität bzw. jene einer Offsetfläche in CATIA V5® ermöglicht werden. Für die Q-Checker®-spezifische Prüfung ergab die Aufspaltung keine wesentlichen Veränderungen im Prüfergebnis (vgl. Abbildung 5.11; Spalte Ausgangsgeometrie vs. 1. Iterationsschleife). Durch die erneute Auswertung des Prüfergebnisses der ersten Iterationsschleife und der anschließenden Anpassung der Geometrie in ICEM Surf® konnte nochmals eine Verbesserung im Prüfergebnis zwischen erster und zweiter Iterationsschleife erreicht werden (vgl. Abbildung 5.11; Spalte 1. Iterationsschleife vs. 2. Iterationsschleife). So zeigt sich, dass durch das Schließen der Lücken bzw. Entfernen der Überlappungen aber auch durch das Anpassen einzelner begrenzter Flächen in bestimmten Geometriebereichen alle schwerwiegenden Fehler (Verletzungen von KO-Kriterien) im Bauteil beseitigt werden konnten. Ebenfalls konnte dadurch die Anzahl der Verletzungen von Fehler- bzw. Warnkriterien reduziert werden.

Prüfung mittels Q-Checker®:	Ausgangsgeometrie		1. Iterationschleife		2. Iterationschleife	
	Fehlerpriorität	Anzahl Fehler	Fehlerpriorität	Anzahl Fehler	Fehlerpriorität	Anzahl Fehler
Berechnung von Flächenverbänden [G-SH-xx]	Fehler	0	Fehler	0	Fehler	0
Geschlossene Berandungskurve [G-ED-CL]	Fehler	0	Fehler	0	Fehler	0
Geschlossene begrenzte Fläche [G-FA-CL]	Fehler	0	Fehler	0	Fehler	0
Hohe Segmentanzahl in Berandungskurve [G-ED-FG]	Warnung	0	Warnung	0	Warnung	0
Hohe Segmentanzahl in Fläche [G-SU-FG]	Warnung	0	Warnung	0	Warnung	0
Hoher Polynomgrad einer Fläche [G-SU-HD]	Warnung	0	Warnung	0	Warnung	0
Identische Flächen-Features (Shells) [G-SO-EM]	KO	0	KO	0	KO	0
Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband [G-FA-IT,G-SH-IT]	KO	1	KO	1	KO	0
Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband [G-SH-IT]	KO	0	KO	0	KO	0
Inkonsistente Orientierung von Berandungskurve in Berandungskurvenzug [G-LO-IT]	Warnung	27	Warnung	27	Warnung	25
Kleiner Krümmungsradius in Fläche [G-SU-CR]	KO	0	KO	0	KO	0
Krümmungs-unstetige begrenzte Flächen (G2-Unstetigkeit) [G-SH-NS]	Warnung	2	Warnung	1	Warnung	1
Lage-unstetige Berandungskurven (G0-Unstetigkeit) [G-LO-LG]	Fehler	0	Fehler	0	Fehler	0
Lage-unstetige begrenzte Flächen (G0-Unstetigkeit) [G-SH-LG]	KO	1	KO	1	KO	0
Leere Domains	Warnung	0	Warnung	0	Warnung	0
Minielement Berandungskurve [G-ED-TI]	Fehler	2	Fehler	2	Fehler	2
Minielement Berandungskurvensegment [G-ED-TI]	Warnung	4	Warnung	4	Warnung	4
Minielement begrenzte Fläche [G-FA-TI]	Fehler	0	Fehler	0	Fehler	0
Multi-Domain Fläche (Shell) [G-SO-MU]	Fehler	0	Fehler	0	Fehler	0
Offener oder überlappender Flächenverband [G-SH-FR]	Fehler	4	Fehler	4	Fehler	0
Relativ schmale begrenzte Fläche	Fehler	0	Fehler	0	Fehler	0
Scharfe Kante im Flächenverband [G-SH-SA]	Fehler	1	Fehler	1	Fehler	1
Schmale begrenzte Fläche [G-FA-NA,G-FA-RN]	Fehler	4	Fehler	4	Fehler	0
Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges [G-LO-IS,G-FA-IS]	KO	4	KO	4	KO	0
Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes [G-SH-IS,G-SO-IS]	KO	0	KO	0	KO	0
Spitzer Winkel zwischen Berandungskurven [G-LO-SA]	Warnung	4	Warnung	4	Warnung	0
Tangenten-unstetige begrenzte Flächen (G1-Unstetigkeit) [G-SH-NT]	KO	0	KO	0	KO	0
Tangentenstetige Randkurve beim Flächenverband	Warnung	4	Warnung	2	Warnung	2
Treppenkante in Randkurve beim Flächenverband	Warnung	0	Warnung	0	Warnung	0
Unbelegte Flächensegment-Reihen [G-SU-UN]	Warnung	0	Warnung	0	Warnung	0
Welligkeit von Flächen [G-SU-WW]	Warnung	12	Warnung	12	Warnung	12
Überbelegte topologische Kante [G-SH-NM]	KO	1	KO	1	KO	0
Überbelegter Eckpunkt (Vertex) [G-SH-OU]	Warnung	1	Warnung	1	Warnung	1
Prüfung mit internen CATIA V5®-Funktionen:						
Erstellung eines Flächenverbandes ohne Konnektivität	KO	0	KO	0	KO	0
Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität	KO	1	KO	0	KO	0
Erstellung einer fixen Offsetfläche mit 0,5mm	KO	not checked	KO	0	KO	0

Abbildung 5.11 Überblick über die Prüfergebnisse der einzelnen Prüfdurchläufe

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Ausgehend vom derzeitigen Prozess zur Freigabe von Strakdaten, sowie unter Berücksichtigung der Anforderungen hinsichtlich strukturellem Aufbau, Qualität und Meta-Informationen, konnte der Freigabeprozess für Strakdaten in der Automobilentwicklung durch Anwendung der erarbeiteten wissensbasierten Methodik sowohl effektiver als auch effizienter gestaltet werden. Durch die Umsetzung der Methodik in eine teilautomatisierte Software-Applikation konnte eine wesentliche Zeitersparnis im Freigabeprozess, sowie eine einheitliche Strukturierung, die gezielte, umfassende Prüfung und geordnete, nachvollziehbare Ablage der CAD-Dokumente und Prüfergebnisse realisiert werden.

Vergleicht man den benötigten Zeitaufwand des heutigen Prozesses, mit jenem der wissensbasierten Methodik, konnte dieser durch die Anwendung der entwickelten Software-Applikation um ein Vielfaches reduziert werden. Beginnend mit der manuellen Erstellung der Struktur bzw. der geometrischen Elemente und Prüfung der Daten in ICEM Surf®, über die Konvertierung der Daten nach CATIA V5® mit anschließender manueller Aufsplittung in einzelne Dokumente und nachfolgender Prüfung dieser separierten Bauteile, stellt die derzeitige Vorgehensweise bei der Freigabe von Strakdaten doch einen großen zeitlichen Aufwand für den Straker dar. Vor allem die enorme Anzahl (allein über 11.000 Flächenelemente im *Front Body*) an verschiedenen geometrischen Elementen innerhalb der einzelnen Fahrzeugbereiche stellt den Straker hierbei vor große Herausforderungen. Durch die Anwendung der entwickelten Software-Applikation kann ein Großteil dieser Arbeitsschritte (Erstellung der Struktur, Ein- und Zuordnung der Strak- bzw. Fehlerflächen, Zerlegen in Einzelteile, Prüfung und Ablage der Daten und Prüfberichte etc.) automatisiert ausgeführt werden, sowie durch Anwendung des Q-Checkers® bzw. der internen CATIA V5®-Funktionen *Zusammenfügen* und *Offsets* ein wesentlich größerer Prüfumfang im Vergleich zum derzeitigen Prozess bewältigt werden. Die automatisierte Erstellung von Flächenverbänden und Offsets in CATIA V5® bzw. die Prüfung der Bauteile mit Hilfe des Q-Checkers® durch Aufruf der im Laufe dieser Arbeit für die verschiedenen Reifegrade, erarbeiteten Prüfprofile ermöglicht somit einen hohen Zeitgewinn und stellt eine wesentliche Arbeitserleichterung für den Straker dar.

