

Entwicklung und Fertigung eines Mountainbikerahmens in Blech

Penschke, St.; Heinen, F.; Griesbach, B.¹

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 362 "Fertigen in Feinblech" ist ein Gemeinschaftsprojekt mit der Universität Hannover unter Federführung der Technischen Universität Clausthal. Innerhalb des SFB kooperieren unterschiedliche ingenieurwissenschaftliche Bereiche wie Umformtechnik, Schweißtechnik, Werkstofftechnik, Konstruktionslehre und Betriebsorganisation in 14 Teilprojekten. Im SFB hat sich die Arbeitsgruppe "Logistikkongruente Integration technologischer und konstruktiver Aspekte der Feinblechbearbeitung" (kurz: KoLoTech) mit der Aufgabe gebildet, die Wechselwirkungen zwischen fertigungstechnischen, konstruktiven und logistischen Aspekten der Feinblechbearbeitung im Sinne eines "Simultaneous Research" zu untersuchen. Der Beitrag schildert die Entwicklung eines Fahrradrahmens für die Fertigung in Blech, der als Referenzteil für diese Untersuchungen dient.

The special research project 362 "Processing of Sheet Metal" is a joint effort with the University of Hanover under auspices of the Technical University of Clausthal. Within this project 14 subprojects out of different engineering areas co-operate: metal forming, welding, material engineering, designing and industrial administration. Further a workgroup was established "Logistic conform Integration of technological and design Aspects of Sheet Metal Processing" (KoLoTech). This group was set up with the task to examine the interactions between manufacturing, structural and logistic aspects of sheet metal processing in sense of "Simultaneous Research". The contribution describes the development of a bicycle frame for manufacturing in sheet metal which serves as a reference section for these studies.

1 Umfeld

Dank moderner Erzeugungsverfahren verbunden mit entsprechenden Möglichkeiten zur Einstellung definierter Werkstoffeigenschaften ist Feinblech ein außerordentlich hochwertiges Halbzeug /1/. Da sich auch die Fertigungsverfahren für die Weiterbe-

arbeitung von Blech ausgesprochen dynamisch entwickeln /2/, läßt sich angesichts der umfangreichen Verfügbarkeit des Halbzeugs eine hohe Qualitätssicherheit und Formflexibilität erzielen.

Zudem ist die sich allgemein verschärfende Wettbewerbssituation mit wachsenden Anforderungen an Preise, Lieferzeiten und Qualität der Produkte ein weiterer wesentlicher Begleitumstand der Blechteileentwicklung. Dies erfordert oft eine Reorganisation der Produktplanungs- und Realisierungsprozesse mit dem Ziel einer zeitlichen Verkürzung bei gleichzeitiger Produktoptimierung. Für die planenden Unternehmensbereiche sind dabei v. a. die Ansätze des Simultaneous bzw. Concurrent Engineering von Bedeutung. Die Philosophie des Simultaneous Engineering betont die Parallelisierung von vormals sequentiell ablaufenden Teilprozessen innerhalb der Produktentwicklung /3/.

Dieser Ansatz soll im Rahmen des SFB durch die Zusammenarbeit verschiedener Teilprojekte innerhalb der Arbeitsgruppe KoLoTech umgesetzt werden. Dazu arbeiten Fertigungsingenieure mit meß-, umform- und fúgetechnischen Schwerpunkten mit Konstrukteuren und Logistikern zusammen. Ein wesentlicher Gegenstand der Zusammenarbeit ist die Offenlegung und gegenseitige Abstimmung der unterschiedlichen Sichten und Schwerpunkte der Arbeiten. Primäres Ziel der Arbeitsgruppe ist die wissenschaftliche Untersuchung einzelner Phasen der Produktentstehung an einem Referenzteil, wobei der Schwerpunkt auf logistischen und technologischen Aspekten liegen soll. Dazu soll ein Fahrradrahmen für die Fertigung in Blech entwickelt und hergestellt werden.

