



Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.) **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN** 2016
Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Dresden · 30. Juni – 1. Juli 2016

Programmkomitee Virtuelle Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Prof. Dr. Ralph Stelzer, TU Dresden

Prof. Dr. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Dr. Martin Eigner, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Detlef Gerhard, TU Wien

Prof. Dr. Jivka Ovtcharova, KIT Karlsruhe

Prof. Dr. Rainer Stark, TU Berlin

Prof. Dr. Sandor Vajna, Universität Magdeburg

Prof. Dr. Sandro Wartzack, Universität Erlangen

Entwickeln – Entwerfen – Erleben 2016.
Beiträge zur Virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Herausgeber: Ralph Stelzer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-95908-062-0

© 2016 w.e.b. Universitätsverlag & Buchhandel
Eckhard Richter & Co. OHG
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19
<http://www.tudpress.de>

TUDpress ist ein Imprint von w.e.b.

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.
Layout und Satz: Technische Universität Dresden.
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration © 2016 TU Dresden
Printed in Germany.

Erscheint zugleich auf QUCOSA der SLUB Dresden
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-203878>



© 2016 SAP SE oder ein SAP-Konzernunternehmen. Alle Rechte vorbehalten.



KOMPLEXITÄT DREHT SICH IMMER NUR IM KREIS.



EINFACH TRIFFT ENTSCHEIDUNGEN.

Komplexität bremst Ihr Business aus. Denn je gewaltiger die Informationsflut, desto schwieriger die Entscheidungsfindung. SAP arbeitet daran, Dinge zu vereinfachen. Damit aus Daten Wissen und aus Wissen fundierte Entscheidungen werden, die Ihr Unternehmen weiterbringen. Finden Sie heraus, wie gemeinsam einfach möglich wird auf [sap.de/runsimple](https://www.sap.de/runsimple)

SAP
Run Simple

Fertigungsrestriktionsmodell zur Unterstützung des algorithmisierten PEP fertigungsgerechter Blechprodukte

Katharina Albrecht · Thiago Weber Martins · Reiner Anderl

Abstract

Die Entwicklung von verzweigten Blechstrukturen, die mit Hilfe der innovativen Verfahren Spaltprofilieren und Spaltbiegen hergestellt werden, erfordert eine Erweiterung des verwendeten Produktentwicklungsansatzes. Im Sonderforschungsbereich 666 wurde dafür der Algorithmen-basierte Produktentwicklungsprozess eingeführt. Im Unterschied zu etablierten Produktentwicklungsprozessen, werden mathematische Optimierungsalgorithmen mit Randbedingungen aus den formalisierten Anforderungen wie Bauraumrestriktionen oder Lasten verwendet, um optimierte verzweigte Blechstrukturen zu entwickeln. Da in der mathematischen Optimierung nicht alle Informationen aus der Fertigung berücksichtigt werden können, müssen die optimierten verzweigten Blechstrukturen fertigungsgerecht optimiert werden. Dazu wird in diesem Beitrag zunächst ein Fertigungsrestriktionsmodell eingeführt. Basierend auf den gewonnen Erkenntnissen aus dem Modell wird dann ein Ansatz zur teilautomatisierten fertigungsorientierten Optimierung von verzweigten Blechstrukturen eingeführt und anhand eines Beispiels validiert.

Einleitung

Sowohl in der Automobilindustrie als auch in Luft- und Raumfahrt sind Blechprodukte durch ihre Leichtbaufähigkeit etabliert. Oftmals sind jedoch Materialdopplungen und Fügeoperationen ein Nachteil. Im Sonderforschungsbereich SFB 666 werden deshalb die Fertigungsverfahren Spaltprofilieren und Spaltbiegen erforscht. Die mit den innovativen Fertigungsverfahren hergestellten verzweigten Blechbauteile erfordern jedoch ein Weiterdenken in den etablierten Entwicklungsansätzen. Daher wurde im SFB 666 der Algorithmen-basierte Entwicklungsansatz etabliert.

Dabei werden, anhand von Rand- und Nebenbedingungen wie Bauraumrestriktionen oder Kräfteinleitungen, die Topologie sowie die Geometrie von verzweigten Blechbauteilen mathematisch optimiert. Die resultierenden Ergebnisse werden dann in 3D-CAD Systeme überführt und für die Fertigung aufgearbeitet. Um die optimierten Ergebnisse möglichst flexibel zu gestalten und um verschiedenen Ausgangssituationen in der Fertigung gerecht zu werden, sind die Bauteile kaum hinsichtlich der späteren Fertigungsrestriktionen optimiert. Das führt allerdings dazu, dass zwischen Konstrukteur und Fertigungsingenieur mehrere Iterationen notwendig sind, um das Produkt fertigungsgerecht anzupassen. Diese Iterationen sind zeitaufwendig und sollen nun reduziert werden.