Neben diesem hohen Zeitgewinn, in dem der Straker nun seinen eigentlichen kreativen Aufgaben (z.B. Erstellung des Straks eines neuen Fahrzeugmodells) nachgehen kann, können durch die teilautomatisierte Ausführung der Prüfung bzw. Freigabe auch eine Vielzahl weiterer Fehlerquellen ausgeschlossen werden. So werden bei der Durchführung der Prüfung bzw. Freigabe der Daten mit Hilfe der Software-Applikation bereits bei der Erstellung der Master-Struktur die später erforderlichen Meta-Informationen, z.B. das Oberflächenmaterial für die Visualisierung in der Projektdatenbank hinterlegt. Dies bietet den Vorteil, dass im Gegensatz zum derzeitigen Prozess nicht bei jedem Prozessdurchlauf alle Metadaten erneut manuell eingegeben werden müssen, sondern diese bei der Aufsplittung in Einzelteile automatisch aus der Datenbank ausgelesen und in das CAD-Dokument eingetragen werden. Ebenso müssen im derzeitigen Prozess der strukturelle Aufbau der Daten, die Benennung der Elemente, sowie die Prüfung und spätere Ablage der CAx-Dokumente bzw. Prüfergebnisse der verschiedenen Bauteile manuell durchgeführt werden, wobei die Art und Weise rein im Ermessen des Strakers liegt. Im Gegensatz dazu wird in der entwickelten Methodik wiederum ausgehend von der in der Projektdatenbank hinterlegten

Master-Struktur eine einheitliche, durchgehend konsistente Strukturierung sowie Benennung der Daten erreicht. Die spätere Ablage der einzelnen CAD-Dokumente mit den entsprechenden Prüfberichten in einer Projektdatenbank ermöglicht, dass für die Nachfolgeprozesse (technische Konstruktion, Simulation, etc.) sauber strukturierte Daten mit nachvollziehbaren Prüfungsergebnissen bereitgestellt werden können. Im Weiteren können bereits bei der Erstellung der eigentlichen Strakflächen in ICEM Surf® z.B. Basisflächen für eine mögliche, spätere CFD-Simulation erstellt und innerhalb der Master-Struktur abgelegt werden, womit eine notwendige Aufbereitung der Daten und ein damit verbundener hoher Zeitaufwand in Nachfolgeprozessen vermieden werden kann.

Die Möglichkeit, zu Beginn des Prozesses, über die Master-Struktur eine gezielte Auswahl der freizugebenden bzw. zu prüfenden Bauteile zu treffen, bietet dem Anwender zudem zusätzlich die Option, seine gestrakten Daten bereits vor dem eigentlichen Freigabeprozess einer Prüfung der qualitativen Eigenschaften zu unterziehen, und gegebenenfalls bereits hier entsprechend der Prüfergebnisse anzupassen um spätere Iterationsschleifen zu vermeiden.

Zur optischen Beurteilung der Strakflächen, z.B. des Verlaufs der Reflexionslinien, ist es jedoch weiterhin unbedingt notwendig, die gestrakten Elemente vor deren Konvertierung ins Datenformat von CATIA V5® einer manuellen Prüfung in ICEM Surf® zu unterziehen. Diesbezüglich bieten im Gegensatz zu ICEM Surf®, weder der Q-Checker® noch CATIA V5® zufriedenstellende Prüfoptionen an, und machen somit diese, aufgrund der fehlenden API in ICEM Surf®, manuelle Prüfung der Daten unerlässlich. So ist es zwar möglich, mit Hilfe des Q-Checkers® die Krümmungsstetigkeit an Flächenübergängen zu analysieren, jedoch können damit keine detaillierten Aussagen über die genauen, optischen Eindrücke der betreffenden Oberflächen getroffen werden.

Diese fehlende API in ICEM Surf® bzw. generell in CAID-Systemen zeigt das Potential, welches noch im Freigabeprozess von Strakdaten liegt. Ein mögliches Ansprechen von ICEM Surf® über eine Programmierschnittstelle würde einen vollautomatisierten Freigabe- bzw. Prüfprozess der Daten erlauben und somit eine automatische Prüfung der Daten sowohl im Autorensystem ICEM Surf® als auch im Zielsystem CATIA V5® ermöglichen.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde auf Grundlage allgemeiner und spezieller Anforderungen hinsichtlich Qualität, Strukturierung und Meta-Informationen, sowie dem Freigabeprozess nach heutigem Stand der Technik eine wissensbasierte Methodik zur effektiveren und effizienteren Freigabe von Strakdaten entwickelt.

Ausgehend von der Definition einer prinzipiellen Vorlagestruktur zum Aufbau der Daten in ICEM Surf®, z.B. der gesonderten Ablage von getrennten topologischen Einheiten innerhalb eines *Teils* in zwei unterschiedlichen *Molekülen* oder der parallelen Ablage von Basisflächen während der Erstellung der eigentlichen Strakdaten, konnte eine Grundlage für eine durchgängige, konsistente Strukturierung und Benennung der Daten über den kompletten Prozess erarbeitet werden. Auf Basis dieser Master-Struktur der Daten wurde in weiterer Folge eine Sub-Struktur innerhalb der separierten CAD-Dokumente in CATIA V5® definiert, welche eine geordnete Ablage der verschiedenen geometrischen Features, wie Strak-Flächen, Flächenverbände, Offsets, Basisflächen, etc. innerhalb der einzelnen Bauteile erlaubt. Im nächsten Schritt wurden eine genaue Analyse aller Anforderungen an Strakdaten durchgeführt und für deren Prüfung mögliche kommerzielle Prüfwerkzeuge (Q-Checker®, CADIQ®, CADdoctor®, etc.) sowie interne Prüffunktionen in ICEM Surf® bzw. CATIA V5® untersucht. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen, sowie des Zieles einer automatisierten Freigabe und Prüfung der Strakdaten wurden schließlich die geeigneten Prüfwerkzeuge bzw. Funktionen gewählt und eine erste Prüfkongfiguration für den Reifegrad B-CLASS A erstellt. Diese Konfiguration der unterschiedlichen Prüfkriterien des Q-Checkers® sowie der internen CATIA V5®-Funktionen *Zusammenfügen* und *Offset* wurde schlussendlich in einem iterativen Prozess den einzelnen Anforderungen entsprechend angepasst, sowie für die weiteren Reifegrade (A-CLASS A, C-CLASS A) adaptiert.

Auf Grundlage dieser erarbeiteten Master-Struktur, inklusive Erstellung der definierten Sub-Struktur, sowie der erstellten Prüfkongfiguration konnte eine Vorgehensweise zur gezielten Prüfung und Freigabe von Strakdaten entwickelt werden, welche im Weiteren aufgrund des Zieles einer automationsunterstützten Freigabe bzw. Prüfung in eine teilautomatisierte Software-Applikation umgesetzt wurde. Diese ermöglicht wiederum ausgehend von der zu Beginn des Prozesses in einer gekoppelten Projektdatenbank hinterlegten Master-Struktur eine gezielte Freigabe und Prüfung der Strakdaten des freizugebenden bzw. zu prüfenden Fahrzeugbereichs. Durch diese gekoppelte Datenbank wird eine gezielte Ablage der verschiedenen CAX-Dokumente, sowie der entsprechenden Prüfberichte des Q-Checkers® bzw. der internen CATIA V5®-Funktionen erreicht, womit den Nachfolgeprozessen sauber strukturierte Bauteile mit nachvollziehbaren Prüfergebnissen zur Verfügung gestellt werden können. Ebenso werden bereits bei der Erstellung der Master-Struktur die für weitere Arbeitsschritte notwendigen Meta-Informationen, wie z.B. das Oberflächenmaterial zur Visualisierung, für die verschiedenen Elemente definiert und in der Datenbank hinterlegt.

Die entwickelte Methodik erlaubt eine wesentlich effektivere und effizientere Freigabe von Strakdaten bei gleichzeitig erhöhtem Prüfumfang und stellt nach abgeschlossenem Prüfdurchlauf detaillierte Informationen über die qualitativen Eigenschaften der Bauteile zur Verfügung. Durch den Einsatz der entwickelten Software im Entwicklungsprozess wird eine effizientere Weiterverarbeitbarkeit der Daten in sämtlichen Nachfolgeprozessen erreicht.

Literaturverzeichnis

- [1] Haslauer R., CATIA V5 - Konstruktionsprozesse in der Praxis, München, Wien: Hanser Verlag, 2005, ISBN: 3-446-22970-1.
- [2] Dassault Systems, Verfügbar unter: <http://www.3ds.com/products-services/catia/capabilities/advanced-surface-modeling-info/icem-surf/>, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [3] Autodesk, Verfügbar unter: <http://www.autodesk.de/products/alias-products/overview>, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [4] BMW-Pressemitteilung, Designentwicklung bei der BMW Group am Beispiel der neuen BMW 5er Limousine - Der Weg zu vollendeter Ästhetik, 23.11.2009.
- [5] Braess H-H., Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 6. Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011, ISBN: 978-3-8348-1011-3.
- [6] Hirz M., Dietrich W., Gfrerrer A., Lang J., Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2013, ISBN: 978-3-642-11939-2.
- [7] Altran Deutschland, Verfügbar unter: <http://blog.altran.de/strak-design-richert-meyer/>, [Datum des Zugriffs: 04.12.2014].
- [8] BMW, Verfügbar unter: http://www.bmw.com/com/de/insights/bmw_design_2012/process/, [Datum des Zugriffs: 04.12.2014].
- [9] Wurzel F., Die Rolle der Strakentwicklung im Fahrzeugentstehungsprozess, Hamburg, in Karosseriebauage Hamburg, 2008.
- [10] Hillebrand A., Hirz M., Dietrich W., ConceptCar: A tool for early development phases supporting conceptual vehicle design and evaluation, Graz, Konferenzbeitrag - Grazer Symposium Virtuelles Fahrzeug, 2012.
- [11] Schreiner C., Analyse und Optimierung der Konvertierung von CAx-Daten in der Oberflächenkonstruktion, Diplomarbeit, Technische Universität Graz, Graz, 2014.
- [12] Prenner M., Abschätzung des aerodynamischen Verhaltens in der konzeptionellen Fahrzeugentwicklung, Diplomarbeit, Technische Universität Grza, Graz, 2011.
- [13] Andres Pfund, Verfügbar unter: <http://andreas-pfund.de/definition/metadaten/>, [Datum des Zugriffs: 11.12.2014].
- [14] Noack H., Freiformkurven und -flächen in CAD-Systemen, Skriptum, HAW-Hamburg, 2009.