2 Konstruktion des Rahmens

Entsprechend den Zielstellungen der Arbeitsgruppe sollte ein funktionsfähiger Fahrradrahmen mit der Rahmengeometrie eines Mountainbikes entwickelt werden /4/. Das prinzipielle Vorgehen bei der Entwicklung orientierte sich an bekannten Konstruktionsmethodiken /5, 6/ und gliederte sich in

¹ Dipl.-Ing. Bernd Griesbach ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Universität Hannover

die wesentlichen Phasen Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten.

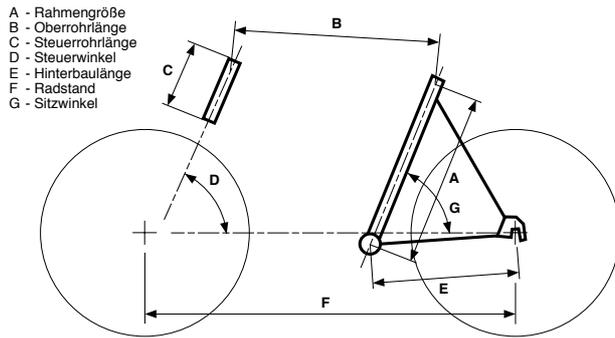


Bild 1: Hauptgeometrie des Rahmens

In der Planungsphase wurde versucht, die Anforderungen an das Bauteil bzw. die Baugruppe möglichst umfassend zusammenzutragen. Die einzelnen Anforderungen wurden in 14 Kategorien systematisiert:

1. Aufgabe (primäres Ziel der wissenschaftlichen Untersuchungen)
2. Geometrie/Gestalt (Richtwerte für die Hauptgeometrie nach **Bild 1**, Verwendung von Anbauteilen aus einem Standardrohersatz, Ausführung mit starrem Hinterbau und Option auf eine Anpassung der Konstruktion für einen schwingend gelagerten Hinterbau)
3. Kräfte/Auslegung (Berücksichtigung experimentell ermittelter Betriebslasten nach **7/ Bild 2**, einfache statische Dimensionierung und FEM-Berechnungen für Festigkeitsnachweis)
4. Sicherheit (Minimierung des Verletzungsrisikos im normalen Gebrauch und bei Stürzen)
5. Ergonomie (Übernahme der Hauptgeometrie von einem bewährten Markenrahmen zur Sicherung ergonomischer Kriterien)
6. Fertigung (Festlegung der wesentlichen Eigenschaften bezüglich zu verwendender Werkstoffe, Herstellung der Ausgangsplatten, der Umformung, des Beschneidens und Fügens der umgeformten Einzelteile)
7. Kontrolle/Qualitätssicherung (Sichtprüfung nach allen Fertigungsschritten, Vermessen der Ziehteile und des montierten Rahmens auf Koordinatenmeßtechnik, Durchführung von Betriebsfestigkeitsuntersuchungen am montierten Rahmen mit zwei bis drei wesentlichen Belastungskomponenten, zerstörungsfreie Prüfung – Wirbelstromverfahren, Mikromagnetik – nach ausgewählten Fertigungsschritten)
8. Montage (Montage der Einzelteile zum Rahmen sowie Montage des gesamten Rades)

9. Gebrauch (Erfüllung 'gängiger' Gebrauchsanforderungen, Gewicht des gesamten Rades sollte kleiner als 12 kg sein, Nachrüstmöglichkeiten für Steckbleche, Gepäckträger, Flaschenhalter u. a. Zubehör)
10. Instandhaltung (gute Zugänglichkeit der Funktions- und Bedienelemente sowie der Verschleißteile)
11. Recycling (gute Demontierbarkeit und 'sortenreine' Trennung ermöglichen)
12. Kosten (Planung der Kosten und 'Finanzierungsmodelle' für Material, Zukaufteile, Eigen- und Fremdfertigungsanteile)
13. Stückzahlen (Planung der Stückzahlen für einzelne Ziehteile, Komplettrahmen und -räder)
14. Termine (grobe Terminierung der Entwicklungs- und Fertigungsschritte, laufende Aktualisierung)

