

Grundlagen für die Unterstützung des Konstruktionsprozesses beim Entwickeln von Blechbauteilen

Penschke, St.; Große, A.

Seit Mitte 1993 ist an der TU Clausthal und der Universität Hannover der Sonderforschungsbereich (SFB) 362 "Fertigen in Feinblech" eingerichtet. Ziel des SFB ist die Schaffung von Grundlagen für den vermehrten Einsatz des Halbzeuges Blech. Innerhalb des SFB kooperieren unterschiedliche ingenieurwissenschaftliche Fachbereiche wie Umformtechnik, Schweißtechnik, Werkstofftechnik, Konstruktionslehre und Betriebsorganisation. Dieser Artikel stellt das vom IMW zu bearbeitende Teilprojekt B4 "Konstruktionssystematische Grundlagen für funktions- und produktionsgerechte Feinblechstrukturen" vor.

Since 1993 the TU Clausthal and the University of Hannover have been grant recipients for the government sponsored special research project 362 "Processing of Thin Sheet Metal". The aim of this project is to provide the basics to promote the increasing use of sheet metal. Within the project different research departments such as metal forming, welding engineering, material science, design theory and logistics are cooperating. This article will present the subproject B4 "Basic Design Methodologies for Sheet Metal Products to meet the Requirements of Function and Manufacturing" to be worked out by the IMW.

1 SFB 362 "Fertigen in Feinblech"

Stahlblech ist dank moderner Stahlerzeugungsverfahren ein außerordentlich hochwertiges Halbzeug mit der Möglichkeit zur Einstellung definierter Eigenschaften. Auch die Fertigungsmöglichkeiten bei der Bearbeitung von Blech entwickeln sich sehr dynamisch /1/. Wegen des Vorteils, daß die eigenschaftsbestimmende Werkstoffherstellung und die Formgebung in getrennten Fertigungsschritten erfolgen, läßt sich bei der umfangreichen Verfügbarkeit von Blech eine hohe Qualitätssicherheit und Formflexibilität erzielen. Somit lassen sich Blechbauteile mit komplexer Gestalt entwickeln, die exakt auf die jeweiligen Beanspruchungen zugeschnitten sind.

Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen will der SFB die wissenschaftlichen Grundlagen der werkstoff- und prozeßtechnischen Vorgänge beim Umformen und Fügen von Feinblech sowie deren Auswirkungen auf ausgewählte Bauteileigenschaften untersuchen. Der SFB ist ein Gemeinschaftsprojekt mit der Universität Hannover unter Federführung der Technischen Universität Clausthal und wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in Bonn gefördert.

Der SFB gliedert sich in drei Projektgruppen. Die erste Gruppe untersucht Werkstoffverhalten und Stofffluß beim Umformen und Fügen. Rechnergestützte Modellierungs- und Berechnungsverfahren sollen die experimentell gewonnenen Erkenntnisse übertragbar und allgemein verwendbar machen. Gegenstand der zweiten Gruppe ist die Ermittlung optimaler Prozeßabläufe beim Fertigen in Feinblech, sowohl unter technologischen, als auch unter organisatorischen Gesichtspunkten. Schwerpunkt bildet die Kombination von Umformen und Fügen (Umformen gefügter Zuschnitte, tailored blanks). Die dritte Gruppe befaßt sich mit der Ermittlung von Feinblechbauteileigenschaften. Hier steht die Überwachung von Qualitätsmerkmalen während des Bearbeitungsprozesses und am fertigen Feinblechbauteil sowie die Konzeption entsprechender Analyse- und Korrekturverfahren im Mittelpunkt.

2 Teilprojekt B4 "Feinblechkonstruktion"

Die Realisierung optimaler Blechkonstruktionen ist nur durch eine ganzheitliche Betrachtung der Teilaspekte Produkthanforderungen und -funktionen sowie Herstellungsprozeß und dessen Einbindung in Fertigungsstrukturen möglich. Die bisherige sequentielle Betrachtung von Produkt, Herstellungsprozeß und Produktionsanlagen bei der Entwicklung neuer Produkte ist wegen des hohen Abstimmungsaufwandes und Zeitbedarfs als verbesserungswürdig einzuschätzen. Aufgrund des großen Einflusses der Ferti-

gungsparameter auf die geometrische Gestalt und die funktionalen Eigenschaften wird die Notwendigkeit zur Schaffung von Grundlagen für eine "parallele" Produktdefinition bei Blechteilen besonders deutlich. Für eine effektive Unterstützung des Konstruktionsprozesses müssen die allgemein als Erfahrungswissen bezeichneten Informationen der Teilbereiche Konstruktion und Fertigung rechnergestützt verwaltet und dem Konstrukteur zielgerichtet präsentiert werden können. In diesem Zusammenhang ergeben sich drei langfristig zu beantwortende Fragenkomplexe:

1. In welcher Weise sind Anforderungsliste und Funktionsstruktur für die Blechteilekonstruktion aufzubereiten, damit die sich auf die geometrische Gestalt, die Materialeigenschaften und die Fertigungstechnologie beziehenden Informationen genutzt werden können ?
2. Nach welchen Gesichtspunkten und mit welchen Methoden sind technologische Informationen zur Gestaltung von Blechteilen für eine zielgerichtete Unterstützung des Konstruktionsprozesses inhaltlich zu strukturieren ?
3. In welcher Form müssen diese Daten bereitgestellt werden, damit sie dem Konstrukteur rechnergestützt und anwendungsbezogen präsentiert werden können ?

Die besondere Problematik der Aufbereitung und Darstellung von konstruktionsrelevantem Wissen liegt darin begründet, daß konkrete Informationen zur

Fertigungstechnologie an die Produktgestalt geknüpft sind, wogegen der Konstrukteur im allgemeinen funktionsbezogen arbeitet. Die gegenwärtig übliche Form der Darstellung von Konstruktionsregeln zum blechgerechten Konstruieren ist eine Gegenüberstellung günstiger und ungünstiger Beispiellösungen in Verbindung mit verbal formulierten Regeln. Um ein Produkt zu optimieren, muß der Konstrukteur die Regeln sequentiell durcharbeiten, abstrahieren und auf sein konkretes Blechteil anwenden. Dieses Vorgehen kann erheblich effektiviert werden, wenn die notwendigen Informationen zu Fertigungsprozessen und -strukturen der Problemstellung angepaßt bereitgestellt werden können.

Aufbauend auf einer systematischen Erfassung und Strukturierung des konstruktionsrelevanten Wissens und der anschließenden Beschreibung in Informationsmodellen, soll eine Systematik entwickelt werden, die den Übergang von der Funktion zur Gestalt des Funktionsträgers sowie eine Optimierung dieser Gestalt unter fertigungstechnischen, werkstofflichen und baustrukturellen Gesichtspunkten ermöglicht.

3 Analyse des Untersuchungsbereiches

Zu Projektbeginn wurde eine Analyse des Untersuchungsbereiches Blechteileherstellung durchgeführt. Um einen hohen Praxisbezug zu gewährleisten ist ein Fragebogen entwickelt worden, der an ca. 180 Unternehmen der blechverarbeitenden Industrie versendet

Bearbeitungsschritt	Kenndaten																Maschine ³⁾							
	des Verfahrens ¹⁾																	der Maschine ²⁾						
	Wärmebehandlung	Tiefziehen mit starrem Werkzeug	Tiefziehen mit nachgiebigem Werkzeug	Tiefziehen mit Wirkmedium	Streckziehen	Drücken	Kragenziehen	Knickbauchen	Biegen	Biegen, geradlinige Werkzeugbewegung	Biegen, drehende Werkzeugbewegung	Stanzan	Nibbeln	Schneiden	Bündeln	Netzen		Anpressen / Einpressen	Schweißen (Schmelz-/Widerstands-/Quetschmatt-)	Kleben	Löten	Durchsetzrügen	1350 mm Länge	4x4000 mm
1													X											
2											X												Perforieren (Vorschub 40 mm, 300 mm breit)	Schnellstanzautomat Weingarten 100 t
3											X												Eckschnitt 50x50 mm	Exzenterpresse 40 t
4								X															Durchzug Stirnseite 300 mm breit	Hydraulische Presse 50 t
5								X															Durchzug Stirnseite 300 mm breit	
6								X															Durchzug Längsseite 1250 mm lang	Hydraulische Presse 80 t
7								X															Durchzug Längsseite 1250 mm lang	
8													X										1230 mm Länge	4x4000 mm
9								X															Durchzug mit Lochfeldstanzung 1230 mm lang	Hydraulische Presse 250 t
10																	X						Ecken Punkten 4 Druck	PMS 11 Dalex
11																	X						Schiene Punkten 6 Druck	PMS 14 Dalex
12																								