- [15] Vajna S., Weber C., Bley H., Zeman K., CAx für Ingenieure - Eine praxisbezogene Einführung, 2. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2009, ISBN: 978-3-540-36038-4.
- [16] VDA - Verband der Automobilindustrie, VDA-Empfehlung 4955, Frankfurt, 2006.
- [17] Bonitz P., Freiformflächen in der rechnerunterstützten Karosseriekonstruktion und im Industriedesign, Dordrecht Heidelberg: Springer Verlag, 2009, ISBN: 978-3-540-79439-4.
- [18] Dassault Systems, ICEM Surf 4.13.0 Hilfemenü, Verfügbar unter: <http://www.3ds.com/>, [Datum des Zugriffs: 18.12.2014].
- [19] Ovtcharova J., Gutu D., Virtual Engineering - Computer Aided Design, Vorlesungspräsentation, Karlsruhe, 2009.
- [20] Autodesk, Verfügbar unter: <http://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Alias-Tutorials-Legacy/files/GUID-64611955-D2CC-44F2-98F0-D4F1FE931D8B-htm.html>, [Datum des Zugriffs: 22.12.2014].
- [21] Gaertner D., Styling Convergence, 2008.
- [22] TU Cottbus - Lehrstuhl Grafische Systeme, Parametrische Kurven und Flächen; Verfügbar unter: http://www-gs.informatik.tu-cottbus.de/cg2_v09a.pdf, Skriptum, [Datum des Zugriffs: 19.02.2015].
- [23] Wuethrich J., Verfügbar unter: <http://www.wuthri.ch/skript/abb/a55kurvenstetigkeit.htm>, [Datum des Zugriffs: 22.12.2014].
- [24] SASIG - Strategic Automotive product data Standards Industry Group, Verfügbar unter: http://www.sasig.com/site/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=84, [Datum des Zugriffs: 19.02.2015].
- [25] CAMTEX GmbH, Verfügbar unter: <http://www.camtex.de/software/caddoctor.html>, [Datum des Zugriffs: 26.11.2014].
- [26] Transcat, Verfügbar unter: <https://www.transcat-plm.com/software/transcat-software/q-checker.html>, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [27] Siemens, Verfügbar unter: http://www.plm.automation.siemens.com/de_at/products/nx/, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [28] ITI TranscenData, Verfügbar unter: <http://www.transcendata.com/products/cadiq/>, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [29] Armonicos, Verfügbar unter: <http://www.armonicos.co.jp/english/products/spgate/>, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].

- [30] CT CoreTechnologie, Verfügbar unter: http://www.coretechnologie.de/Conversion_Engine_3D_Evolution_PRODUCTS, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [31] Elysium, Verfügbar unter: <http://elysiuminc.com/products/caddoctor/>, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [32] Dassault Systems, CATIA V5 Hilfemenü, Verfügbar unter: <http://www.3ds.com/>, [Datum des Zugriffs: 26.11.2014].
- [33] Hertha M., CATIA V5 Flächenmodellierung, 2. aktualisierte Auflage, München: Hanser Verlag, 2009, ISBN: 978-3-446-41723-6.
- [34] Transcat, Q-Checker Hilfemenü, Verfügbar unter: <https://www.transcat-plm.com/software/transcat-software/q-checker-produkte.html>, [Datum des Zugriffs: 20.01.2015].
- [35] VDI - Verein Deutscher Ingenieure, Verfügbar unter: <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/produkt-und-prozessgestaltung/beirat-und-vorstand/informationstechnik/themen/wissensbasierte-konstruktion/>, [Datum des Zugriffs: 23.12.2014].
- [36] Blien R., Verfügbar unter: <http://www.blien.de/ralf/cad/db/kbe.htm>, [Datum des Zugriffs: 23.12.2014].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Design-Technik-Konvergenz im Entwicklungsprozess	1
Abbildung 1.2 Punktwolke einer Abtastung (li.); erste Design-Flächen aus CAID-System (re.).....	2
Abbildung 1.3 Fahrzeug des Reifegrades A-CLASS A, [7]	4
Abbildung 1.4 Arbeitsschritte im Fahrzeugdesign.....	5
Abbildung 1.5 Einflussfaktoren in der Entwicklung eines Fahrzeug-Straks, [9]	5
Abbildung 1.6 Gleichteileverwendung: identer Türrohbau in Porsche Boxster, [9]	6
Abbildung 1.7 Beispiel eines parametrisierten Karosserie-Modells, [5]	7
Abbildung 1.8 Workflow der Datenaufbereitung und Datenprüfung	9
Abbildung 1.9 Aufbau der Datenstruktur in ICEM Surf (li.); Beispiel einer Strukturierung (re.)	10
Abbildung 1.10 Struktur in ICEM Surf® (links) und Struktur in CATIA V5® (rechts)	11
Abbildung 2.1 Beispiel einer Kurve, vgl. [16].....	16
Abbildung 2.2 Beispiel einer Trägerfläche aus mehreren Patches, vgl. [16].....	16
Abbildung 2.3 Beispiel einer begrenzten Fläche, vgl. [16]	17
Abbildung 2.4 Beispiel einer Topologie mit Segment- bzw. Face-/Patchgrenzen.....	17
Abbildung 2.5 Beispiel Edge & Edge Loop, vgl. [18].....	18
Abbildung 2.6 Bézier-Kurve dritter Ordnung, [6]	18
Abbildung 2.7 Bernsteinpolynome verschiedener Grade (links), [14]; De-Casteljau- Algorithmus für eine Bézier-Kurve dritten Grades (rechts), [6]	19
Abbildung 2.8 B-Spline mit Grad 3 und 5 Kontrollpunkten (links) und B-Spline mit einem geänderten Kontrollpunkt (rechts), [17].....	20
Abbildung 2.9 Beschreibung eines exakten Kreises durch NURBS, [14]	20
Abbildung 2.10 Bézierfläche mit Kontrollnetz, [6].....	22
Abbildung 2.11 B-Spline-Fläche mit Kontrollnetz, [6]	23
Abbildung 2.12 NURBS-Fläche mit Kontrollnetz, [10]	24
Abbildung 2.13 Straklatte und Strakgewichte, [17].....	24
Abbildung 2.14 Erstellung einer Strakfläche ausgehend von einer Abtastung eines Clay- Modells, [20]	25
Abbildung 2.15 Highlightanalysen eines Scans (links) & eines Straks (rechts), [21]	26
Abbildung 2.16 Unterschied zwischen C1- und G1-Stetigkeit, vgl. [22]	26
Abbildung 2.17 Beispiel lageunstetiger Kurven, [16].....	27
Abbildung 2.18 Beispiel lageunstetiger Flächen, [16]	27
Abbildung 2.19 Beispiel tangentenunstetiger Kurven, [16].....	27
Abbildung 2.20 Beispiel tangentenunstetiger Flächen, [16]	27
Abbildung 2.21 Beispiel krümmungsunstetiger Kurven, [16].....	28
Abbildung 2.22 Beispiel krümmungsunstetiger Flächen, [16]	28
Abbildung 2.23 Beispiel torsionsstetiger Kurven, [17]	28
Abbildung 2.24 Highlightverläufe der unterschiedlichen Stetigkeitstypen, [17]	29
Abbildung 2.25 Flächen der Güte Class C, [17]	30
Abbildung 2.26 Flächen der Güte Class B, [17]	30
Abbildung 2.27 Fahrzeug-Strak des Reifegrades A-CLASS A, [7].....	31
Abbildung 2.28 Die verschiedenen Typen der wissensbasierten Konstruktion, vgl. [6]	32
Abbildung 3.1 <i>Front Bumper</i> mit Offsetflächen	34