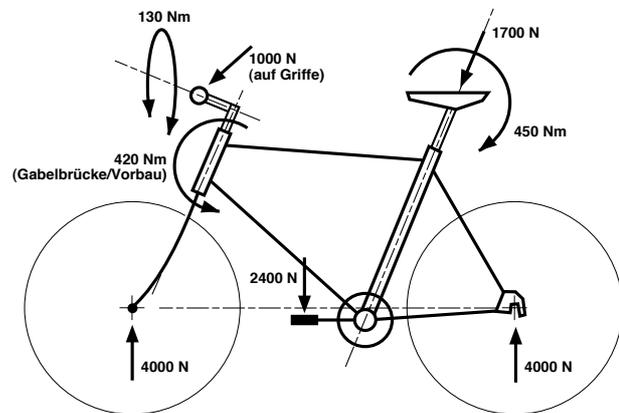


Bild 2: Belastungssituation am Mountainbike

In der folgenden Konzeptphase wurden zunächst fünf Designvorschläge erstellt (mittels CAD-System Pro/EIGNEN) und in der Arbeitsgruppe aus Sicht der einzelnen Ingenieurdisziplinen kritisch diskutiert. **Bild 3** zeigt zwei dieser Vorschläge. Für das weitere Entwerfen wurden v. a. aus fertigungstechnischen Gründen folgende Einschränkungen getroffen:

- auf einen Durchbruch in Rahmenmitte sollte verzichtet werden,
- große Rahmenflächen sollten aufgrund der Beulgefahr mit Sicken versehen werden,
- die Außenradien sollten größer bzw. so groß wie möglich (volle Verrundung) gewählt werden,
- die Rahmenkonstruktion sollte sowohl die Ausführung mit starrem Hinterbau, als auch mit gefederter Hinterradschwinge zulassen und
- bei den weiteren Entwürfen sollten gestalterische bzw. ästhetische Gesichtspunkte verstärkt berücksichtigt werden.

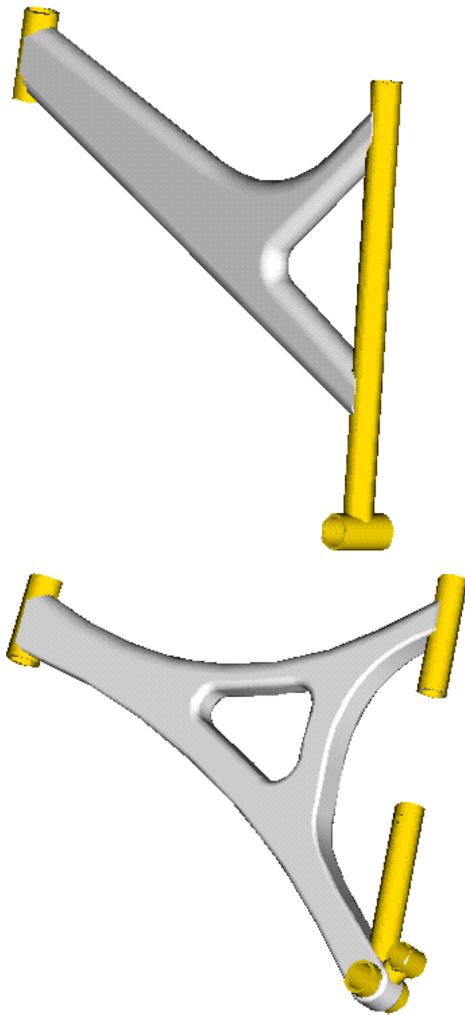


Bild 3: Vorschläge für die Rahmengestaltung

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden drei grundsätzliche Rahmenvarianten für eine weitere Ausarbeitung entworfen (**Bild 4**). Für diese Entwürfe wurde zunächst eine Rahmenberechnung im Sinne einer groben Vordimensionierung durchgeführt. Da sich aufgrund der Belastungssituation am Rahmen (**Bild 2**) die Kraftübertragung vom Steuerrohr auf den Grundrahmen als die kritischste Stelle erwies, wurden die hier zu erwartenden maximalen Beanspruchungen zunächst 'von Hand' ermittelt und die mindestens erforderlichen Widerstandsmomente abgeschätzt. Diese Überschlagswerte wurden bei der weiteren Gestaltung des Rahmenquerschnitts entsprechend berücksichtigt.