Dazu wird in diesem Beitrag ein Fertigungsrestriktionsmodell mit Hilfe eines UML Klassendiagramms eingeführt. Basierend auf diesem Modell wird dann eine Teilautomatisierung ermöglicht, die verschiedene Fertigungsrestriktionen berücksichtigt und somit die Iterationen minimieren kann. Der entwickelte Ansatz wird anhand eines Anwendungsszenarios validiert, um daraus Potentiale und Grenze abzuleiten.

Lineares Spaltprofilieren und Spaltbiegen

Im SFB 666 Integrale Blechbauweisen höherer Verzweigungsordnung werden seit 2005 die neuartigen Verfahren des Spaltprofilierens und Spaltbiegens wissenschaftlich untersucht. Dabei handelt es sich um Kaltumformverfahren, welche bei Raumtemperatur durchgeführt werden. Bei dem Verfahren des Spaltprofilierens werden am Rand eines Blechbandes, welches von zwei Hilfswalzen gestützt wird, mit Hilfe einer Spaltwalze integral zwei Flansche ausgeformt (Groche 2007). Durch eine Reihung von mehreren Spaltgerüsten können die gewünschten Flanschlängen erreicht werden. Abbildung 1 a) zeigt eine einzelne Stufe des Spaltprofilierprozesses. Da das Blech im Bereich der Flanschausformung fließt, bilden sich im Spaltgrund und über große Bereiche der Flansche sich ein ultrafeinkörniges Gefüge (UFG) aus, welches sich durch eine höhere Härte auszeichnet. Dies kann vor Allem als Wälzkontakt genutzt werden (Karin et al. 2012). Solche Eigenschaften werden als Manufacturing Induced Properties bezeichnet (Groche et al. 2012). In (Karin et al. 2010) wurde dies am Beispiel einer Linearführung gezeigt.

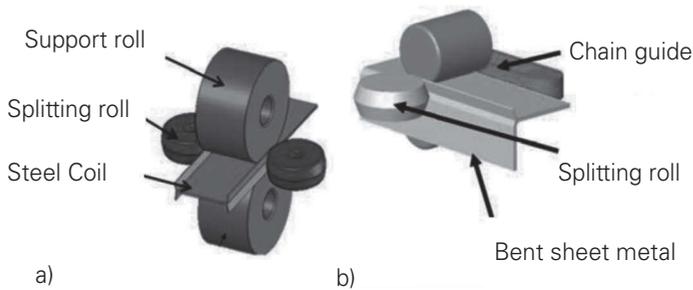


Abbildung 1: a) Spaltprofilieren, b) Spaltbiegen (Weitzmann et al. 2011).

Das Spaltbiegen ist eine Weiterentwicklung des Spaltprofilierens aus der zweiten Förderperiode des SFBs. Im ersten Schritt wird das Blechband zunächst walzprofiliert. Daraufhin wird das walzprofilierte Blechband mit der Spaltwalze bearbeitet und Flansche können dadurch auf der gesamten Fläche ausgeformt werden (Bäcker et al. 2010). Durch die Durchführung beider Verfahren können komplexe Profile und flächige Bauteile erstellt werden, die weniger Fügeoperationen benötigen und gleichzeitig eine höhere Steifigkeit besitzen.

Fokus der aktuellen Förderperiode ist das nichtlineare Spaltprofilieren. Dabei wird ein vortailliertes Blech verwendet. Um die Kontur des Bleches spalten zu können, werden weitere Freiheitsgrade für die Spaltwalze benötigt, was zu neuen Herausforderungen der Technologie führt. Weitere Informationen sind zu finden in (Neuwirth et al. 2014a, 2014b).

Algorithmen-basierter Entwicklungsprozess

Der Algorithmen-basierte Entwicklungsprozess des SFB 666 wurde während der ersten Förderperiode vorgestellt (Birkhofer 2007). Dabei handelt es sich um eine Erweiterung von traditionellen Entwicklungsprozessen wie beispielweise der Richtlinie VDI 2221 (VDI 1993).

Zunächst werden die Ziel-Geometrien basierend auf dem Algorithmen-basierten Produktentwicklungsansatz mathematisch optimiert. Dabei gibt es unterschiedliche Optimierungsansätze – die topologische Optimierung und die geometrische Optimierung, welche in Göllner et al. (2011, 2012) für die Fertigungsverfahren des SFB 666 angewendet werden. Die Ergebnisse beider Optimierungsverfahren werden daraufhin in 3D-CAD Systeme via eines neutralen Datenformates übertragen, um sie weiterzuverarbeiten. Dabei ist ein optimiertes Profil durch einen Graph repräsentiert. Die Knoten

repräsentierten Technologien und stehen dabei entweder für die Verzweigungen, Flanschenden, Biegestellen oder mehrere Fertigungsoperationen zusammen. Die Kanten stehen für die Stege und Flansche des Blechprofils. Diese Darstellung baut auf dem Kernmodell *Coregraph* auf, welches in (Weitzmann et al. 2008) eingeführt wurde. In (Weitzmann et al. 2010, 2012) und (Albrecht et al. 2014) wurden das Kernmodell *Coregraph*, sowie weitere Partialmodelle, um die aktuellen Forschungsinhalte erweitert.