Abbildung 3.2 Übergang zwischen Kurvenabschnitten mit G2-Stetigkeit (links) und G3-Stetigkeit (rechts)	35
Abbildung 3.3 Fläche mit "geringer" Patchanzahl (li.), sowie "hoher" Patchanzahl (re.).....	36
Abbildung 3.4 Extrapolierfähigkeit (links) und Übermaß von Abstellungen (rechts), vgl. [1]..	36
Abbildung 3.5 Symmetrisches Patch mit ungerader Ordnung (li.) und gerader Ordnung (re.)	37
Abbildung 3.6 Normalenausrichtung Motorhaube: nicht ausgerichtet (links)	37
Abbildung 3.7 Flächenverband einer Motorhaube mit zugehörigem.....	38
Abbildung 3.8 Topologischer Fehler beim Versuch der Erstellung eines Flächenverbandes in CATIA V5®, <i>Front Grill</i>	38
Abbildung 3.9 Ausschnitt aus der Datenstruktur eines <i>Front Bodies</i> in ICEM Surf® (links) und CATIA V5® (rechts)	39
Abbildung 3.10 Beispiel einer Fehlerbehebung mit dem Healing-Tool des CADdoctors®, [25]	42
Abbildung 3.11 Kriterienpool Q-Checker.....	44
Abbildung 3.12 Allgemeine Geometrieprüfungen im Q-Checker®.....	44
Abbildung 3.13 Prüfung von Flächenverbänden im Q-Checker®	45
Abbildung 3.14 Verbindungsüberprüfungsanalyse (vollständige Analyse)	47
Abbildung 3.15 Verbindungsüberprüfungsanalyse, Schnellanalysemodus, <i>Front Bumper</i>	48
Abbildung 3.16 Verbindungsüberprüfungsanalyse, vollständiger Analysemodus, G0-Stetigkeit, <i>Front Bumper</i>	49
Abbildung 3.17 Details G0-Unstetigkeit, <i>Front Bumper</i>	49
Abbildung 3.18 Verbindungsüberprüfungsanalyse auf Überlappungen, <i>Front Bumper</i>	50
Abbildung 3.19 Krümmungsanalyse mit Stacheln, Maske Krümmungsanalyse.....	51
Abbildung 3.20 Flächenkrümmungsanalyse: Typ <i>Gauß</i> , Funktionsmaske, Farbskala	51
Abbildung 3.21 Flächenkrümmungsanalyse: Typ <i>Begrenzt</i> , Funktionsmaske, Farbskala	52
Abbildung 3.22 Flächenverband ohne WYSIWYG-Modus (mi.) und im WYSIWYG-Modus (re.).....	52
Abbildung 3.23 Funktionsmaske <i>Zusammenfügen (Join)</i> in CATIA V5®.....	53
Abbildung 3.24 Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität (li.), Verbindungsüberprüfungsanalyse auf G0-Stetigkeit (re.)	53
Abbildung 3.25 Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität, mehrere Domänen...	54
Abbildung 3.26 Möbius-Band, Fehler bei der Erstellung einer Zusammenfügung	54
Abbildung 3.27 Topologischer Fehler bei der Erstellung einer Zusammenfügung in CATIA V5®, <i>Front Grill</i>	55
Abbildung 3.28 Prüfung der Tangentenstetigkeit bei der Erstellung einer Zusammenfügung, <i>Front Bumper</i>	55
Abbildung 3.29 Fehlerhafte Unterelemente beim Versuch einer Offsettingstellung durch einen zu großen Offsetwert in CATIA V5®	56
Abbildung 3.30 Erstellung eines Offsets mit mehreren Unterelementen.....	57
Abbildung 3.31 Diagnosemöglichkeiten in ICEM Surf®	57
Abbildung 3.32 Beispiel einer Abweichungsdiagnose, [18].....	58
Abbildung 3.33 Beispiel einer Min/Max-Diagnose in Y-Richtung, [18]	58
Abbildung 3.34 Beispiel einer Spaltmaß-Diagnose, [18].....	59
Abbildung 3.35 Beispiel einer Levelling-Diagnose mit erweiterter Fläche, [18].....	59
Abbildung 3.36 Beispiel einer Winkeldiagnose, [18]	60
Abbildung 3.37 Beispiel einer Anschlussanalyse eines Flächenüberganges.....	60

Abbildung 3.38 Beispiel einer Durchdringungsanalyse, [18].....	61
Abbildung 3.39 Beispiel Reflexionslinien bzw. Highlightlinien, [18].....	61
Abbildung 3.40 Beispiel einer Entformungsdiagnose, [18].....	62
Abbildung 3.41 Beispiel einer Krümmungsanalyse, [18].....	62
Abbildung 3.42 Funktionsmasken der Flächenprüfung in ICEM Surf®.....	63
Abbildung 3.43 Beispiel einer Topologie-Berechnung in ICEM Surf® mit anschließender Prüfung auf G0-Stetigkeit, [18].....	63
Abbildung 3.44 Untersuchung auf Mini-Elemente (links), sowie ein Umklappen der Flächennormalen (rechts) in ICEM Surf®, [18].....	64
Abbildung 3.45 Beispiele von zu kurzen Randkurven bzw. Selbstdurchdringungen innerhalb dieser Randkurven, [18].....	64
Abbildung 3.46 Erstellung eines Flächenverbandes mit Konnektivität und zugehöriger Funktionsmaske in CATIA V5®.....	66
Abbildung 3.47 Erstellung einer Offsetfläche mit einem Offsetwert von 0,3 mm.....	67
Abbildung 3.48 Erstellung einer Offsetfläche mit einem Offsetwert von 0,5 mm.....	67
Abbildung 3.49 Beispiele einer identischen (links) bzw. teilweise identischen (rechts) begrenzten Fläche innerhalb einer <i>Hood</i>	69
Abbildung 3.50 Beispiel einer überlappenden Randkontur innerhalb eines <i>Bumper Beams</i>	70
Abbildung 3.51 Beispiel einer Prüfung auf Krümmungsstetigkeit mit Hilfe des Q-Checkers®.....	71
Abbildung 3.52 Beispiel einer Untersuchung auf Minielemente in Berandungskurven an einer <i>Hood</i> mittels Q-Checker®.....	71
Abbildung 3.53 Beispiel einer Welligkeit innerhalb einer Fläche.....	72
Abbildung 3.54 Beispiel einer inkonsistenten Orientierung der Flächennormalen einer <i>Hood</i>	72
Abbildung 3.55 Ablauf zur Ermittlung einer geeigneten Prüfkonfiguration.....	73
Abbildung 3.56 Beispiel einer Prüfung auf Identische Flächen-Features (rot) bzw.....	75
Abbildung 3.57 Beispiel einer Prüfung auf Welligkeit mittels Q-Checker®.....	75
Abbildung 4.1 Prozess zur Freigabe von Strakdaten in der Automobilentwicklung.....	80
Abbildung 4.2 Prozessablauf der erarbeiteten, wissensbasierten Methodik zur Strakfreigabe.....	81
Abbildung 4.3 Aufbau einer Master-Struktur.....	82
Abbildung 4.4 Datenkonsistenz im Prozess ausgehend von einer Master-Struktur.....	83
Abbildung 4.5 Aufspaltung mit generierter Sub-Struktur und Fehlereinordnung in CATIA V5®.....	84
Abbildung 4.6 Erstellung einer Prüfkonfiguration.....	85
Abbildung 4.7 Interne CATIA V5®-Prüfung am Beispiel eines <i>Front Grills</i>	87
Abbildung 4.8 Interne CATIA V5®-Prüfung am Beispiel eines <i>Front Bumpers</i>	87
Abbildung 4.9 Ergebnistabelle eines Prüfdurchlaufs.....	88
Abbildung 4.10 Schematischer Aufbau der entwickelten Applikation.....	89
Abbildung 4.11 Ablauf der Funktion zur Freigabe von Strakdaten.....	90
Abbildung 4.12 Einordnung der Strak- und Fehlerflächen in CATIA V5®.....	91
Abbildung 4.13 Aufspaltung in Einzelteile und Erstellung einer Sub-Struktur in CATIA V5®.....	92
Abbildung 4.14 Beispiel eines CATIA V5®-Parts nach der Freigabe.....	94
Abbildung 5.1 Prüfergebnis <i>Front Bumper</i> , Ausgangsgeometrie.....	96
Abbildung 5.2 Analyse der Ausgangsgeometrie in CATIA V5®.....	97
Abbildung 5.3 Prüfergebnis <i>Front Bumper</i> , 1. Iterationsschleife.....	97

Abbildung 5.4 Analyse der Geometrie der ersten Iterationsschleife in CATIA V5®.....	98
Abbildung 5.5 Vorbereitungen und manueller Aufruf des Q-Checkers® in CATIA V5®	98
Abbildung 5.6 Beispiel einer Feinanalyse mit Hilfe des internen Prüfberichts im Q-Checker®	99
Abbildung 5.7 Orientierung der Flächennormalen vor (links) und nach (rechts) der Ausrichtung in ICEM Surf®	100
Abbildung 5.8 Beispiel einer Feinanalyse mit Hilfe des internen Prüfberichts im Q-Checker®	100
Abbildung 5.9 Verletzung von mehreren Kriterien in einem Bereich der Geometrie.....	100
Abbildung 5.10 Prüfergebnis <i>Front Bumper</i> , 2. Iterationsschleife	101
Abbildung 5.11 Überblick über die Prüfergebnisse der einzelnen Prüfdurchläufe	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Vor- und Nachteile der Kurventypen für einen Strak, [17]	21
Tabelle 2.2 Toleranzbereiche der G0- bis G2-Stetigkeit je Qualitätsklasse	29
Tabelle 3.1 Erlaubte Toleranzen für die verschiedenen Qualitätsklassen	35
Tabelle 3.2 Auflistung allgemeiner Anforderungen an einen Fahrzeugstrak.....	40
Tabelle 3.3 Auflistung ausgewählter spezieller Prüfkriterien für Strakdaten im Fahrzeugbau	41
Tabelle 3.4 Externe Prüfprogramme für CAD-Daten.....	43
Tabelle 3.5 Auszug aus CATDUA V5 Prüfkriterien für Baugruppenkonstruktion, [32]	47
Tabelle 3.6 Allgemeine Anforderungen inkl. Angabe der Prüfumgebung	69
Tabelle 3.7 Prioritätsklassen des Q-Checkers®.....	74
Tabelle 3.8 Prüfkfiguration zur Freigabe von Strakdaten für den Reifegrad B-CLASS A ..	77

Anhang

a. Zeitpunkt der Prüfung und Prüfumgebung der speziellen Anforderungen an Strak-Daten