Für die drei Entwürfe wurde zur Auswahl einer weiter auszuarbeitenden Lösung in der Arbeitsgruppe eine technisch-wirtschaftliche Bewertung entsprechend /8/ durchgeführt.

Für die Bewertung in Bezug auf die Erfüllung der gestellten Anforderungen wurden 18 Kriterien herangezogen:

1. Erfüllung der Aufgabenstellung, Funktionsfähigkeit,
2. Festigkeit des Grundrahmens,
3. Sicherheit,
4. Ergonomie,
5. Fertigung – Verwendbarkeit der im SFB untersuchten Werkstoffe, Einsatzmöglichkeiten für tailored blanks,
6. Fertigung – Platinenherstellung,
7. Fertigung – Umformung der Halbschalen,
8. Fertigung – Fertig- bzw. Beschneiden der umgeformten Halbschalen,
9. Fertigung – Fügen der Halbschalen zum Grundrahmen,
10. Fertigung – Beschichten des Rahmens,
11. Kontrolle/Qualitätssicherung,
12. Montage – Einzelteile zum Rahmen,
13. Montage – gesamtes Fahrrad,
14. Gebrauch – Rahmengewicht,
15. Gebrauch – Funktionalität,
16. Instandhaltung,
17. Recycling und
18. Design/Optik.

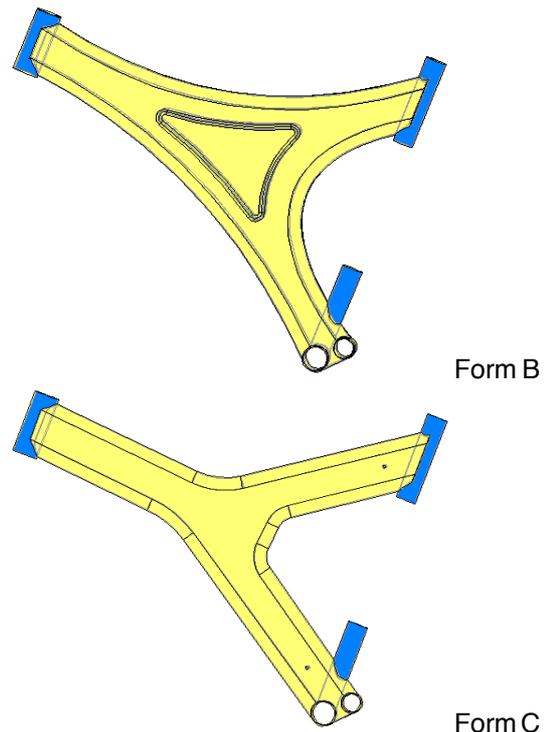


Bild 4: Entwürfe verschiedener Bauformen

Bild 5 zeigt das Ergebnis der Bewertung. Entsprechend dem Bewertungsergebnis wurde die Bauform C für die Ausarbeitung ausgewählt. In der Ausarbeitungsphase wurde die gewählte Lösung durchkonstruiert (**Bild 6**), die erforderlichen Zeichnungen erstellt und die CAD-Daten an die Werkzeugkonstruktion übergeben.

(i)	Bewertungskriterium	(g_i)	Wertung (w_{ij}) für Lösungsvariante (j)		
			A	B	C
1	Aufgabenstellung/Funktionsfähigkeit	0,80	3	3	3
2	Festigkeit des Grundrahmens	0,80	2	4	3
18	Design/Optik	1,00	2	3	4
19					
20					
Summe der Bewertung (G_{wpj})			33,3	34,5	39,2
technische Wertigkeit (W_{Tj})			0,68	0,70	0,80
relative Kosten für Eigenfert. ca. % (H)			90,00	100,00	90,00
wirtschaftliche Wertigkeit (W_{Wj})			0,80	0,72	0,80