In (Weber Martins et al. 2015) wurde einen Ansatz zur automatisierten Generierung von 3D-CAD-Modellen vorgestellt und mithilfe des neutralen XML-Dateiformat und NX Open API implementiert. Die abgeleiteten Geometrien im 3D-CAD-System wurden zwar anhand von Restriktionen wie Blechdicke, Belastung und Randbedingungen optimiert, jedoch können sie aufgrund der zu komplex optimierten Gestalt nicht gefertigt werden (Göllner et al. 2014). Zudem besitzen die abgeleiteten 3D-CAD Modelle keine Informationen über Fertigungsrestriktionen, fertigungsinduzierte oder technologieinduzierte Eigenschaften in Form von nicht-geometrische Daten. Diese sind jedoch entscheidend zur Sicherstellung der Entwicklung fertigungsgerechter Produkte. Dazu wurde einen Ansatz in (Weber Martins et al. 2016) für die Erweiterung des neutralen Datenaustauschformats vorgestellt, damit nicht-geometrische Informationen in 3D-CAD-Modelle einbezogen werden können.

Jedes Produkt durchläuft den Algorithmen-basierten Produktentstehungsprozess. Da der Informationsgehalt der 3D-CAD Modelle nach der mathematischen Optimierung nicht vollständig ist, müssen diese vervollständigt und nach der Richtlinien des fertigungsgerechten Konstruierens angepasst werden. Dazu muss weiterer Daten- und Informationsaustausch zwischen den Bereichen der Produktentwicklung und Fertigung stattfinden. Bis aus 3D-CAD-Modellen fertigungsgerechte Produkte entstehen, werden zeitintensive Iterationen ausgeführt, die mit Hilfe des in diesem Beitrag gezeigten Ansatzes verringert werden können. Ein Teil der Fertigungsinformationen ist aufgrund der verwendeten Fertigungsverfahren schon in den frühen Phasen der Produktentwicklung bekannt und muss so aufbereitet werden, dass diese Informationen in den Algorithmen basierten Produktentstehungsprozess integriert werden können. Diese sollen als nicht-geometrische Eigenschaften den Geometriemodellen der zu entwickelnden Produkte angegliedert werden, um die zeitintensiven Iterationen zu verringern.

Fertigungsrestriktionsmodell

Basierend auf Erkenntnissen aus (Jöckel 2005), (Vucic 2010) und (Weitzmann & Anderl 2013) wird nun ein Fertigungsrestriktionsmodell mit Hilfe

eines UML Klassendiagramms eingeführt. Für das Fertigungsverfahren „Lineares Spaltprofilieren“ ist in Abbildung 2 das Klassendiagramm der Fertigungsinformationen dargestellt. Für die Fertigungstechnologie Spaltbiegen ändern sich nur wenige Klassen, da es auf dem Spaltprofilieren aufbaut.

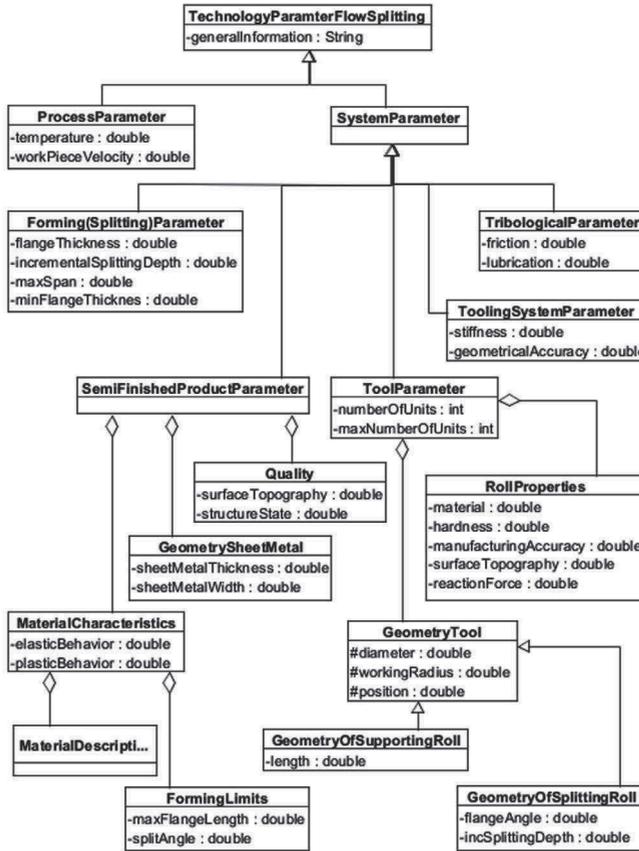


Abbildung 2: Partialmodell des Fertigungsrestriktionsmodells „TechnologyParameterFlowSplitting“.