Spezielle Anforderungen/ Kriterien	Zeitpunkt der Prüfung	Prüfumgebung
Leere Domains	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Multi-Domain Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Identische Flächen-Features	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Überbelegter Eckpunkt	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Offener oder überlappender Flächenverband	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Tangentenstetige Randkurve beim Flächenverband	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Treppenkante in Randkurve beim Flächenverband	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Überbelegte topologische Kante	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Krümmungs-unstetige begrenzte Flächen (G2-Unstetigkeit)	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Lage-unstetige begrenzte Flächen	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Tangenten-unstetige begrenzte Flächen	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Scharfe Kante im Flächenverband	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Inkonsistente Orientierung von Berandungskurve in	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Lage-unstetige Berandungskurven	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Spitzer Winkel zwischen Berandungskurven	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Hohe Segmentanzahl in Berandungskurve	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Geschlossene Berandungskurve	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Minielement Berandungskurve	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Minielement Berandungskurvensegment	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Geschlossene begrenzte Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Identische begrenzte Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Minielement begrenzte Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Schmale begrenzte Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Degenerierter Eckpunkt von Flächen-segmenten (spitzer	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Großer Krümmungsradius in Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Krümmungs-unstetige Flächensegmente (G2-Unstetigkeit)	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Lage-unstetige Flächensegmente	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Tangenten-unstetige Flächensegmente	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Relativ schmale begrenzte Flächen	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Identische Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Kleiner Krümmungsradius in Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Minielement Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Hoher Polynomgrad einer Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Planare Flächen mit Polynomgrad größer 1	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Hohe Segmentanzahl in Fläche	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Unbelegte Flächensegment-Reihen	nach der Konvertierung	Q-Checker®
Welligkeit von Flächen	nach der Konvertierung	Q-Checker®

b. Q-Checker® - Prüfergebnis einer Hood; erste Prüfkongfiguration

Kriterium	Fehlerkennung	Anzahl Fehler
Berechnung von Flächenverbänden	Fehler	0
Degenerierter Eckpunkt von Flächensegmenten (spitzer oder flacher Winkel) [G-SU-DP]	Fehler	0
Geschlossene Berandungskurve [G-ED-CL]	Fehler	0
Geschlossene begrenzte Fläche [G-FA-CL]	Fehler	0
Großer Krümmungsradius in Fläche [G-SU-CR]	Fehler	0
Hohe Segmentanzahl in Berandungskurve [G-ED-FG]	Fehler	0
Hohe Segmentanzahl in Fläche [G-SU-FG]	Fehler	0
Hoher Polynomgrad einer Fläche [G-SU-HD]	Fehler	0
Identische Flächen [G-SU-EM]	Fehler	0
Identische Flächen-Features (Shells) [G-SO-EM]	Fehler	0
Identische begrenzte Flächen [G-FA-EM]	Fehler	0
Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband [G-FA-IT,G-SH-IT]	Fehler	1
Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband [G-SH-IT]	Fehler	0
Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zur Trägerfläche [G-FA-IT]	Fehler	0
Kleiner Krümmungsradius in Fläche [G-SU-CR]	Fehler	0
Krümmungs-unstetige Flächensegmente (G2-Unstetigkeit) [G-SU-NS]	Fehler	0
Krümmungs-unstetige begrenzte Flächen (G2-Unstetigkeit) [G-SH-NS]	Fehler	1
Lage-unstetige Berandungskurven (G0-Unstetigkeit) [G-LO-LG]	Fehler	0
Lage-unstetige Flächensegmente (G0-Unstetigkeit) [G-SU-LG]	Fehler	0
Lage-unstetige begrenzte Flächen (G0-Unstetigkeit) [G-SH-LG]	Fehler	0
Leere Domains	Fehler	0
Minielement Berandungskurve [G-ED-TI]	Fehler	4
Minielement Berandungskurvensegment [G-ED-TI]	Fehler	2
Minielement Fläche [G-SU-TI]	Fehler	0
Minielement begrenzte Fläche [G-FA-TI]	Fehler	0
Multi-Domain Fläche (Shell) [G-SO-MU]	Fehler	0
Multi-Face Fläche [G-SU-MU]	Fehler	0
Offener oder überlappender Flächenverband [G-SH-FR]	Fehler	0
Planare Flächen mit Polynomgrad größer als 1 [G-SU-xx]	Fehler	8
Relativ schmale begrenzte Fläche	Fehler	92
Scharfe Kante im Flächenverband [G-SH-SA]	Fehler	1
Schmale begrenzte Fläche [G-FA-NA,G-FA-RN]	Fehler	0
Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges [G-LO-IS,G-FA-IS]	Fehler	0
Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes [G-SH-IS,G-SO-IS]	Fehler	0
Spitzer Winkel zwischen Berandungskurven [G-LO-SA]	Fehler	0
Tangenten-unstetige Flächensegmente (G1-Unstetigkeit) [G-SU-NT]	Fehler	0
Tangenten-unstetige begrenzte Flächen (G1-Unstetigkeit) [G-SH-NT]	Fehler	0
Tangentenstetige Randkurve beim Flächenverband	Fehler	7
Tangentenstetige schmale begrenzte Fläche [G-FA-NA,G-FA-RN]	Fehler	0
Treppenkante in Randkurve beim Flächenverband	Fehler	6
Unbelegte Flächensegment-Reihen [G-SU-UN]	Fehler	0
Welligkeit von Flächen [G-SU-WV]	Fehler	118
Überbelegte topologische Kante [G-SH-NM]	Fehler	1
Überbelegter Eckpunkt (Vertex) [G-SH-OU]	Fehler	1

c. Parameterwerte der Prüfkonfiguration für den Reifegrad **B-CLASS A**

ID	Spezielle Anforderungen/ Kriterien	Priorität	Prüfeinstellungen
1568	Leere Domains	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR
1254	Multi-Domain Fläche	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR
1240	Identische Flächen-Features	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Abstand kleiner gleich [mm]: 0,05mm ; Überprüfe auch auf teilweise identisch: aktiviert ; Anzahl der Messpunkte auf Kante: Interne Diskretisierungspunkte der Kanten ; Feste Punktzahl pro Segment: 3 ; Überprüfe auch innere Punkte von Faces: aktiviert ; Feste Punktzahl pro Face in U und V: 5 ; Keine Korrektoreinstellungen
1291	Berechnung von Flächenverbänden	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Abstand für Zusammenlegung von Kanten kleiner gleich [mm]: 0,02mm ; Auswahl Anzahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurven ; Feste Punktzahl pro Segment: 4 ; Topologien über mehrere Set erlaubt: nicht aktiviert ; Verwende 2.Abstand für große Lücken: aktiviert ; Abstand kleiner gleich: 0,2mm
1300	Überbelegter Eckpunkt	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Maximale Anzahl von Kanten pro Eckpunkt: 5
1377	Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR
1151	Offener oder überlappender Flächenverband	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Markiere alle Randkonturen für die Visualisierung: aktiviert ; Prüfe, ob geschlossene Randkonturen innerhalb der Toleranz identisch sind: aktiviert ; Toleranz: 0,02mm ; Markiere geschlossene identische Konturen nicht, wenn die Kurven tangenstetig sind: nicht aktiviert ; Toleranz für Tangenstetigkeit [°]: 1° ; Prüfe, ob geschlossene Randkonturen teilweise identisch sind: aktiviert ; Auswahl Anzahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurve ; Feste Punkte pro Segment: 3 ; Auswahl Algorithmus: Linienbasiert ; Max. „sag“-Wert für linienbasierten Algorithmus [mm]: 0,002mm ; Teste nur Topologien mit mehr Faces als...: 0 ; Melde Fehler wenn mehr als eine geschlossene Randkontur gefunden wird: nicht aktiviert ; Prüfe nur selbstberechnete Topologien: nicht aktiviert
1438	Tangenstetige Randkurve beim Flächenverband	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Winkel größer als [°]: 0,1° ; und Winkel kleiner als [°]: 5° ; Teste nur Topologien mit mehr Faces als...: 0
1439	Treppenkante in Randkurve beim Flächenverband	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Winkel größer als [°]: 30° ; Länge größer als [mm]: 0mm ; und Länge kleiner als [mm]: 0,1mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurve ; Feste Punktzahl pro Segment: 4 ; Teste nur Topologien mit mehr Faces als...: 0
1114	Überbelegte topologische Kante	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR
1108	Krümmungs-unstetige begrenzte Flächen (G2-Unstetigkeit)	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Krümmungsverhältnis größer als ...: 0,1 ; und Krümmungsverhältnis kleiner als: 1,5 ; Grenzwert für unendlichen Krümmungsradius [mm]: 10000mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Kanten ; Feste Punktzahl pro Segment: 5 ; Prüfung in den Endpunkten: Projizierbare Endpunkte prüfen