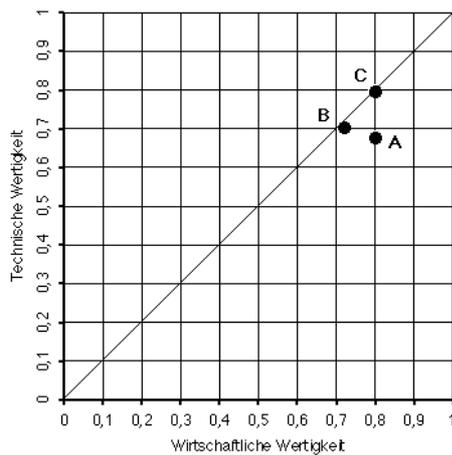


Bild 5: Technisch-wirtschaftliche Bewertung

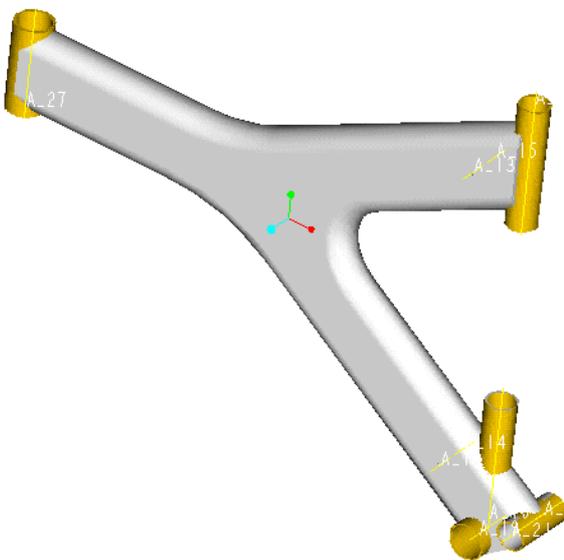


Bild 6: Fertig konstruierter Mountainbike-Rahmen

Zudem wurden zur Abschätzung der Rahmenfestigkeit FEM-Analysen (mittels Pro/MECHANICA) durchgeführt. Die Berechnung der Bauteilspannung erfolgte für verschiedene Belastungskombinationen (1 - nur Biegebelastungen, 2 - nur Torsionsbelastungen, 3 - beide Belastungen bzw. alle maximalen Betriebslasten) und Blechdicken (a - 0,8 mm, b - 1,0 mm). **Bild 7** zeigt ein Ergebnis dieser Analysen (Variante 3a). Zu erkennen ist, daß die höchsten Bauteilspannungen im Holm zum Tretla-

gerrohr auftreten. Dabei werden die zulässigen Spannungen für St 15 und ZStE 340 bei der Belastungsvariante 3 z. T. weit überschritten. Da die maximalen Betriebslasten entsprechend /7/ ausnahmslos aus 'Sonderereignissen' (z. B. Bordsteinüberfahrt mit hoher Geschwindigkeit, Landung nach Sprung) resultieren, ist davon auszugehen, daß in der Realität nie alle Ereignisse gleichzeitig eintreten. Somit werden auch die berechneten theoretischen Maximalspannungen in der Praxis nicht auftreten. Dennoch empfiehlt es sich, für die Holmbereiche am Tretlager- und Steuerrohr den festeren Werkstoff ZStE 340 zu verwenden (tailored blanks – Tiefziehplatinen, die aus unterschiedlichen Blechwerkstoffen und/oder Blechdicken gefertigt und dann als geschweißte Platine tiefgezogen werden).