Das Fertigungsrestriktionsmodell besteht aus den zwei Hauptklassen der System- und Prozessparameter. Dabei gibt es verschiedene Systemparameter wie die Umformparameter des Spaltprofilierens (Attribute: Flanschdicke, inkrementelle Spalttiefe, maximale Spannweite der Flansche, minimale Flanschdicke), Tribologische Parameter (Attribute: Schmierung und Reibung), Gerüstparameter (Attribute: Steifigkeit und geometrische Genauig-

keit), Werkzeugparameter (Attribute: Anzahl der Gerüste, maximale Gerüstanzahl) und die Parameter des Halbzeugs. Halbzeugparameter bestehen aus Material Charakteristiken (Attribute: elastisches und plastisches Verhalten), Ausgangsgeometrie (Attribute: Blechstärke, Blechbreite) und der Qualität (Attribute: Oberflächentopografie, Struktur) des Halbzeugs.

Auch die einzelnen Werkzeugparameter können unterteilt werden in die geometrischen Parameter (Attribute: Durchmesser, Arbeitsradius) und Rolleneigenschaften (Attribute: Material, Härte, Fertigungsgenauigkeit, Oberflächentopografie, Position). Bei genauerer Betrachtung haben sich folgende Parametergruppen als einflussreich herausgestellt. Dies sind: Werkzeugparameter, Materialparameter und Tribologische Parameter.

Werkzeugparameter, wie zum Beispiel die Maße der Spaltrolle haben maßgeblichen Einfluss auf die Form und Ausprägung der späteren Flansche. Genauso begrenzen Hilfswalzen die möglichen Steglängen des Kammerprofils sowie die Walzradien.

Um die makrogeometrischen Einflüsse auf den Flansch geeignet darstellen zu können, werden die Parameter mit den deutlichsten Einflüssen in folgender Tabelle visualisiert. Dabei ist festzustellen, dass besonders die Walzenparameter große Einflüsse auf die spätere Geometrie haben. Gleichermäßen beschränken diese Parameter auch die fertigen Geometrien.

Tabelle 1: Haupteinflüsse Makrogeometrie.

Systemparameter	Attribute	Auswirkung Flansch
Spaltwalze	<u>lnk.</u> Spalttiefe Flankenwinkel	Flanschlänge Flanschwinkel
Hilfswalze	Geometrie Position	<u>Aufdickung</u> des Bleches an der Flanschwurzel
Halbzeug	Dicke	Flanschdicke
Produktionskosten Gerüst	Anzahl der Gerüste	Maximale Flanschlänge

Um eine fertige verzweigte Blechstruktur zu ermitteln, reichen diese Aspekte jedoch nicht. Das liegt daran, dass zwar Randbedingungen durch die Fertigungsrestriktionen gegeben sind, jedoch die Komplexität dadurch nur bedingt beeinflusst wird. Unnötige zu kurze Kanten oder Winkelabweichungen der Stege des Blechprofils werden nicht berücksichtigt. Es ist nötig weitere Bedingungen oder Richtlinien zu finden.

Design for Manufacturing

Um diese Komplexität des Profils zu kontrollieren, ist es nötig einen zusätzlichen Ansatz von Richtlinien und Randbedingungen der Produktentwicklung zu verfolgen. Dazu eignet sich hervorragend der Ansatz von (Pahl et al. 2007) Design for Manufacturing (DfM) bzw. Design for Production (DfP). Hinter diesem Ansatz verbergen sich Design Richtlinien anhand derer Konstrukteure ihre Produkte fertigungsgerecht auslegen. Für das Konstruieren von umgeformten Blechstrukturen gibt es folgende grundlegende Richtlinien:

- Anstreben einfacher Formen mit möglichst parallelen Flächen.
- (Anstreben nicht zu schwerer Schmiedestücke.)
- Vermeiden zu großer Verformungen oder Querschnittsunterschiede.
- Bevorzugen einseitig sitzender Augen oder Absätze.

Diese Richtlinien haben gemeinsam das Ziel den Aufwand zu reduzieren und die Qualität der gefertigten Produkte zu verbessern.

Diese Richtlinien können zwar vom Konstrukteur umgesetzt werden, jedoch sind sie in einer halb automatisierten Anwendung nicht adäquat (Gramlich 2013). Daher müssen die Richtlinien so angepasst werden, dass Algorithmus entwickelt werden kann - also formalisiert werden.