Bild 1: Matrix zur Beschreibung des Bearbeitungsablaufes

worden ist. Er enthielt Fragen zum Unternehmen (Branchenzugehörigkeit, Charakter des Unternehmens wie Zulieferer oder Hersteller von Fertigteilen, Kennzahlen zur Unternehmensgröße usw.), zur Organisation (Organisationstypen, Fertigungsarten) und zu den Produkten (Fertigungsverfahren, Werkstoffe, Blechdicken und Platinenabmessungen). Zusätzlich dazu wurde nach typischen Beispielteilen gefragt. Hier sollten allgemeine Angaben zu Werkstoff, Funktion, Stückzahlen, Kostenanteilen usw. und Angaben zur Fertigung der Teile gemacht werden. Der Fragebogen wurde unter der Maßgabe der möglichst einfachen Handhabung erstellt (multiple choice). Für die Beschreibung der Fertigungsabläufe wurde die in **Bild 1** gezeigte Matrix entwickelt.

Die Auswertung der Befragung erfolgte unter technisch-wissenschaftlichen Gesichtspunkten mit Methoden der beschreibenden Statistik. Ziel war die Ermittlung des Ist-Zustandes der industriellen Blechteilfertigung bezogen auf Produkte, Verfahren und Fertigungsstrukturen. Der Gliederung des Fragebogens folgend wurde nach Einzelfragen getrennt ausgewertet.

Bei der Auswertung der allgemeinen Unternehmensdaten wurden die Verteilungen der Unternehmensgrößen, Branchenzugehörigkeiten usw. ermittelt. Hier zeigten sich keine Besonderheiten. Bei den weiteren auswertenden Tätigkeiten wurde jeweils nach der Unternehmensgröße und dem Charakter der Unternehmen getrennt ausgewertet, allerdings nur insoweit, wie sich signifikante bzw. eindeutig interpretierbare Ergebnisse zeigten.

In Bezug auf die Unternehmensorganisation wurde nach der Wichtung bestimmter Kriterien für die Unternehmensphilosophie gefragt. **Bild 2** zeigt, daß die Qualität der Produkte und Kostenaspekte hier im Vordergrund stehen. Aber auch innovative Produkte bzw. Technologien werden als ein sehr wichtiger Aspekt der Unternehmensführung eingeschätzt.

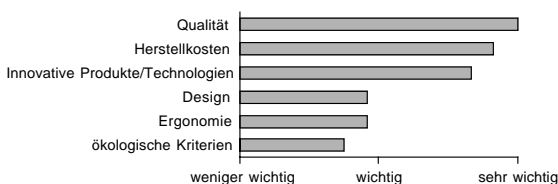


Bild 2: Wichtung wesentlicher Kriterien der Unternehmensphilosophie

In Bezug auf die Produkte bzw. deren Herstellung

wurde nach den angewandten Fertigungsverfahren und den verarbeiteten Blechen (Werkstoffe, Abmessungen) gefragt. **Bild 3** zeigt die in den Unternehmen angewendeten Fertigungsverfahren. Die Palette der verarbeiteten Blechwerkstoffe ist sehr umfangreich. Die Auswertung der genutzten Platinenabmessungen zeigte einen überdurchschnittlichen Anteil bei den endlosen Platinenlängen, d.h. nahezu 50 % der Fertigung erfolgt vom Coil.

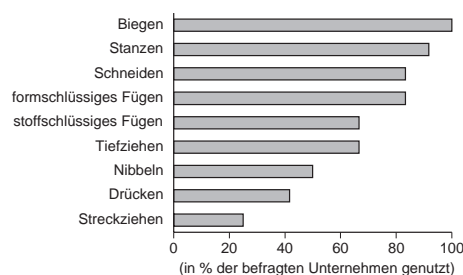


Bild 3: Angewendete Fertigungsverfahren der Blechbearbeitung

Bei der Untersuchung der Beispielteile in Bezug auf typische Funktionen wurde bei der Erstellung des Fragebogens auf einfache technische Begriffe für gebräuchliche Hauptfunktionen zurückgegriffen und bewußt auf die Frage nach Grundfunktionen mit hohem Abstraktionsgrad verzichtet. **Bild 4** zeigt diesbezüglich wesentliche Befragungsergebnisse. Demnach bilden Blechteile mit Stützfunktionen (Energie übertragen/verknüpfen) sowie Behälter bzw. Abdeckungen und Verkleidungen (Stoff speichern) den größten Anteil typischer Funktionen.