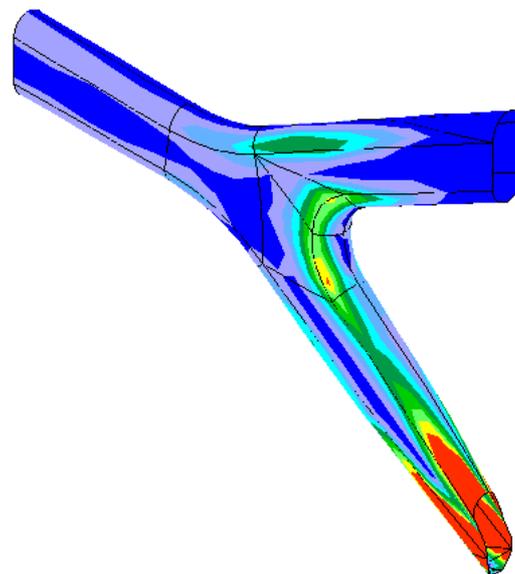


Bild 7: Analyse der Rahmenbeanspruchung

3 Werkzeugkonstruktion

Die Konstruktion des Tiefziehwerkzeugs der beiden Fahrradrahmenhalbschalen stellte eine besondere Herausforderung innerhalb der Arbeitsgruppe dar. So lag wegen des beschränkten Etats des SFB eine Hauptrestriktion darin, das Werkzeug möglichst kostengünstig herstellbar zu gestalten. Hierzu war es notwendig festzustellen, welche Bearbeitungsmaschinen in den einzelnen in der Arbeitsgruppe mitarbeitenden Instituten zur Verfügung stehen. Auf Basis dieser Erhebung konnte entschieden werden, welche Werkzeugteile als Auftragsarbeit an Dritte vergeben werden mußten und welche Arbeiten in Instituten erledigt werden konnten. Diese Daten waren im weiteren Verlauf zur Ab-

schätzung des Kostenrahmens von entscheidender Bedeutung für die Werkzeugkonstruktion.

3.1 Werkzeugaufbau

Das Werkzeug wurde am IFUM (ebenfalls mittels Pro/ENGINEER) konstruiert. **Bild 8** zeigt das Werkzeug aus unterschiedlichen Perspektiven. Man erkennt im oberen Teil die Aufspannplatte mit den Abstandssäulen, der Abdeckplatte und der Matrizengrundplatte, in welcher sich die vierfach segmentierte Matrize befindet; im unteren Teil des Werkzeugs sieht man die Niederhaltergrundplatte mit dem vierfach segmentierten Niederhalter, die Stempelgrundplatte, worauf sich die Stempelunterlegplatte, die Kraftmeßplatte mit den Kraftmeßdosen, die Unterlegbleche und der vierfach segmentierte Stempel befinden. Außen erkennt man die vier Führungssäulen.

Zu Untersuchungszwecken wurde die Konstruktion so ausgeführt, daß während des Tiefziehvorgangs mittels der eingebrachten Kraftmeßdosen die auftretenden Kräfte gemessen und protokolliert werden können.

Die Segmentierung des Stempels (formgebender Teil), des Niederhalters und der Matrize wurden aus mehreren Gründen gewählt. In keinem Institut stand eine vom Bearbeitungsraum ausreichend große Maschine zur Verfügung, die die Bearbeitung die-

ser drei Teile als Ganzes ermöglicht hätte. Durch Auftragsarbeiten wären zusätzliche Kosten verursacht worden, die vermieden werden mußten.

Da zu einem Fahrradhauptrohrrahmen zwei Halbschalen aus Blech gehören, wären dementsprechend auch zwei Tiefziehwerkzeuge notwendig gewesen. In einem segmentierten Werkzeug können die einzelnen Segmente des Stempels, des Niederhalters und der Matrize bis auf das mittlere 'Y'-Segment für beide Halbschalen Verwendung finden.

Es ist geplant, die einzelnen Halbschalen nicht nur aus konventionellen Platinen herzustellen, sondern auch tailored blanks zu verwenden. Das Tiefziehen solcher Spezialbleche erfordert eine besondere Vorbereitung des Werkzeugs, da die Schweißnähte im Stempel eingearbeitete Ausläufe benötigen. Die Einarbeitung dieser Schweißnahtausläufe gestaltet sich bei segmentierten Werkzeugen deutlich einfacher.

3.2 Herstellung des Werkzeugs

Auf Basis dieser Konstruktion wurde in der Arbeitsgruppe der Bedarf für spanabhebende Werkzeuge ermittelt. Hierbei wurden aus Kostengründen verschiedene Alternativen durchgerechnet.