Basierend auf denen im vorhergegangenen Abschnitt eingeführten Fertigungsrestriktionen, können Regeln für die Verarbeitung erstellt werden. Folgende Regeln werden für den Algorithmus zur Optimierung von verzweigten Blechstrukturen mit Anwendung der Technologie des Spaltprofilierens angewandt:

- Regel 1 Reduktion von komplexen Profilbereichen.
Kanten, die bestimmte Längen unterschreiten (Ableitung von minimaler Hilfswalzenbreite) vernachlässigen.
- Regel 2 „Knicke“ in Stegen vermeiden.
- Regel 3 Verwendung der Bauraumrestriktionen zur Ausrichtung der Stege und Flansche
- Regel 4 Vermeiden von zu kleinen oder großen Winkeln.
Anstreben von 90° oder 45° Winkeln.
- Regel 5 Produktionsschritte kontrollieren und wenn möglich reduzieren.

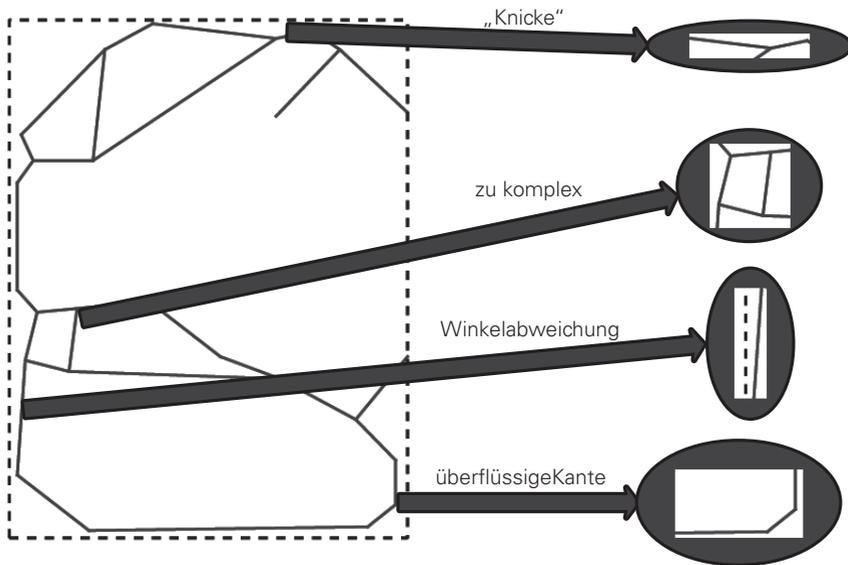


Abbildung 3: a) „Knickbereich“, b) kleiner Winkel zur Berandung
c) sehr kleiner komplexer Bereich d) Winkel Anpassung

Abbildung 3 zeigt die vier hauptsächlich verbesserungswürdigen Bereiche des vorgestellten optimierten Blechprofils. Abbildung 3 a) zeigt einen sogenannten „Knickbereich“ das heißt, dass hier das Profil eine Biegestelle oder Fügestelle hat, die aus Fertigungssicht nicht nötig ist und gegebenenfalls die Steifigkeit verringert. In Abbildung 3 b) hat der Außensteg des Blechprofils einen kleinen Winkel im Vergleich zur Berandung. Wenn dieser Winkel nicht aus einer Anforderung des Bauraums abgeleitet wurde, ist dieser Winkel zu vereinfachen. Dazu wird der Steg parallel zur Bauraumkante ausgerichtet. In Abbildung 3 c) ist ein sehr kleiner Bereich des Profils dargestellt, welcher sehr komplex gefertigt werden muss. Da die Gesamtmaße des Profils deutlich größer sind, als die Kantenlängen in diesen Bereichen, ist dieser Bereich zu vereinfachen. Ähnlich zu dem Fall in Abbildung 3 b) wird in d) ein Winkelbereich angepasst. Hier befindet sich eine kleine Kante jeweils ca. 45° zu denen am Bauraum ausgerichteten Kanten. Da die Kante selbst wiederum im Vergleich zu den Gesamtabmaßen sehr kurz ist, kann diese entfernt werden.

Diese Regeln können einfach in mathematische Bedingungen übersetzt werden, um diese im Algorithmus zur fertigungsgerechten Optimierung der verzweigten Blechprodukte anzuwenden.

Fertigungsgerechte Optimierung verzweigter Blechstrukturen

Abbildung 4 a) zeigt die gerundete Pixelgrafik des optimierten Profils. Schon in der Pixelgrafik wird erkennbar, dass die Fertigung eines solchen optimierten Profils nicht fertigungsgerecht und es nur mit großem Aufwand fertigbar ist. Basierend auf dieser Grafik wird ein Graph extrahiert, welcher die Knoten und Kanten des Profils repräsentiert. Dieser basiert auf dem erwähnten Kernmodell *Coregraph* und ist in Abbildung 4 b) nach Import dargestellt.