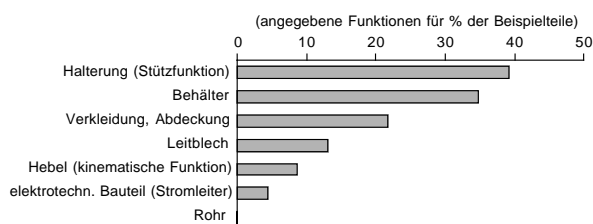


Bild 4: Typische Hauptfunktionen für Blechteile

Die im **Bild 5** dargestellten durchschnittlichen Kostenanteile verdeutlichen in ihrem Verhältnis zueinander das Potential, das in einer effektiven Unterstützung des Konstruktionsprozesses in Bezug auf fertigungs- und werkstoffgerechtes Gestalten liegen.

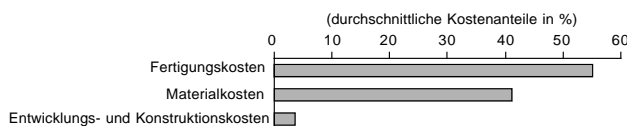


Bild 5: Durchschnittliche Kostenanteile für Blechteile

Hier sind nur einige Ergebnisse der Befragung vorgestellt worden. Aus den beantworteten Fragebögen lassen sich die folgenden wesentlichen Schlußfolgerungen ziehen:

1. Bei den für Blechteile typischen Fertigungsstrukturen überwiegen die Werkstatt- und Fließfertigung, wobei eine Serien- bzw. Massenproduktion erfolgt.
2. Neben den Fertigungsverfahren des Trennens und Fügens sind die umformenden Verfahren des Tiefziehens mit starrem Werkzeug und des Biegens mit geradliniger Werkzeugbewegung für die weiteren Untersuchungen von besonderem Interesse.
3. Typische Hauptfunktionen für in Blech hergestellte Teile sind das Halten bzw. Abstützen von Kräften, die Behälterbildung, das Verkleiden und Abdecken.

Aus den Erkenntnissen der Fragebogenaktion sind Rückschlüsse zu Schwerpunkten und vertieften Arbeitsrichtungen im weiteren Projektverlauf gezogen worden. Als Grundlage für die weiterführenden Untersuchungen wurden exemplarisch zwei typische Blechteile als Referenzteile für das Projekt ausgewählt.

4 Beschreibung des Konstruktionsprozesses

Um eine Referenzvorgehensweise für den Konstruktionsprozeß speziell für das Konstruieren in Blech bereitzustellen, wurden zunächst bestehende Ansätze der Konstruktionsmethodik /2, 3/ untersucht. Dabei wurden die Konzepte bzw. Vorgehensweisen erfaßt und unter dem Gesichtspunkt der vorliegenden Aufgabenstellung analysiert. Diese Ansätze bieten jedoch nur relativ starre Abläufe, die nur schwer in rechnergestützten Systemen abbildbar sind. Der Umstand, daß konstruierende Tätigkeiten oftmals iterative Prozesse mit einer Vielzahl möglicher Rücksprünge (Wiederholen vorhergehender Arbeitsschritte, wenn die Ergebnisse hinsichtlich der Zielsetzungen nicht befriedigen) darstellen, kompliziert die Integration der Abläufe in ein Konstruktionsinformationssystem.

In einem weiteren Schritt erfolgte eine Aufnahme des Ist-Zustands des Vorgehens in der Konstruktion von Blechteilen bei verschiedenen Herstellern. Hierbei wurde zum einen der Informationsumsatz im Kon-

struktionsprozeß im Hinblick auf die Erfassung konstruktionsrelevanten Wissens aus der Blechverarbeitung und zum anderen die tatsächliche Vorgehensweise in der Konstruktion untersucht. Für die Dokumentation der Untersuchungsergebnisse wurde die Methode SADT gewählt. SADT steht für "Structured Analysis and Design Technique" und stellt eine Methode zur strukturierten Analyse komplexer Prozesse, Abläufe oder Aktivitäten dar. Die Darstellung der SADT-Ergebnisse erfolgt gemäß **Bild 6**. Die Ergebnisse dieser Zustandsaufnahme und der Analyse bekannter konstruktionsmethodischer Ansätze sind in einem Referenzmodell für die Blechteilekonstruktion zusammengefaßt worden und dienen als Basis für die weiteren Arbeiten im Teilprojekt B4.