Für die im Tiefziehwerkzeug dem Verschleiß ausgesetzten Teile wurden die Werkstoffe 1.0570 (St

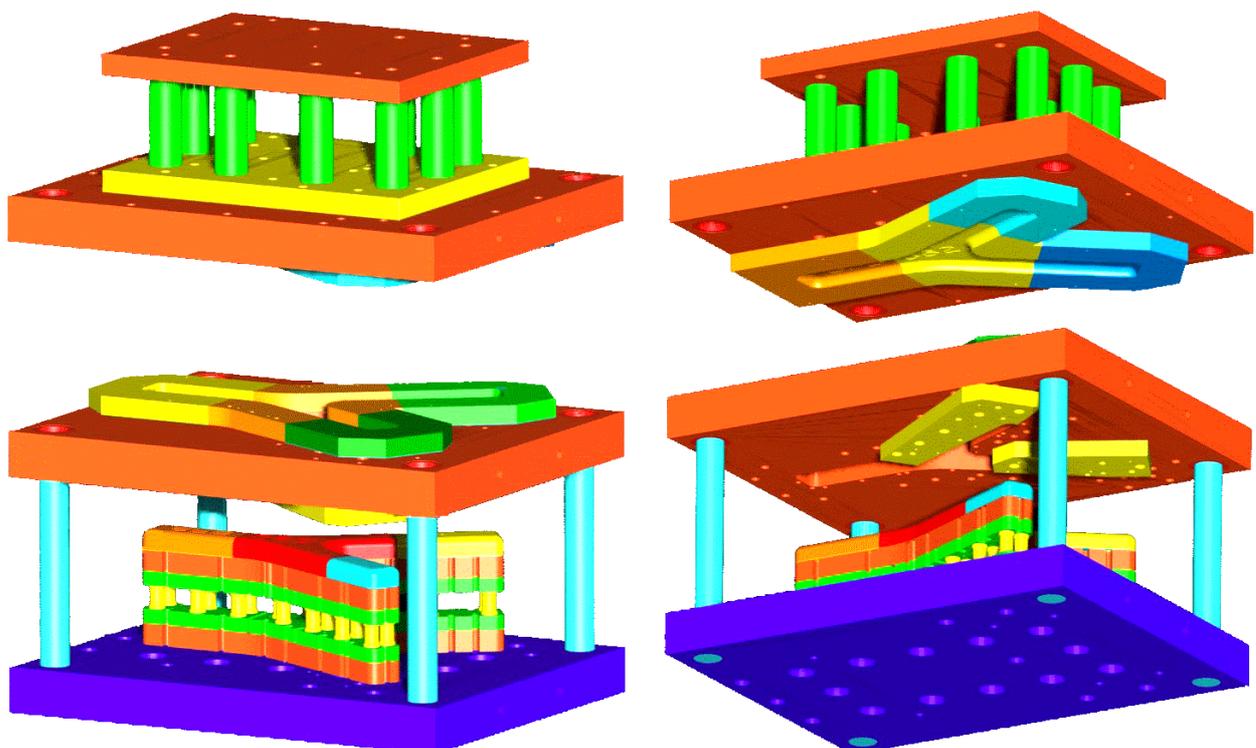


Bild 8: CAD-Modell des Tiefziehwerkzeugs (Pro/ENGINEER)

52-3), 1.2379 (X 155 Cr V Mo 12 1) und Spezialkunststoff diskutiert.

Der Kunststoff wird in der Industrie bei sehr kleinen Stückzahlen (>100) eingesetzt, da ab höheren Stückzahlen zunehmende Verschleißerscheinungen auftreten. Es wäre also nur eine sehr begrenzte Probenzahl möglich gewesen. Desweiteren würde das Werkzeug durch fortlaufenden Verschleiß stetig seine Tiefziehcharakteristik ändern, was für die hier betriebenen Forschungen ungeeignet wäre. Bearbeitungstechnisch zeigt sich der Kunststoff als sehr günstig, kann aber seine systembedingten Nachteile hierdurch nicht wettmachen.