Für die fertigungsgerechte Optimierung des Profils wird nun das Profil hinsichtlich der eingeführten Fertigungsrestriktionen und Design Richtlinien adaptiert. Dazu werden, wie in Abbildung 4 c) gezeigt, zunächst Regel 1 der formalisierten DfM Richtlinien angewandt. Es werden alle Kanten, welche eine bestimmte Grenzlänge unterschreiten, aus dem Profil gelöscht. Durch die Löschung müssen nun die freien Enden neu miteinander verbunden werden. Um Konsistenz zu gewährleisten wird daraufhin Regel 2 angewandt. Dabei werden Winkel von zusammenhängenden Kanten überprüft und gegebenenfalls zu einer Kante verbunden. Nachdem dies geschehen ist, werden die Kanten auf ihre Lage im Bauraum kontrolliert und Regel 3 angewandt.

Regel 4 sieht vor, die Inneren Kanten auszurichten. Zuletzt wird Regel 5 angewandt und die Anzahl der Fertigungsschritte und Anforderungen an Werkzeuge mit der Ausgangssituation verglichen. Hierbei werden auch die Erkenntnisse des Fertigungsrestriktionsmodells und die ermittelten makrogeometrischen Einflüsse und Grenzen berücksichtigt. In Abbildung 4 d) ist das Ziel des Algorithmus dargestellt. Die einzelnen Iterationen des Algorithmus werden jeweils abgespeichert, sodass der Konstrukteur Änderungen einpflegen kann oder Adaptionsschritte rückgängig machen kann, falls neue Randbedingungen auftreten. Das Ergebnis wird nachfolgend wieder in einem neutralen Austauschformat abgelegt.

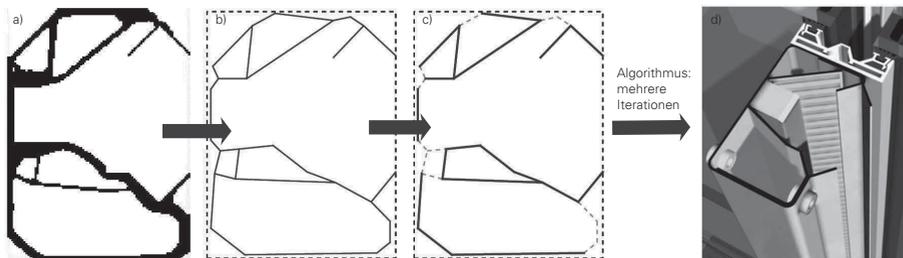


Abbildung 4: Schrittweise Anpassung des Profils.

Der Fassadenreiniger

Anhand eines Beispiels soll nun das Vorgehen validiert werden. Dazu wird der durchgehend und Algorithmen-basiert entwickelte Fassadenreiniger verwendet. Der Fassadenreiniger ist ein Demonstrator aus der 3. Förderperiode des SFB 666. Im Fokus steht das Schienen-Profil, welches genutzt wird, um mit dem Reinigungsschlitten auf und ab zu fahren.

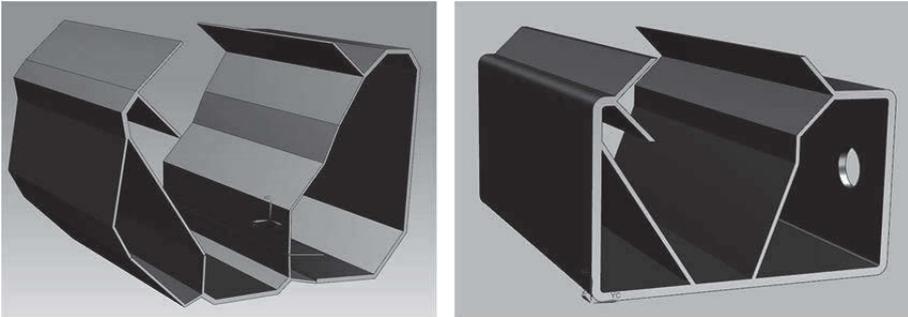


Abbildung 5: Demonstrator Fassadenreiniger des SFB 666.

Mithilfe der Algorithmen-basierten Modellierungsfunktionen, welche in (Weber Martins et al. 2015) eingeführt wurden, wird die optimierte Geometrie des Fassadenreiniger Führungsprofils in dem 3D-CAD-System Siemens NX 10 generiert. Bei diesem Vorgang wird die XML-Datei, in welcher Daten über die Knoten und Kanten der optimierten Geometrie gespeichert sind, eingelesen und diese als geometrische Elemente im 3D-CAD-System erstellt. Zunächst werden im Sketch-Modul die dementsprechenden Punkte und die Linien als 2D-Profilgeometrie zusammengesetzt. Darauf basierend wird die Geometrie in der dritten Dimension extrudiert, um daraus das Volumenmodell des Fassadenreinigers zu erstellen. Dieses Volumenmodell enthält aber ausschließlich geometrische Informationen und muss bzgl. Fertigungsrestriktionen noch manuell ausgearbeitet werden (siehe Abbildung 5).