4.1 Informationsumsatz in der Blechteilekonstruktion

Bei der Untersuchung des Informationsumsatzes in der Blechteilekonstruktion wurden im besonderen die Möglichkeiten zur Erfassung konstruktionsrelevanter Informationen aus der Blechverarbeitung analysiert. Es ging vor allem darum, die später zu modellierenden Informationsschwerpunkte und deren Wechselwirkungen bzw. Beziehungen zueinander zu erkennen. Zu diesem Zweck wurde die Konstruktion eines Haushaltsgeräteherstellers mit einem überdurchschnittlichen Prozentsatz an Blechteilen untersucht. Dabei sind die folgenden Ergebnisse festzuhalten:

- Neben Anforderungen und Funktionen sind drei wesentliche Arten bzw. Bereiche von Informationen zu erkennen. Diese drei Bereiche stehen in engen Wechselbeziehungen bzw. Abhängigkeiten zueinander und können im Konstruktionsprozeß quasi als mögliche "Freiheitsgrade" interpretiert werden:
 - Gestalt bzw. Geometrie des Blechteils,
 - Fertigungsverfahren zur Teileherstellung,
 - Werkstoffe
- Die Grobgestalt eines Blechteils (Anzahl, Lage, Form und Größe der Wirkflächen) wird im wesentlichen durch Anforderungen und Funktionen bestimmt.
- Fertigungsverfahren, Werkstoff und externe Schnittstellen bestimmen i.d.R. die Feingestalt, d.h. die konkrete geometrische Ausprägung der Wirkflächen.