1106	Lage-unstetige begrenzte Flächen (G0-Unstetigkeit)	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Abstand größer als [mm]: 0,02mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurve ; Auswahl der Messpunkte: 5 ; Prüfung in den Endpunkten: Projizierbare Endpunkte prüfen ; Prüfe nur selbstberechnete Topologien: nicht aktiviert ; Keine Korrektoreinstellungen
1107	Tangenten-unstetige begrenzte Flächen (G1-Unstetigkeit)	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Winkel größer als [°]: 0,1° ; und Winkel kleiner als [°]: 2° ; Prüfe maximale Normalenabweichung entlang der gemeinsamen Kante: nicht aktiviert ; Auswahl Anzahl Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Kanten ; Auswahl Anzahl Messpunkte: 5 ; Prüfung in den Endpunkten: Projizierbare Endpunkte prüfen ; Prüfe nur selbstberechnete Topologien: nicht aktiviert ; Keine Korrektoreinstellungen
1105	Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ;
1301	Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Toleranz [mm]: 0,02mm ; Berechnung auf: Surface
1109	Scharfe Kante im Flächenverband	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Winkel zwischen zwei benachbarten Flächen größer als [°]: 120° ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Kanten ; Feste Punktanzahl pro Segment: 5 ; Prüfung in den Endpunkten: Projizierbare Endpunkte prüfen ;
1158	Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Abstand kleiner als [mm]: 0,005mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurven ; Feste Punktanzahl pro Segment: 4 ; Markiere nur Schnittpunkte: nicht aktiviert ; Prüfmethode für Berandungskurvenzüge: Selbstdurchdringung der Loops ; Ignoriere Schnittpunkte in schmalen Bereichen: nicht aktiviert ; Keine Korrektoreinstellungen
1160	Inkonsistente Orientierung von Berandungskurve in Berandungskurvenzug	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ;
1156	Lage-unstetige Berandungskurven (G0-Unstetigkeit)	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Abstand größer als [mm]: 0,05mm ; Keine Korrektoreinstellungen
1293	Spitzer Winkel zwischen Berandungskurven	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Winkel kleiner als [°]: 2°
1161	Hohe Segmentanzahl in Berandungskurve	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Anzahl der Segmente größer als: 8
1340	Geschlossene Berandungskurve	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; prüfe geometrisch: aktiviert ; Toleranz für geometrischen Test [mm]: 0,02mm
1154	Minielement Berandungskurve	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Länge größer als: aktiviert und 0mm ; und Länger kleiner als [mm]: 0,01mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurve ; Feste Punktanzahl pro Segment: 4 ; Keine Korrektoreinstellungen
1155	Minielement Berandungskurvensegment	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Länge größer als: aktiviert und 0mm ; und Länger kleiner als [mm]: 0,01mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurve ; Feste Punktanzahl pro Segment: 4 ; Keine Korrektoreinstellungen
1342	Geschlossene begrenzte Fläche	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; prüfe geometrisch: aktiviert ; Toleranz für geometrischen Test [mm]: 0,02mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurve ; Feste Punktanzahl pro Segment: 4 ;
1152	Minielement begrenzte Fläche	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Quadratwurzel der Fläche größer als [mm]: 0mm ; und Quadratwurzel der Fläche kleiner als [mm]: 0,02mm ; Keine Korrektoreinstellungen

1153	Schmale begrenzte Fläche	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Ausdehnung in einer Richtung kleiner als [mm]: 0,02mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Berandungskurven ; Feste Punktzahl pro Segment: 3 ; Markiere auch teilweise schmale begrenzte Flächen: aktiviert ; Auswahl Algorithmus: Linienbasiert ; Max. „sag“-Wert für linienbasiert [mm]: 0,002mm ; Keine Korrektoreinstellungen
1418	Relativ schmale begrenzte Flächen	Fehler	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Verhältnis Breite zu Höhe größer als: 300
1172	Kleiner Krümmungsradius in Fläche	KO	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Krümmungsradius kleiner als [mm]: 0,1mm; Toleranz für minimale Länge der Normalen [mm]: 0,0001mm; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Fläche ; Feste Punktzahl pro Segment: 10 ; Prüfe nur Flächenbereich, auf dem Faces liegen: aktiviert
1170	Hoher Polynomgrad einer Fläche	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Grad größer als: 8 ; Kanonische Trägerflächen nicht prüfen: aktiviert
1175	Hohe Segmentanzahl in Fläche	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Überprüfe Anzahl der Segmentreihen: aktiviert ; Anzahl Segmentreihen größer als: 3 ; Überprüfe absolute Anzahl Segmente: aktiviert ; Absolute Anzahl Segmente größer als: 6
1176	Unbelegte Flächensegment-Reihen	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Anzahl der Messpunkte pro Edge-Segment: 5
1171	Welligkeit von Flächen	Warnung	Prüfbedingung: nicht aktiviert ; Elementauswahl: SHOW & SICHTBAR ; Anzahl der Wendepunkte pro Segment größer als: 1 ; oder Anzahl Wendepunkte pro Isoparameterkurve größer als: 1 ; Anzahl Isoparameterkurven: 4 ; Grenzwert für unendlichen Krümmungsradius [mm]: 10000mm ; Auswahl der Messpunkte: Interne Diskretisierungspunkte der Fläche ; Feste Punktzahl: 10

d. Ausschnitte eines detaillierten Q-Checker®-Prüfberichts für einen *Bumper Beam*

Aufstellung: Anzahl Fehler bezgl. Datenqualitätskriterium

Geprüftes Modell:

PART:Front_Bumper; SUBPART:Bumper_Beam

aus Ordner:

C:\Users\martinvasold\Desktop\FrontBody\FrontBody_2014-10-22\30_Release_Data\20150128_140609_FrontBody_2014-10-30\Processed

Teilenummer:

Front_Bumper

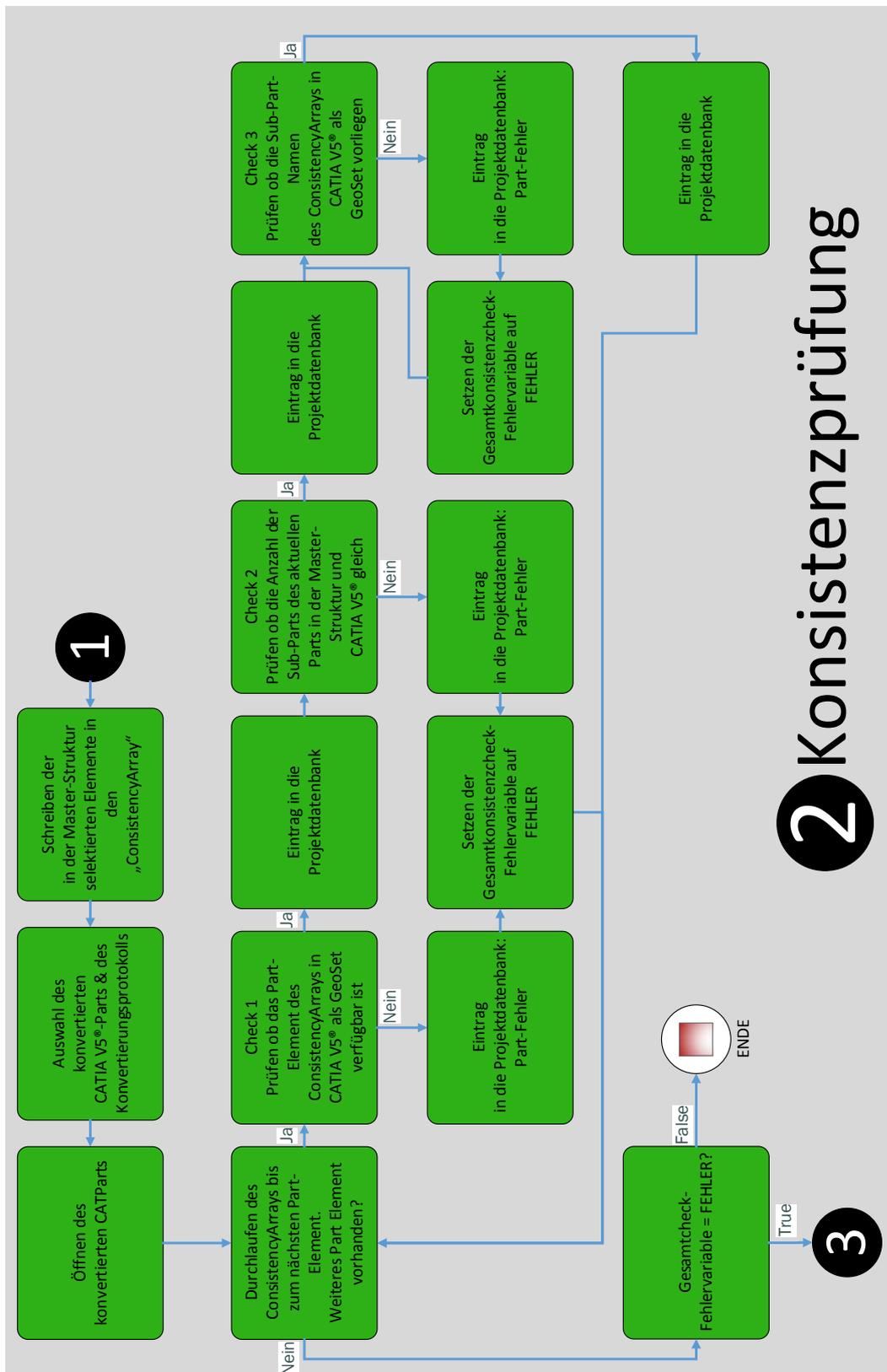
CAD-Version der letzten Speicherung:

Catia V5 R19 SP0 Build Date 06-11-2008.20.00

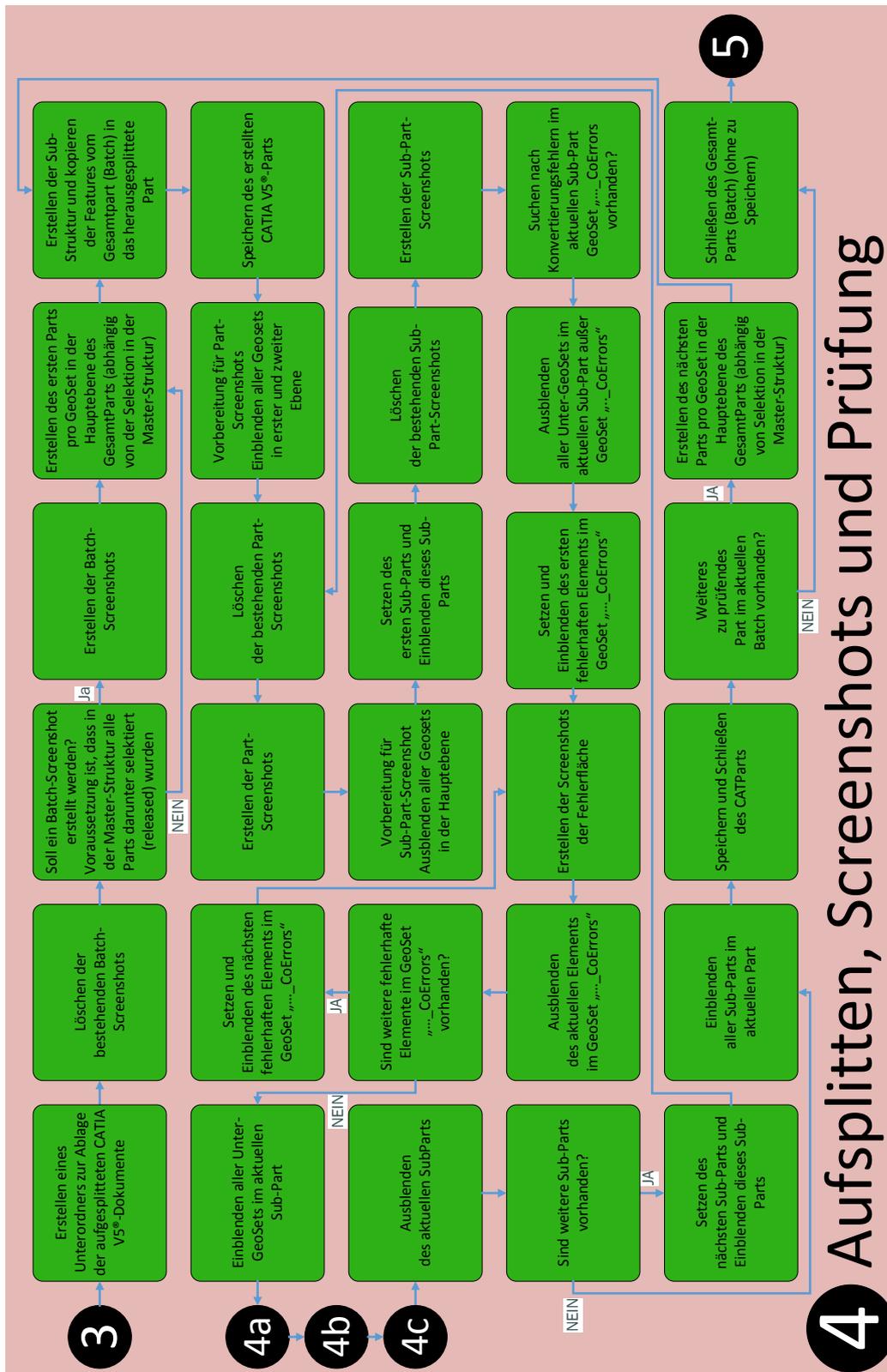
Aufstellung: Anzahl Fehler bezgl. Datenqualitätskriterium

Kriterium	Fehlerkennung	Anzahl Fehler
Berechnung von Flächenverbänden [G-SH-xx]	Fehler	0
Geschlossene Berandungskurve [G-ED-CL]	Fehler	0
Geschlossene begrenzte Fläche [G-FA-CL]	Fehler	0
Hohe Segmentanzahl in Berandungskurve [G-ED-FG]	Warnung	0
Hohe Segmentanzahl in Fläche [G-SU-FG]	Warnung	0
Hoher Polynomgrad einer Fläche [G-SU-HD]	Warnung	0
Identische Flächen-Features (Shells) [G-SO-EM]	KO	0
Inkonsistente Orientierung der Fläche zum Flächenverband [G-FA-IT,G-SH-IT]	KO	1
Inkonsistente Orientierung der begrenzten Fläche zum Flächenverband [G-SH-IT]	KO	0
Inkonsistente Orientierung von Berandungskurve in Berandungskurvenzug [G-LO-IT]	Warnung	27
Kleiner Krümmungsradius in Fläche [G-SU-CR]	KO	0
Krümmungs-unstetige begrenzte Flächen (G2-Unstetigkeit) [G-SH-NS]	Warnung	1
Lage-unstetige Berandungskurven (G0-Unstetigkeit) [G-LO-LG]	Fehler	0
Lage-unstetige begrenzte Flächen (G0-Unstetigkeit) [G-SH-LG]	KO	1
Leere Domains	Warnung	0
Minielement Berandungskurve [G-ED-TI]	Fehler	2
Minielement Berandungskurvensegment [G-ED-TI]	Warnung	4
Minielement begrenzte Fläche [G-FA-TI]	Fehler	0
Multi-Domain Fläche (Shell) [G-SO-MU]	Fehler	0
Offener oder überlappender Flächenverband [G-SH-FR]	Fehler	4
Relativ schmale begrenzte Fläche	Fehler	0
Scharfe Kante im Flächenverband [G-SH-SA]	Fehler	1
Schmale begrenzte Fläche [G-FA-NA,G-FA-RN]	Fehler	4
Selbstdurchdringung eines Berandungskurvenzuges [G-LO-IS,G-FA-IS]	KO	4
Selbstdurchdringung eines Flächenverbandes [G-SH-IS,G-SO-IS]	KO	0
Spitzer Winkel zwischen Berandungskurven [G-LO-SA]	Warnung	4
Tangenten-unstetige begrenzte Flächen (G1-Unstetigkeit) [G-SH-NT]	KO	0
Tangentenstetige Randkurve beim Flächenverband	Warnung	2
Treppenkante in Randkurve beim Flächenverband	Warnung	0
Unbelegte Flächensegment-Reihen [G-SU-UN]	Warnung	0
Welligkeit von Flächen [G-SU-WV]	Warnung	12
Überbelegte topologische Kante [G-SH-NM]	KO	1
Überbelegter Eckpunkt (Vertex) [G-SH-OU]	Warnung	1

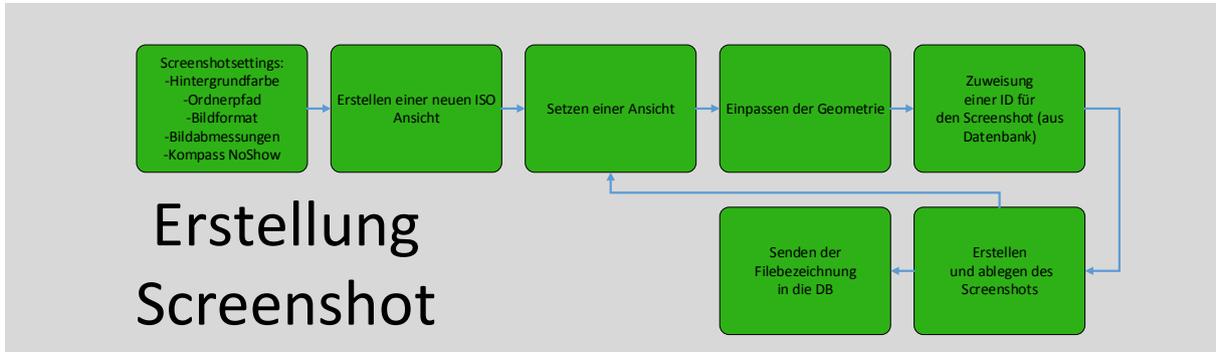
e. Flussdiagramm des detaillierten Ablaufs des Freigabeprozesses –
Schritt 2 - Konsistenzprüfung



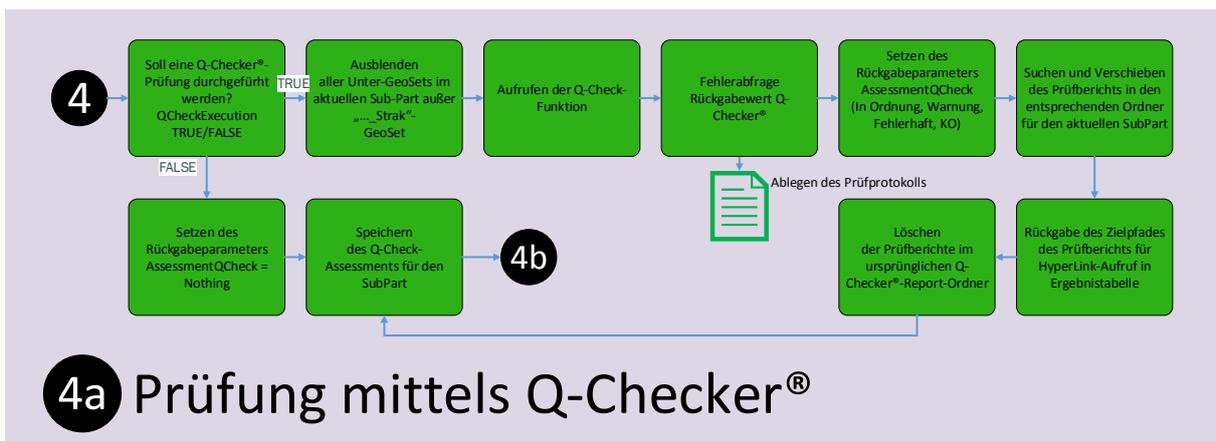
g. Flussdiagramm des detaillierten Ablaufs des Freigabeprozesses –
Schritt 4 – Aufsplitten, Screenshots und Prüfung