Zur Optimierung dieser Vorgehensweise werden das erweiterte Datenmodell von (Weber Martins et al. 2016.) und das in diesen Beitrag vorgestellte Fertigungsrestriktionsmodell eingesetzt. Bevor das 3D-CAD-Modell automatisch erstellt werden kann, wird die XML-Datei mit den oben genannten Daten eingelesen, angepasst und vervollständigt. In diesem Beispiel werden explizit auf Entwicklungs-, Fertigungs- und Prozessdaten eingegangen, da sie einen direkten Einfluss auf die Endgeometrie haben. Mithilfe der zusätzlichen Daten aus der Entwicklung konnten Informationen zu Bauraumrestrik-

tionen (z.B. Bohrung) sowie die Winkellage der Y-Spaltprofile vervollständigt werden. Weiterhin werden Daten zur Fertigungsrestriktionen bzgl. Wandstärke, Biegeradien sowie Spaltprofilieren und Spaltbiegen berücksichtigt. Nach diesen Schritten werden die neuen bzw. angepassten Datensätze gemäß dem Datenmodell von (Weber Martins et al. 2016) in eine XML-Datei gespeichert. Anschließend wird das 3D-CAD-Modell, wie oben bereits beschrieben wurde, generiert. Das Ergebnis ist ein 3D-CAD-Modell des Fassadenreinigers, welches sich stärker an die fertigungsgerechten Konstruktionsrichtlinien annähert.

Durch den Vergleich der Ergebnisse ist es ersichtlich, dass durch die Einbeziehung des Fertigungsrestriktionsmodells in den Algorithmen-basiertem Entwicklungsprozess ein höherer Detaillierungsgrad mit geringeren Iterationen und Zeitaufwand erzielt werden kann. Trotzdem ist das entstehende 3D-CAD-Modell nicht durch Feature- bzw. - wissensbasierte CAD-Ansätze aufgebaut und soll in zukünftigen Beiträgen behandelt werden.

Ausblick

In Folgebeiträgen soll eine Schnittstelle zwischen Fertigungsrestriktionsmodell und CAD-System realisiert werden. Zusätzlich müssen Konstruktions- und Fertigungsfeatures für das optimierte 3D-CAD-Modell identifiziert und realisiert werden. Das Fertigungsrestriktionsmodell hat Schnittstellen zu weiteren Partialmodellen des Informationsmodells des SFB 666. Mikrogeometrische Einflüsse können ermittelt und dargestellt werden um das integrierte Informationsmodell zu vervollständigen.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein Ansatz zur teilautomatisierten fertigungsgerechten Optimierung von verzweigten Blechstrukturen vorgestellt. Dazu wurde zu Beginn ein Informationsmodell eingeführt, dessen Partialmodell *Fertigungsrestriktionsmodell* näher erläutert wurde. Daraufhin wurden makrogeometrische Einflüsse der Werkzeuge auf das Endprodukt ermittelt und abgeleitet. Mit Hilfe der Richtlinien des Design for Manufacturing Ansatzes konnte ein Algorithmus entwickelt werden, welcher ein mit mathematischen Algorithmen optimiertes Profil im Hinblick auf fertigungsgerechte Konstruktion überprüft und, basierend auf den eingeführten 5 Regeln, fertigungsgerecht adaptiert. Eine Gegenüberstellung mit dem bestehenden Ansatz wurde daraufhin durchgeführt.

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung der Teilprojekte A4 und A5 des Sonderforschungsbereiches SFB 666.