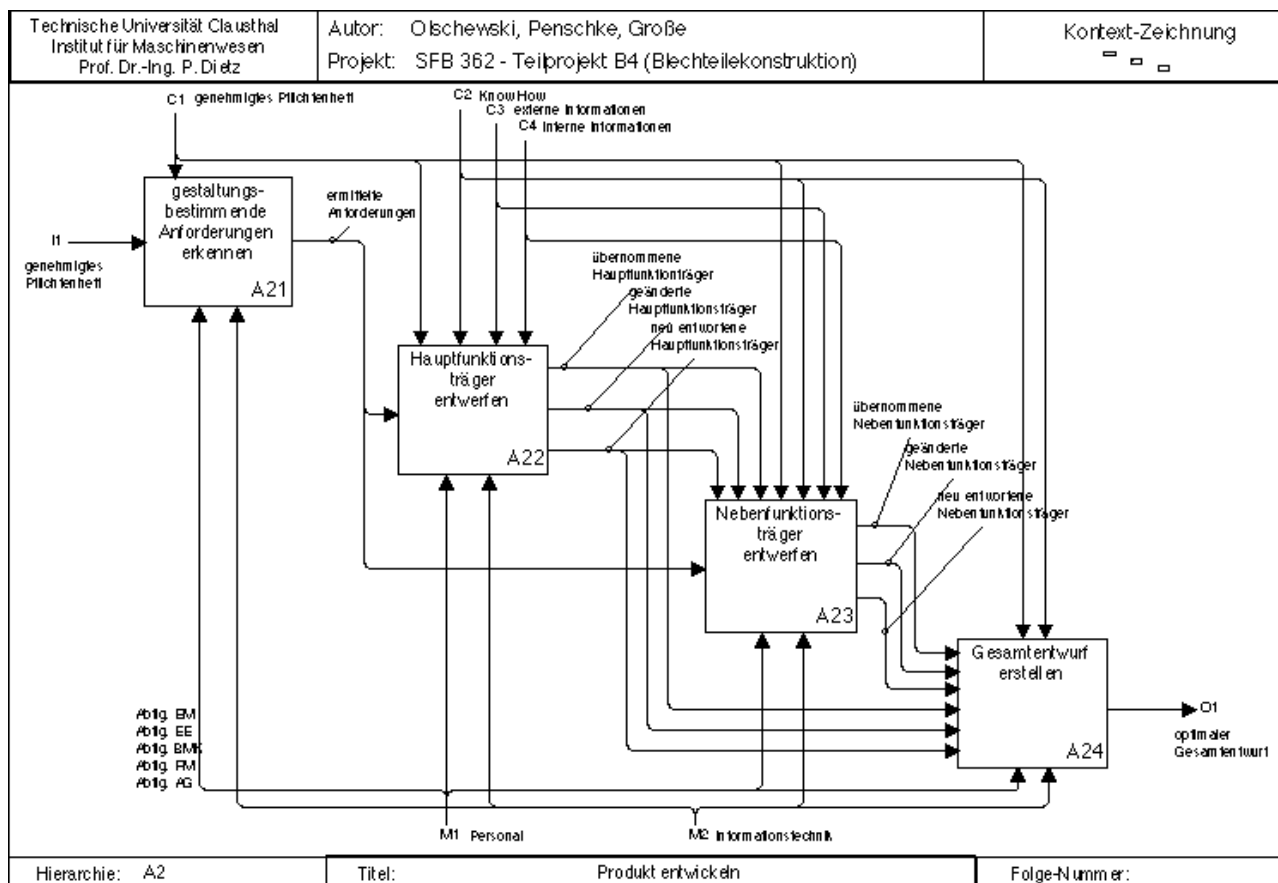


Bild 6: Aktivitäten bei der Produktentwicklung (A2-Ebene der SADT-Analyse)

4.2 Beschreibung des Konstruktionsprozesses

Die durchgeführten Untersuchungen dienten der Aufnahme eines in der Praxis üblichen Vorgehens bei der Konstruktion in Blech. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für einen Referenzablauf und sind ebenfalls Ausgangspunkt für die anschließende Modellierung der erkannten Informationsobjekte. Die Untersuchungen wurden bei einem Hersteller aus der Apparatebaubranche durchgeführt. An dieser Stelle soll nur ein kleiner Ausschnitt der gesamten Untersuchung am Beispiel der oberen Modellebenen vorgestellt werden.

Betrachtet wurde die Konstruktion und Entwicklung kompletter Produkte, die einen hohen Anteil an Blechbauteilen aufweisen. Eingangsgrößen sind die Produktidee mit Festlegungen zum Design, zu den Kosten sowie den zu verwirklichenden technischen Kenngrößen. Ergebnis des Konstruktionsprozesses ist die komplette Produktdokumentation inklusive der notwendigen Fertigungsunterlagen. Beeinflusst werden die Abläufe und Entscheidungen durch das im Unternehmen vorhandene Know How sowie externe (z.B. aktuelle Marktdaten, Zuliefererdaten, Fachlite-

ratur, Berechnungsnormen, technische Vorschriften) und interne (z.B. Unterlagen vorhandener Konstruktionen, Kalkulationsvorschriften, verfügbare Fertigungsmittel) Informationen. Als Ressourcen stehen im wesentlichen das Personal und verschiedene Informationstechniken (z.B. CAD, Datenbanken) zur Verfügung. Der Konstruktionsprozeß läßt sich in die Hauptaktivitäten *Produktidee verarbeiten* (A1), *Produkt entwickeln* (A2) und *Produkt ausarbeiten* (A3) gliedern. **Bild 6** zeigt die Untergliederung der Hauptaktivität *Produkt entwickeln* (A2) in die vier Unteraktivitäten *gestaltbestimmende Anforderungen erkennen* (A21), *Hauptfunktionsträger entwerfen* (A22), *Nebenfunktionsträger entwerfen* (A23) und *Gesamtentwurf erstellen* (A24). In dieser Phase werden aus dem genehmigten Pflichtenheft die gestaltbestimmenden Anforderungen ermittelt. Aus den erkannten Anforderungen werden zunächst die Hauptfunktionsträger und in einem weiteren Schritt die Nebenfunktionsträger entworfen. Die entstandenen Teilentwürfe werden entsprechend kombiniert, ausgewählt und zu einem abschließenden Gesamtentwurf für das Produkt zusammengefaßt.