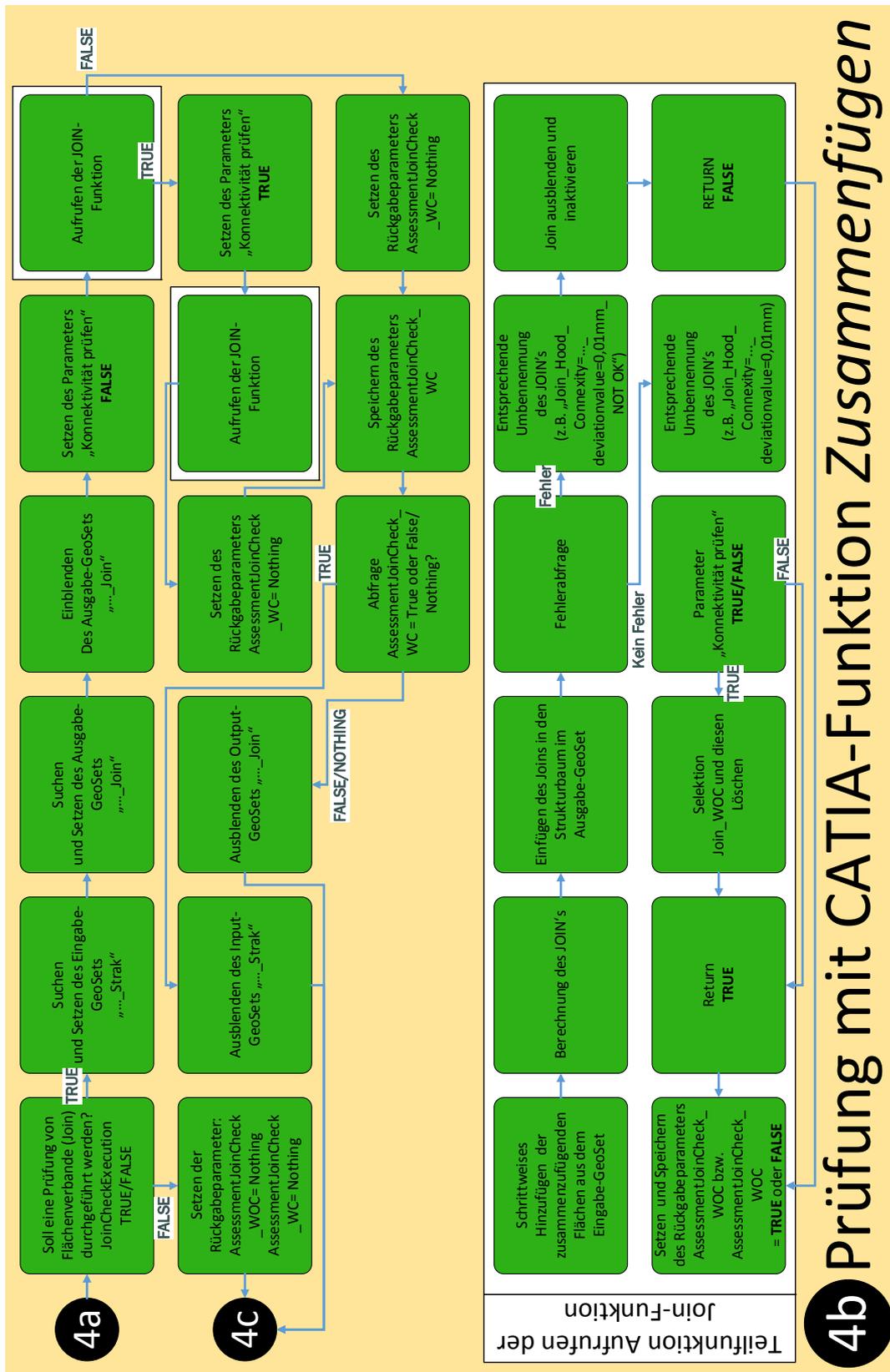
**h. Flussdiagramm des detaillierten Ablaufs des Freigabeprozesses –
Detail - Screenshots**



**i. Flussdiagramm des detaillierten Ablaufs des Freigabeprozesses –
Detail – Q-Checker®-Prüfung**

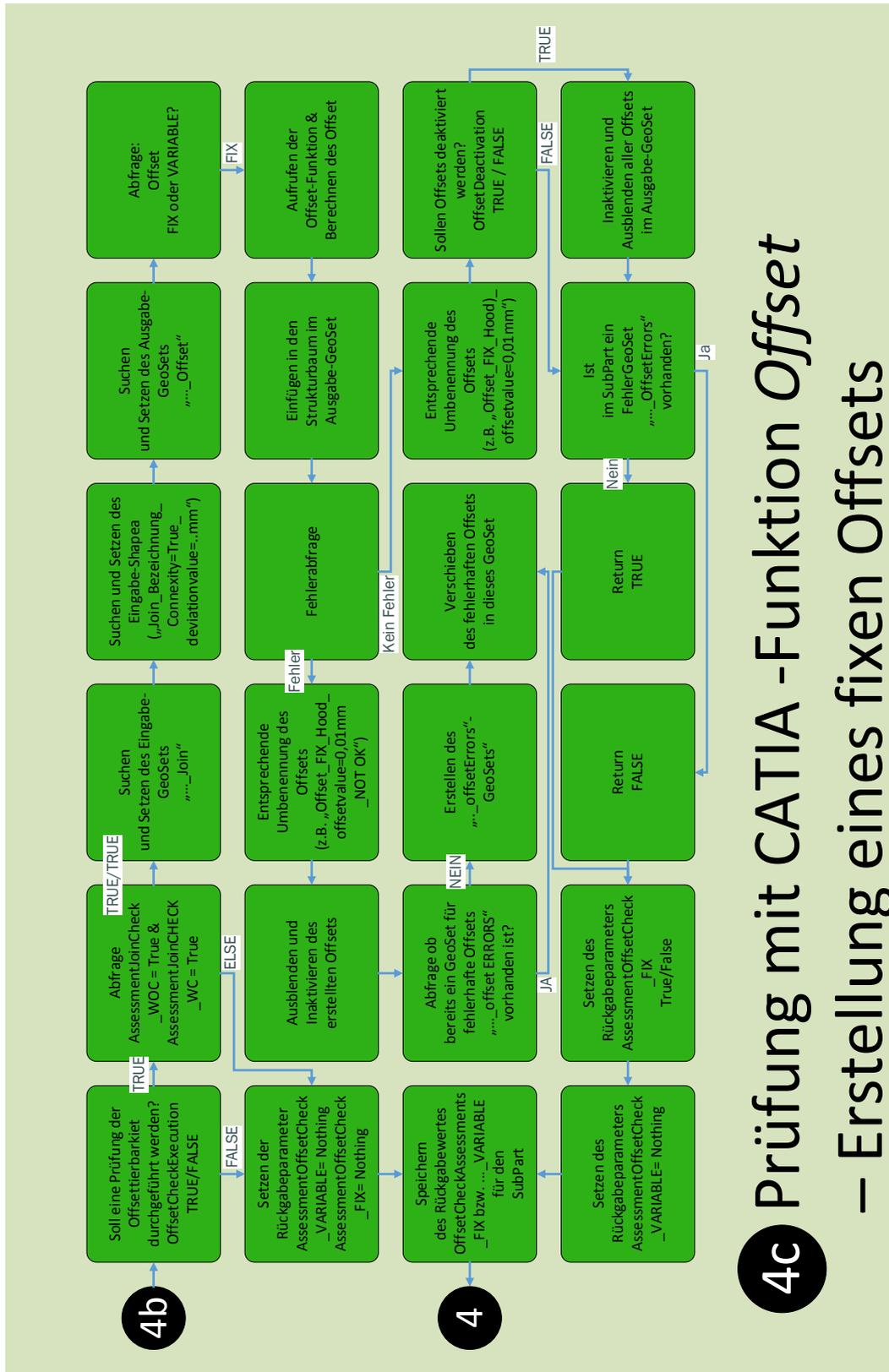


j. Flussdiagramm des detaillierten Ablaufs des Freigabeprozesses –
Detail – CATIA V5®-Prüfung-Zusammenfügen^



4b Prüfung mit CATIA-Funktion Zusammenfügen

k. Flussdiagramm des detaillierten Ablaufs des Freigabeprozesses –
Detail – CATIA V5®-Prüfung-fixer Offset



4c Prüfung mit CATIA -Funktion Offset
– Erstellung eines fixen Offsets