Literaturverzeichnis

- Albrecht, K, Weber Martins, T, Anderl, R (2014): Nichtlineares Spaltprofilieren von Blechprofilen im rechnerunterstützten Produktentwicklungsprozess. In: Tagungsband 12. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2014. Bayreuth, Deutschland
- Bäcker, F, Ertugrul, M & Groche, P (2010): A New Process Chain for the Forming of Individually Curved Sheet Stringers. In: International Journal of Material Forming, Vol. 3 (1); 2010. 837-840.
- Birkhofer, H & Wäldele, M (2007): Algorithmenbasierte Produktentwicklung für innovative Blechprofile. In: Journal Konstruktion; 7/8.
- Göllner, T, Günther, U, Hess, W, Martin, A & Ulbrich, S (2011): Topology and geometry optimization of branched sheet metal products. In: Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics, 11:1; 2011. 713-714.
- Göllner, T, Günther, U, Hess, W, Pfetsch, ME & Ulbrich S (2012): Optimierung der Geometrie und Topologie flächiger verzweigter Blechbauteile und von Mehrkammerprofilen. In: Tagungsband 4. Zwischenkolloquium SFB 666. Bamberg: Meisenbach Verlag GmbH, 15-24.
- Göllner, T, Lüthen, H, Pfetsch, ME & Ulbrich, S (2014): Profilloptimierung im Rahmen eines durchgängigen Produktentstehungsprozesses. In: Tagungsband 5. Zwischenkolloquium SFB 666. Bamberg: Meisenbach Verlag GmbH. 15-24
- Gramlich, S. 2013: Vom fertigungsgerechten Konstruieren zum produktionsintegrierenden Entwickeln – Durchgängige Modelle und Methoden im Produktlebenszyklus. Dissertation TU Darmstadt, Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Groche, P, Vucic, D & Jöckel, M (2007): Basics of linear flow splitting. In: Journal of Materials Processing Technology, Vol. Vol. 1 (Iss. 2). 249-255.
- Groche, P, Schmitt, W, Bohn, A, Gramlich, S, Ulbrich, S & Günther, U (2012): Integration of manufacturing induced properties in product design. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology 61 no 1. 163-166.
- Jöckel, M. 2005: Grundlagen des Spaltprofilierens von Blechplatinen. Dissertation TU Darmstadt, Aachen: Shaker Verlag.
- Karin, I, Hößbacher, J, Lommatzsch, N, el Dsoki, C, Birkhofer, H & Hanselka, H (2010): Spaltprofilierete Linearführung auf dem Prüfstand. In: Tagungsband 3. Zwischenkolloquium SFB 666. Bamberg: Meisenbach Verlag GmbH, 111-116
- Karin, I, Lommatzsch, N, Lipp, K, Kloberdanz, H, Birkhofer, H & Hanselka, H (2012). Gestaltung von Wälzkontakten mit spaltprofilierten Flanschen. In: Proceedings of 4. Zwischenkolloquium SFB 666. Bamberg: Meisenbach Verlag GmbH,
- Neuwirth, M, Schmitt, W, Kretz, F & Groche, P (2014a): On the Origin of Specimen:

- load-adapted integral sheet metal products. In: *Procedia Engineering* 81; 2014. 310-315.
- Neuwirth, M, Schmitt, W & Groche, P (2014b): Flexibles Spaltprofilieren: Verfahren und numerische Abbildung. In: *Tagungsband 5. Zwischenkolloquium SFB 666*. Bamberg: Meisenbach Verlag GmbH,
- Pahl, G, Beitz, W, Feldhusen, J & Grothe, K-H. (2007): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Richtlinie VDI 2221. Systematic approach to the development and design of technical systems and products. Düsseldorf: VDI; 1993
- Vucic, D. 2010: *Methoden zum Herstellen und Weiterverarbeiten von Spaltprofilieren*. Dissertation TU Darmstadt, Aachen: Shaker Verlag.
- Weber Martins, T, Albrecht, K & Anderl, R (2015): Automated Import of XML-Files Containing Optimized Geometric Data To 3D-CAD-Models of Non-Linear Integral Bifurcated Sheet Metal Parts. In *ASME 2015 - IDETC/CIE 2015*, At Boston, MA, USA
- Weber Martins T, Albrecht, K & Anderl, R (2016): An Extended Data Model for Production-Orinetated Integral Bifurcated Sheet Metal Products. In *Tools and Methods of Competitive Engineering*, Aix-en-Provence, France
- Weitzmann, O, Anderl, R, Wu, Z & Rollmann, T (2008): Information modeling and representation of sheet metal parts with higher order bifurcations. In *Proceedings of the 9. International Conference on Tech-nology of Plasticity*. Gyeongju, Korea.
- Weitzmann, O, Schüle, A & Anderl, R (2011): Featurebasierte Modellierung flächiger Blechbauteile mit Verzweigungen. In: *9. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik*. Aachen: Shaker Verlag. 98-105. ISBN 978-3-844-00381-9
- Weitzmann, O, Schüle, A, Rollmann, T, Anderl, R & Göllner, T (2012): An object-oriented information model for the representation of free form sheet metal parts in integral style. In: *Tools and Methods of Competitive Engineering*. Karlsruhe, 2012. ISBN 978-90-5155-082-5
- Weitzmann, O & Anderl, R (2013): A model for the representation of surface roughness and form deviation in geometry models. In: *Proceedings of ASME 2013 – IDETC/CIE 2013*, Portland, Oregon, USA

Kontakt

Katharina Albrecht, M.Sc.
 Thiago Weber Martins, M.Sc.
 Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl
 Technische Universität Darmstadt
 Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion
 64287 Darmstadt
www.dik.tu-darmstadt.de