5 Modellierung der Informationsobjekte

Die Ergebnisse der Analyse des praktischen Konstruktionsprozesses bildeten den Ausgangspunkt für eine Extraktion und modellhafte Beschreibung der in der Blechkonstruktion relevanten Informationsobjekte. Dabei wurden wesentliche Informationsbereiche, die für eine rechnergestützte Verwaltung modelliert werden müssen, erkannt:

- Anforderungen
- Funktionen
- Gestalt/Geometrie
- Technologie
- Werkstoffe

Für die Modellierung der Informationsobjekte wird die formelle Beschreibungssprache EXPRESS, die aus dem Umfeld des internationalen Schnittstellenstandards STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data, /4/) stammt, angewendet. Die erstellten Modelle sollen die Grundlage für eine prototypische Implementierung zum Nachweis der Funktionalität bilden. Sie sind Voraussetzung für die Entwicklung eines rechnergestützten Informationssystems für die Blechteilekonstruktion.

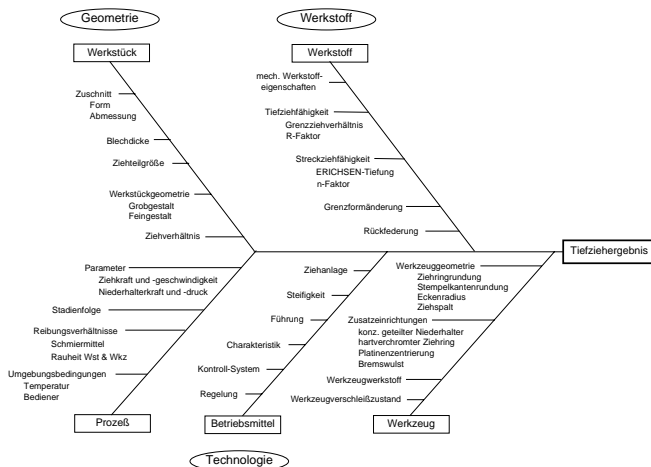


Bild 7: Einflussgrößen auf das Tiefziehergebnis

Im folgenden wird exemplarisch auf die modellhafte Abbildung der Technologie, speziell für das Tiefziehen eingegangen. In einem ersten Schritt wurden die Einflussgrößen auf das Tiefziehergebnis und deren Zusammenhänge ermittelt, **Bild 7**. Hier sind die folgenden Größen berücksichtigt worden:

- Ziehverhältnis, Grenzziehverhältnis, Stadienfolge
- Ziehkraft
- Niederhalterdruck und -kraft
- Radienauslegung (Ziehring-, Stemplekanten- und Eckenradius)

• Betriebsmittel

Die drei Größen Ziehverhältnis, Grenzziehverhältnis und Stadienfolge dienen einer Grobabschätzung des Fertigungsaufwandes während des Konstruktionsprozesses. Dabei wird zunächst aus geometrischen Größen das Ziehverhältnis ermittelt, das anschließend mit dem Grenzziehverhältnis verglichen wird. Aus diesem Vergleich ergibt sich die Stadienfolge. Es kann abgeschätzt werden, ob das Ziehteil im Erstzug zu fertigen ist oder ob und wieviel Weiterzüge notwendig sind. Bei den Prozessparametern Ziehkraft, Niederhalterdruck und -kraft sind die Berechnungsformeln in EXPRESS abgebildet worden. Genauso sind Regeln für eine korrekte Radienauslegung am Ziehteil vorhanden.

Die Informationen zu Betriebsmitteln wurden ebenfalls modelliert. Ziel ist es, den Konstrukteur bei der Auswahl geeigneter Fertigungsmittel zu unterstützen bzw. schon in der Konstruktionsphase die Herstellbarkeit des Produktes sicherzustellen. Hierbei wurden Kenndaten wie maximale Stoßelkraft und maximaler Hub einer Presse berücksichtigt. Ferner können Arbeitsraum- und Ziehteilabmessungen miteinander verglichen werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem kurzen Überblick sind die durchgeführten Tätigkeiten innerhalb des Teilprojekts B4 "Feinblechkonstruktion" umrissen worden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt befindet sich das Projekt in der Modellierungsphase. Für den Nachweis der Funktionalität der Informationsmodelle ist bis etwa Mitte nächsten Jahres eine prototypische Implementierung für eine Konstruktionsinformationssystem zu erstellen.

Literatur

- /1/ Siegert, K. (Hrsg.): Neuere Entwicklungen in der Blechumformung 1994. Verlag der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V., 1994
- /2/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. 2. Auflage, Springer-Verlag, 1986
- /3/ Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer-Verlag, 1982
- /4/ ISO 10303: Industrial automation systems - Product data representation and exchange. ISO/TC 184/SC 4, 1993