Ebenfalls wegen zu hoher Verschleißneigung bei Tiefziehwerkzeugen wurde der Werkstoff St 53-2 verworfen.

Ausgewählt wurde der Tiefziehformenstahl X 155 Cr V Mo 12 1, da es sich hierbei um einen sehr häufig industriell angewandten Formenstahl handelt. Der Werkstoff brachte jedoch den Nachteil mit sich sehr schwer bearbeitbar zu sein, wodurch mittels PVD-Verfahren beschichtete TiCN Hochleistungswerkzeuge, die mit entsprechend hohen Kosten einhergingen, nötig wurden.

Weitere diskutierte Alternativen betrafen die Art der Bearbeitung. So hat man die Möglichkeit, Radien der formgebenden Werkzeigteile im Zeilenfräsverfahren oder mittels Formfräsern herzustellen. Das Zeilenfräsverfahren birgt mehrere Nachteile. Es wird zwar die Anschaffung teurer Formsonderfräser vermieden, trotzdem werden aber auch bei diesem Verfahren Standardfräser verschlissen, die somit Kosten verursachen. Desweiteren erfordert die durch das Zeilenfräsverfahren hergestellte Oberfläche eine intensive Handnacharbeit mittels einer Schleifapparatur, um eine zeilenfreie, glatte Oberfläche zu erhalten, und letztlich steigt die Bearbeitungszeit gegenüber der Formfräsvariante um den Faktor 15. Die Entscheidung fiel daher für die Formfräsvariante.

Auch eine Auftragsfertigung wurde ins Auge gefaßt, mußte aber wegen zu hoher Kosten außen vorgelassen werden.

4 Ausblick

Da die Beschaffung der Bearbeitungswerkzeuge und der einzelnen Halbzeuge (Stahlplatten) der Werkzeugform voraussichtlich vor Jahresende abgeschlossen sein wird, wird im neuen Jahr die Produktion der Tiefziehform beginnen. Für März/April 1998 ist die Fertigstellung des Zusammenbaus und

der Einbau des Werkzeuges in eine am IFUM in Hannover befindliche Presse geplant. Mitte des kommenden Jahres sollen dann nach umfassenden Einfahrversuchen die ersten Tiefziehteile hergestellt werden. Nach Versuchsplänen werden dann Halbschalen produziert, die schließlich in verschiedenen mitarbeitenden Instituten mit unterschiedlichen Schweißverfahren gefügt werden. Geplant sind derzeit Laserstrahlschweißen, Elektronenstrahlschweißen und Plasmastrahlschweißen. Schließlich werden die so gefügten Fahrradrahmen im IfB der TU Clausthal hinsichtlich ihrer Betriebsfestigkeit geprüft.

Zum Abschluß dieses Vorhabens soll ein gebrauchsfertiges Fahrrad montiert und entsprechend getestet werden.

5 Literatur

- /1/ E.-J. Drewes, H. Beenken, B. Engl et al.: Innovative Stahlprodukte für den Leichtbau. Technische Mitteilungen Krupp (1995) Nr. 2, S. 91-100
- /2/ H. Radtke: Blechbearbeitung 1996. VDI-Z Bd. Special Blechbearbeitung (1996) Nr. Oktober, S. 14-20
- /3/ W. Eversheim (Hrsg.): Simultaneous Engineering - Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie. Berlin: Springer Verlag, 1995
- /4/ H. Müller: Entwicklung eines Fahrradrahmens für die Fertigung in Blech. Studienarbeit, Technische Universität Clausthal, Institut für Maschinenwesen, 1997
- /5/ G. Pahl und W. Beitz: Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung. 3., Neubearb. u. erw. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1993
- /6/ VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, November 1986
- /7/ E. Groß: Betriebslastenermittlung, Dimensionierung, strukturmechanische und fahrwerkstechnische Untersuchungen von Mountainbikes. Düsseldorf: VDI Verlag, 1996 (Fortschritt-Berichte Reihe 12: Fahrzeugtechnik)
- /8/ VDI 2225: Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Blatt 1: Anleitung und Beispiele. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, April 1977